

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Изыскания и проектирование
транспортных коммуникаций»**

В.А. ПОДКОПАЕВ

ВОДНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ПУТИ

Учебное пособие

Гомель 2004

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Изыскания и проектирование
транспортных коммуникаций»

В.А. ПОДКОПАЕВ

ВОДНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ПУТИ

Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов специальности
«Организация перевозок и управление на речном транспорте»
учреждений, обеспечивающих получение высшего образования

Гомель 2004

УДК 656.6 (075.8)
ББК 39.411
П 44

Р е ц е н з е н т ы : заслуженный деятель науки и техники БССР, академик Российской академии естественных наук, заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» доктор технических наук, профессор **И.И. Леонович** (БНТУ); зав. кафедрой «Гидропневмоавтоматика» кандидат технических наук, доцент **А.В. Михневич** (ГГТУ им. П.О. Сухого).

Подкопаев В.А.

П 44 Водные транспортные пути: Учебное пособие. – Гомель: БелГУТ, 2004. – 163 с.
ISBN 985 – 6550 – 96 – 3

Приводятся краткая историческая справка о развитии водных путей, их технико-эксплуатационная характеристика, требования судоходства к водным путям и сооружениям, сведения о речном потоке и его влиянии на русловые процессы. Рассматриваются виды речных русел и перекатов, порядок подготовки, организации и проведения работ по подготовке рек к судоходству. Излагаются вопросы регулирования стока на внутренних водных путях, его технического обеспечения и использования различными отраслями народного хозяйства. Отмечаются экологические аспекты эксплуатации внутренних водных путей и пути снижения негативного воздействия производственной деятельности водного транспорта на окружающую среду.

Предназначено для студентов специальности «Организация перевозок и управление на речном транспорте».

УДК 656.6 (075.8)
ББК 39.411

ISBN 985 – 6550 – 96 – 3

© УО БелГУТ, 2004
© В.А. Подкопаев, 2004

ВВЕДЕНИЕ

Внутренний водный транспорт, входящий в состав единой транспортной системы, имеет многовековую историю и является малозатратным видом транспорта, особенно при организации перевозок массовых грузов.

Транспорт, пути сообщения которого созданы природой, в настоящее время переживает свой не самый лучший период существования. Протяжённость внутренних водных путей, используемых в Республике Беларусь для судоходства, сократилась за последние 10 с лишним лет более чем в два раза. Многократно за этот период сократился объём перевозок грузов и пассажиров, а также парк грузовых и пассажирских судов. Аналогичная ситуация наблюдалась и в других государствах, входящих в СНГ.

На наш взгляд, в настоящее время, учитывая сложившуюся ситуацию на речном транспорте, невзирая на острую конкурентную борьбу между видами транспорта на рынке транспортных услуг, речной транспорт должен занять достойное, свое, место в единой транспортной системе нашей страны.

Наряду с факторами, характеризующими его отрицательные стороны в сравнении с другими видами транспорта: низкие скорости доставки грузов, сезонность перевозок, в большей степени замкнутость речных бассейнов и некоторых других, связанных с названными факторами, речной транспорт обладает рядом крупных преимуществ. В их числе: высокая степень безопасности функционирования; достаточно низкая энергоёмкость; сравнительно небольшие первоначальные затраты на организацию судоходства; большая экологическая безопасность; способность принять возросшие перевозки на параллельных направлениях от других видов транспорта; попутное использование водных артерий для других целей народного хозяйства и, наконец, возможность использования водных транспортных путей в международных перевозках.

На проходившей в 1998 г. в Санкт-Петербурге Первой Евразийской транспортной конференции Евросоюзом были высказаны намерения к 2010 году создать единую транспортную сеть Европа – Ближний Восток с приоритетным развитием грузоперевозок в Черном, Каспийском и Средиземном

морях с естественным включением в них внутренних водных путей стран Европейского союза, Центральной и Восточной Европы.

В последние годы развитию речных и морских перевозок в нашей стране уделялось большое внимание Президентом и Правительством Республики Беларусь. В 1997 г. принята программа развития водного транспорта до 2010 года, направленная на решение важных проблем народнохозяйственного комплекса страны. В частности, программой предусматривается реконструкция судоходных шлюзов Днепро-Бугского канала под класс Va европейских водных путей международного класса. Кроме этого, в настоящее время прорабатывается проект соединения реки Даугава (Западная Двина) и реки Днепр.

С 1992 года в Белорусском государственном университете транспорта ведётся подготовка специалистов по специальности «Организация перевозок и управление на водном транспорте», для которых читается курс «Водные пути».

Данное учебное пособие подготовлено в целях компенсации недостатка в учебной литературе по этой дисциплине.

Содержание учебного пособия соответствует базовой и рабочей программам курса «Водные транспортные пути». В нём учтён опыт учебно-методического обеспечения данного курса в вузах водного транспорта Российской Федерации. Для самостоятельной проработки курса в приложении А сформулированы вопросы по каждому разделу учебного пособия.

В написании разделов 1 и 15 принимала участие магистр технических наук М.А. Артюшевская.

Автор благодарен лаборанту кафедры «Изыскания и проектирование транспортных коммуникаций» Т.В. Грищенко за подготовку компьютерной версии учебного пособия.

1 ВОДНЫЕ ПУТИ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.1 Историческая справка о развитии водных путей

Водные пути имеют многовековую историю. В древности на территории Киевского государства исключительную роль как основной водный путь играла река Днепр. Водный путь от Балтийского моря к Черному проходил через Неву, Волхов, Ловать, Десну и Днепр. Этот торговый путь известен как путь «из варяг в греки». С Днепром связано проведение в XII веке первых берегоукрепительных работ. С Днепра был возможен переход на торговый путь Восточной Руси – Волгу. В XVI веке с расширением и укреплением Московского государства Волга получила значение главного торгового пути. В этот же период развивались торговые отношения со странами Европы и появились новые водные пути через Северную Двину и ее притоки. В устье Северной Двины был создан крупный торговый центр и морской порт – Архангельск. Уже в этот период началось продвижение русских в Сибирь по рекам Урала с перетаскиванием судов на реки Сибири.

Большое развитие водный транспортный путь получил в период царствования Петра I. В это время были развиты экономические связи со странами Балтийского, Азовского и Черного морей, создан новый флот и реки подготовлены для пропуска судов этого типа. Перенос столицы русского государства из Москвы к берегам Финского залива потребовал улучшения водных путей от Волги до Балтики. В 1703 – 1722 годах была сооружена Вышневолоцкая – первая в России шлюзованная водная система, соединившая Волгу с Невой (через реки Тверцу, Цну, Мсту, оз. Иломень, р. Волхов и Ладожское озеро). В Петровские времена была предпринята попытка создания Волго-Донского канала (экономические и технические средства того времени не позволили построить это грандиозное сооружение).

С 1784 года на реках России осуществлялись промеры глубин и ограждение фарватера предохраняющими знаками. К этому периоду относятся пер-

вые скалоуборочные работы на Днепровских порогах.

С появлением парового флота в XIX веке потребовалось дальнейшее совершенствование и развитие водных путей. Было построено несколько искусственных водных систем. В 1810 – 1811 годах были открыты Мариинская (Шексна – Ковжа – Вытегра из Онежского озера в Рыбинское водохранилище) и Тихвинская водные системы (по трассе Молога – Тихвинка). Для регулирования судоходства в 1840 году на реке Волга была сооружена плотина, которая обеспечивала устойчивость глубины на фарватере от города Твери до города Рыбинска. Во второй половине XIX века было введено освещение навигационных знаков. К этому периоду относится начало использования землечерпательных снарядов для поддержания судоходных условий. Вначале эти работы проводились на Неве, затем на Волге и реках Сибири.

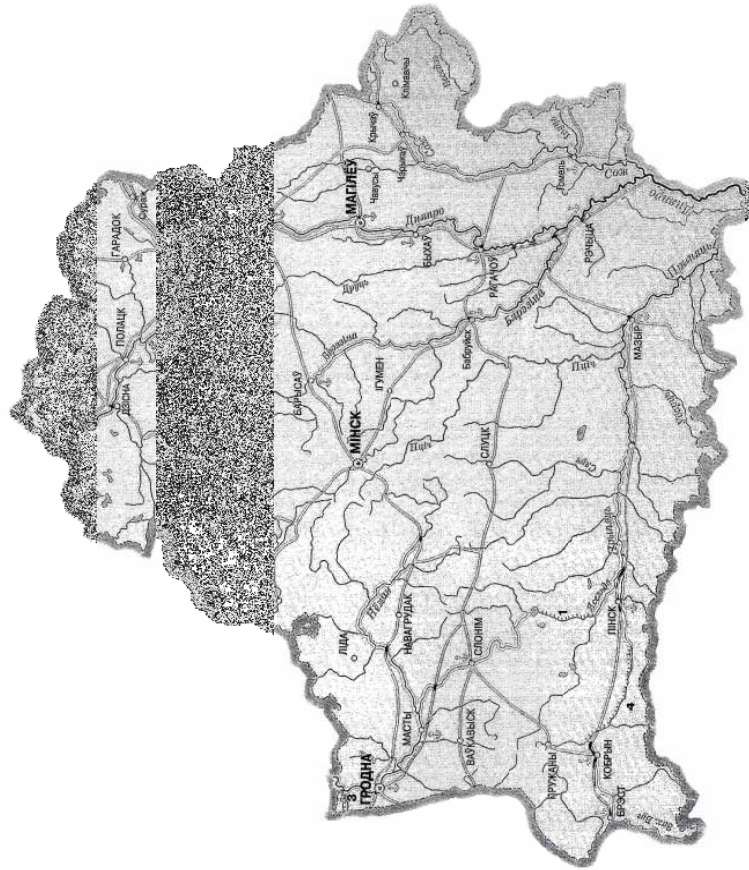
В кон. XIX – нач. XX вв. начала создаваться теория гидротехники свободных рек. Были выполнены исследования гидрологии, геоморфологии рек, определены закономерности русловых процессов, т.е. создана наука о строительстве, реконструкции и эксплуатации внутренних водных путей.

В годы советской власти предусматривалось комплексное использование водных ресурсов для целей энергетики, транспорта, орошения. Внутренний водный транспорт освоил для судоходства новые реки и озера. Построены десятки гидроузлов с водохранилищами, созданы крупные судоходные каналы и водные системы, ряд судоходных рек зашлюзованы. Наиболее значимые судоходные каналы – Беломоро-Балтийский, канал им. Москвы, Волго-Донской канал имени В.И. Ленина, Волго-Балтийский водный путь имени В. И. Ленина, Днепро-Бугский канал. Для судоходства использовались отдельные участки крупнейшего оросительного канала в Средней Азии – Кара-Кумского. Почти на всем протяжении превращены в каскады водохранилищ реки Волги и Кама, Днепр и Дон, Москва и Свирь. В два раза выросла эксплуатационная длина водных путей. До 80 % рек стало иметь навигационное ограждение. На многих реках, где судоходные глубины были близки к судоходному пределу, проведены крупные выправительные работы по улучшению судоходных качеств (увеличены глубина, ширина и радиусы закругления). Выправительные работы проводились на реках Припяти и Соже.

Первая водно-транспортная система на территории нашего государства – Днепровско-Неманский водный путь (рисунок 1.1). Он был создан в 1767 – 1783 гг. Его создание и функционирование стало возможным со строительством Огинского канала, который соединил реку Ясельду (приток реки Припять) с рекой Шара (приток реки Неман). Канал предназначался для сплава леса из бассейна реки Припять на реку Неман и далее в Восточную Пруссию.

В 1797 – 1805 гг. была построена Березинская водная система, соединившая реку Днепр с Западной Двиной по рекам Березина и Ула. Этот водно-транспортный путь также был предназначен для лесосплава до города Риги.

Рисунок 1.1 – Схема водных путей
 Беларуси начала XIX века.
 1 – Огинский канал; 2 – Березинский вод-
 ный путь; 3 – Августовский канал;
 4 – Днепро-Бугский канал



Следующим этапом развития воднотранспортной системы стало строительство в 1775 – 1848 гг. Днепро-Бугского водного пути, который соединил бассейны рек Днепра и Вислы и позволил осуществлять торговые связи славянского Востока со странами Западной Европы.

В период с 1824 по 1839 гг. была создана Висла-Неманская система (Августовский канал), которая имела большое значение для транспорта леса на плотках как в сторону реки Неман, так и в направлении реки Висла.

Строительство отдельных водных путей было важнейшим этапом в развитии судоходства на реках Беларуси и содействовало росту экономических связей с районами Причерноморья, Прибалтики и Западной Европы. Однако впоследствии Днепро-Неманская, Березинская и Висла-Неманская водные системы утратили свое значение из-за габаритов судового хода.

Днепро-Бугский канал за время своего существования несколько раз перестраивался и после последней реконструкции в 1990 году имеет ширину 40 м, глубину 1,8 – 2,4 м и длину около 200 м. Этот водный путь обеспечивает судоходство в пределах Республики Беларусь с выходом на водные пути Украины.

Однако из-за незначительных глубин на реке Западный Буг на территории Польши исключается возможность использовать этот водный путь для судоходства между Балтийским и Черным морями.

Значительную веху в развитии водных путей внесло начало парового судоходства. Этот период относится к 1850 г., когда начались регулярные рейсы между Пинском и Кременчугом. В 1882 г. вступили в эксплуатацию пассажирские линии Киев – Пинск, Киев – Рогачев, Рогачев – Могилев, Могилев – Орша. В грузовом движении началась буксировка судов по Днепру вверх по течению до Могилева, по реке Припять до Пинска и по реке Березина до Бобруйска. В этот период выросла грузоподъемность самоходных и несамоходных грузовых судов.

Коренные изменения в развитии речного транспорта произошли после Великой Отечественной войны: пароходы были заменены на теплоходы, деревянные баржи – на стальные повышенной грузоподъемности, почти полностью заменен пассажирский флот, значительно увеличены габариты водных путей.

В настоящее время речной транспорт переживает нелегкий период в своем развитии: значительно сократились объемы перевозок, уменьшилась протяженность судоходных водных путей, проявляются и другие негативные явления.

1.2 Основные виды водных путей

Водные пути подразделяются на внутренние и внешние (рисунок 1.2). Внешние водные пути – это моря и океаны, которые из-за больших глубин используются для судоходства в естественных условиях. Лишь на подходах к

морским портам, расположенным на мелководье или в устьях рек, где глубины недостаточны для прохода судов с большой осадкой, в состав водных путей входят морские каналы. Сюда входят соединительные каналы между морями и океанами (Панамский, соединяющий Атлантический океан с Тихим, Суэцкий – Средиземное море с Красным). Все внешние водные пути объединены в морской транспорт.

Важное место в транспортной системе занимает водный транспорт. В единой транспортной системе его называют внутренним водным транспортом. Внутренние водные пути (ВВП) по природе происхождения делятся на естественные и искусственные. Естественными являются свободные реки и озера.

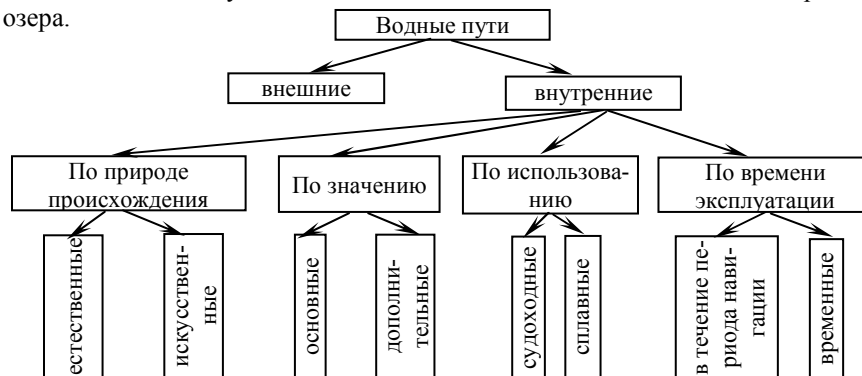


Рисунок 1.2 – Классификация водных путей

На территории СНГ и стран Балтии насчитывается около 3 млн рек, ручьев, каналов общей протяженностью 9648 тыс. км. и 2,8 млн озер, водохранилищ и крупных прудов. Если учесть реки длиной более 100 км, то их в СНГ и странах Балтии расположено свыше 4000 общей протяженностью около 900 тыс. км. Число озер и водохранилищ площадью более 100 км² – около 200. 63 реки имеют длину более 1000 км. Характеристика наиболее крупных судоходных рек стран СНГ представлена в таблице 1.1.

Т а б л и ц а 1.1 – Судоходные реки СНГ

Река	Где протекает	Длина, км		Площадь бассейна, км ²	Среднегодовой расход воды, м ³ /с
		всего	в том числе судоходная		
Лена	Российская Федерация	4400	4125	2490	17000
Иртыш	Российская Федерация – Казахстан	4298	3779	1643	2830
Волга	Российская Федерация	3688	3194	1360	7710
Обь	Российская Федерация	3650	3650	2867	12700
Енисей	Российская Федерация	3487	3487	2580	19800

Продолжение таблицы 1.1

Река	Где протекает	Длина, км		Площадь бассейна, км ²	Среднегодовой расход воды, м ³ /с
		всего	в том числе судоходная		
Днепр	Российская Федерация	2200	1869	504	1700
	Республика Беларусь				
	Украина				
Припять	Российская Федерация	803	394	218	870
	Республика Беларусь				
	Украина				
Сож	Российская Федерация	202	50	42	207
	Республика Беларусь				

По использованию водные пути подразделяются на судоходные и сплавные. Из общей протяженности рек для судоходства и сплава пригодны немногим более 500 тыс. км, а используются только 150 тыс. км, т.е. 26 %. Однако и эта цифра в 3 раза превышает эксплуатируемые водные пути США.

В Республике Беларусь протекает 20,8 тыс. рек общей протяженностью 90631 км (рисунок 1.3). Густота рек, т.е. общая протяженность, отнесенная на 1 км² общей площади территории республики (207,6 тыс. км²), составляет 0,44 км/км². Судоходная часть в 1987 составляла 3,8 тыс. км, в 1991 – 2,8 тыс. км, в 2002 – 1,8 тыс. км.

Судоходство осуществляется по Припяти, Днепру, Березине, Сожу, Неману (верхняя часть) и Западной Двине (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Характеристика судоходных рек Республики Беларусь

Река	Протяженность судоходной части		Гарантированные габариты водного пути		
	общая	в том числе с гарантированными габаритами	глубина, см	ширина, м	радиус закругления, м
Припять	399	394	145	30	200
Днепр	388	154	100	20	120
Березина	307	253	100	25	125
Сож	202	50	110	25	150
Неман	58	57	110	25	250
Западная Двина	186	100	70	20	125
Днепро-Бугский канал	244	244	200	40	200
Заславское водохранилище	23	23	150	80	-
Итого	1807	1275			

Общая площадь, занимаемая 2,8 млн озер, составляет 488,4 тыс. км² (2,2 % территории СНГ).

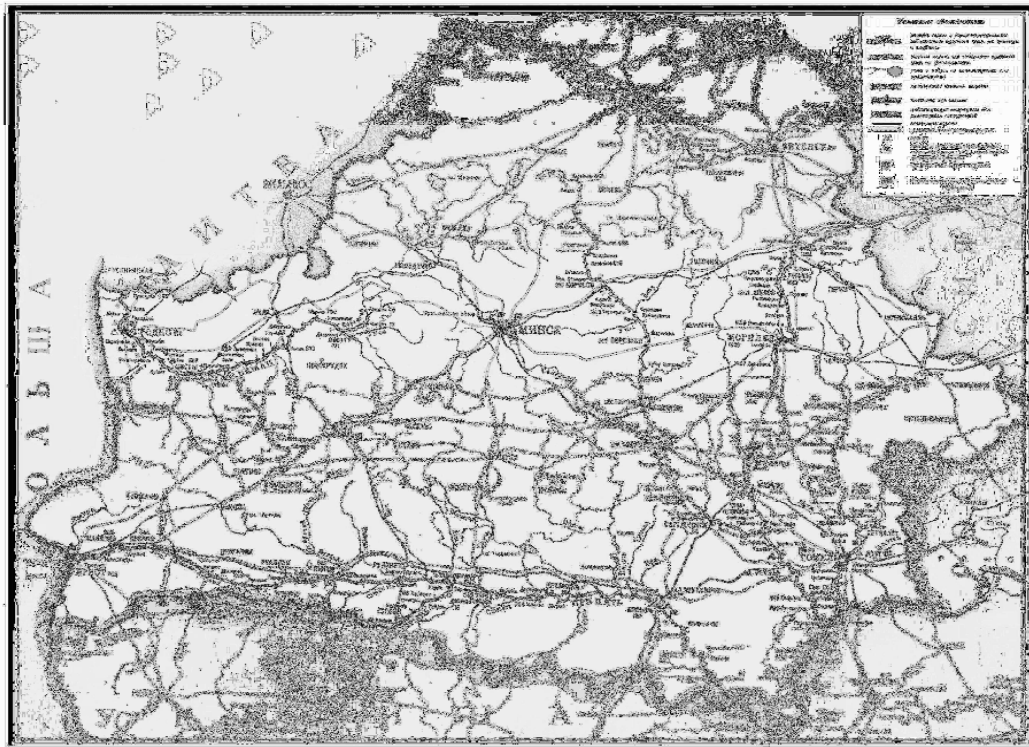


Рисунок 1.3 – Схема внутренних водных путей Республики Беларусь

Наиболее крупными озерами являются: Аральское, Байкал, Балхаш, Ладожское, площадь водной поверхности которых превышает 10000 км² (таблица 1.3).

Т а б л и ц а 1.3 – Крупные озера СНГ

Озеро	Где расположено	Площадь поверхности, км ²	Средняя глубина, м	Наибольшая глубина, м
Аральское	Казахстан – Туркменистан	64100	16	68
Байкал	Российская Федерация	31500	730	1741
Балхаш	Казахстан	18300	6	26
Ладожское	Российская Федерация	17700	51	230

По значению водные пути делятся на основные, используемые для грузовых и пассажирских перевозок, и дополнительные, не имеющие самостоятельного значения и служащие для проводки плотов и судов к основным магистралям.

По времени эксплуатации водные пути бывают: функционирующие в течение всей навигации и временные, используемые только в период паводков, пропусков воды из водохранилищ.

1.3 Транспортная классификация внутренних водных путей

По своим характеристикам, определяющим потребный тип и параметры транспортных судов, интенсивность судоходства, и роли в перевозочном процессе внутренние водные пути классифицируются: в зависимости от габаритных параметров судового хода, по условиям ветроволнового режима, по составу и требованиям к навигационному оборудованию и по видам сообщения.

На выбор типа транспортного флота оказывают влияние гарантированная (минимальная) глубина, ширина и радиус закругления судового хода, условия ветроволнового режима водного пути.

В зависимости от гарантированных параметров судового хода внутренние водные пути делятся на семь классов (таблица 1.4).

Т а б л и ц а 1.4 – Классы внутреннего водного пути в зависимости от параметров судового хода

Класс водного пути	Вид водного пути	Гарантированная глубина, м	Ширина, м	Радиус закругления, м
I	Сверхмагистрали	3,2 и более	100 – 85	1000 – 600
II	Магистрали	2,5 – 3,2	75 – 70	600 – 350
III	Магистрали	1,9 – 2,5	75 – 70	600 – 350
IV	Магистрали	1,5 – 1,9	50 – 40	300 – 200
V	Местного значения	1,1 – 1,5	50 – 40	300 – 200
VI	Местного значения	0,7 – 1,1	20 – 14	120 – 90
VII	Местного значения	0,5 – 0,7	20 – 14	120 – 90

Классификация внутренних водных путей Республики Беларусь и их техническая характеристика представлены в приложении Б.

По условиям ветроволнового режима внутренние водные пути разделены на 4 разряда: «М», «О», «Р», «Л». Такая классификация обосновывается наличием водных путей со сложными условиями плавания (моря, озера, водохранилища, низовья крупных рек), где предусматривается использование определенных типов судов для предотвращения аварийных ситуаций.

К разряду «М» (море) относят водные пути, на которых волны могут достигать высоты 3 м и длины 40 м; к разряду «О» (озеро) – водные пути, на которых эти параметры соответственно составляют 2 и 20 м; к разряду «Р» (река) – водные пути с высотой волны 1,2 м и длиной 12 м; к разряду «Л» (малые реки и верховья крупных рек) – все остальные водные пути, не вошедшие в разряд «Р».

По составу и требованиям к навигационному оборудованию в зависимости от интенсивности судоходства водные пути делятся на 5 групп:

1) водные пути с интенсивным судоходством и сплавом леса в плотках (30 и более судов или 5 и более плотовых составов);

2) водные пути с менее интенсивным судоходством (до 30 судов или 5 плотовых составов);

3) водные пути с неинтенсивным судоходством (5 судовых составов и отсутствует регулярный сплав);

4) водные пути, где интенсивность судоходства невелика, но ночью проходит 1–2 судна;

5) водные пути, где судоходство нерегулярно и осуществляется только в дневное время.

По видам сообщения внутренние водные пути делятся на межгосударственные (проходящие по территории нескольких государств), к ним относятся главнейшие сверхмагистраль; межрайонные (они могут быть и межгосударственными) – это водные пути, обеспечивающие связи между крупными экономическими районами одного или нескольких государств; внутрирайонные – местного значения для перевозок внутри экономического района; подъездные пути (малые реки) – обеспечивают выход на пути высших классов.

1.4 Техничко-эксплуатационная характеристика водных путей

К таким характеристикам относятся: густота перевозок на 1 км водного пути, продолжительность периода навигации, удельный вес в общем грузообороте и объёме перевозок грузов и пассажиров.

Для действующей классификации внутренних водных путей величина густоты перевозок не установлена. Ориентировочно можно считать: для

сверхмагистралей – 500–1600 тыс. ткм, для магистралей 2, 3 и 4-го классов – 150–2500 тыс. ткм, для путей местного значения 5-го и 6-го классов – 50–500 тыс. ткм и 7-го класса – менее 100 тыс. ткм [8].

Продолжительность периода навигации колеблется от 50 (северо-восточные районы) до 300 (юго-западные) суток. На основных реках: Верхняя Волга – 190–200 суток, Нижняя Волга – 240–300 суток, Обь (в Обской губе) – 50–70 суток, Иртыш (у Омска) – 180–190 суток, Лена (у города Якутска) – 215–270 суток, на реках Республики Беларусь – 215–250 суток.

В общем грузообороте всех видов транспорта доля ВВП составляла 4,0 % (1995 г.), в пассажирообороте – 1,2 % (1995 г.), в Республике Беларусь – соответственно 0,1 и 0,002 %. Объем перевозок в 2001 г. на наших водных путях составил около 1,2 млн т грузов и 100 тыс. пассажиров.

2 ИСКУССТВЕННЫЕ ВОДНЫЕ ПУТИ

2.1 Основные виды искусственных водных путей

Речная сеть в ее естественном состоянии во многих случаях не обеспечивает необходимых транспортных бесперегрузочных связей между экономическими районами. Это связано: с уменьшением гарантированных судоходных глубин вверх по течению (к крупным промышленным центрам подходят, как правило, верховья или притоки судоходных рек); взаимной перпендикулярностью направлений основных грузопотоков и течений в реках (реки текут в меридиональном направлении, грузы в большем объеме перемещаются в широтном) и с другими факторами. Все это вызывает необходимость создания искусственных водных путей (ИВП).

В зависимости от назначения и характера искусственные водные пути подразделяются на шлюзованные реки, обходные и подходные судоходные каналы, межбассейновые воднотранспортные соединения.

Шлюзование рек – это способ увеличения судоходных глубин возведением на них целого ряда гидроузлов, повышающих в период навигации уровень воды в реке по сравнению с его положением в естественном состоянии. Преодоление судами сосредоточенных перепадов уровней воды осуществляется посредством судоходных шлюзов и судоподъемников.

Судоходные каналы, не входящие в состав гидроузлов и межбассейновых соединений, называются *обходными*, когда они используются для обхода непригодного для судоходства участка водного пути, и *подходными*, когда они предназначены для подвода судов от реки или искусственного водного пути к пристани в городе, промышленному объекту или порту.

Межбассейновым соединением называется комплекс гидротехнических сооружений, который обеспечивает судоходную связь между двумя водоразделами, судоходными реками, входящими в разные речные или морские бассейны.

2.2 Шлюзование рек

Для увеличения судоходных глубин на протяжении шлюзованного участка реки располагаются гидроузлы (рисунок 2.1). Гидроузлы – это группа гидротехнических сооружений, объединенных по расположению и условиям их совместной работы. В состав гидроузла входят: плотина, шлюз, гидроэлектростанция, подходные каналы к шлюзу, оградительные дамбы и другие устройства (рисунок 2.2). Расположение устройств в плане определяется местными особенностями и отличается друг от друга.

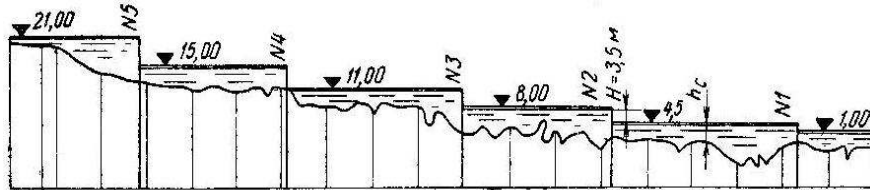


Рисунок 2.1 – Продольный профиль шлюзового участка реки с указанием створов и отметок гидроузлов

Участок реки выше плотины по течению называют *верхним бьефом*, ниже – *нижним бьефом*. Разность уровней верхнего и нижнего бьефов называют *напором*. Шлюзы служат для пропуска судов из одного бьефа в другой.

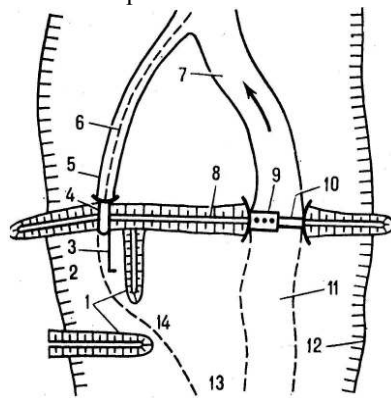


Рисунок 2.2 – Гидроузел:
1 – оградительная дамба аванпорта; 2 – аванпорт; 3 – верховые причальные палы; 4 – шлюз; 5 – низовые причальные палы; 6 – подходный канал; 7 – русло реки; 8 – земляная плотина; 9 – гидроэлектростанция; 10 – бетонная водосливная плотина; 11 – бывшее русло реки; 12 – коренной берег реки; 13 – водохранилище; 14 – вход в аванпорт

Различают две основные задачи шлюзования:

- только в транспортных целях – для улучшения судоходных условий;
- для комплексного использования водных ресурсов – в интересах водного транспорта, а также других отраслей народного хозяйства.

Во втором случае термин «шлюзование рек» теряет свое значение и применяется новый – «каскад гидроузлов».

Если для решения первой задачи определяющим фактором является достижение проектной судоходной глубины, то для второй ведущим компонентом является гидроэнергетика.

2.3 Обходные и подходные каналы

Необходимость сооружения обходных каналов была вызвана обеспечением движения судов в обход крупных водоемов, портов, участков пути, которые недоступны для судоходства или для его обеспечения требуются большие затраты. Иногда обходные судоходные каналы строят между устьями рек, впадающих в моря, с целью исключения перевалки с речных на морские суда, а затем снова на речные. Например, в США такой канал построен вдоль Атлантического побережья и Мексиканского залива от Нарфолка до Браунсвилла – общей протяженностью более 4 тыс. км.

Обходные каналы могут быть открытыми или шлюзованными. Примерами сооружения обходных каналов в обход озер являются: открытых – Приладожский и Онежский (рисунок 2.3), шлюзованных – Белозерский с двумя шлюзами (рисунок 2.4). Приладожский, Онежский и Белозерский каналы были построены в XVIII – XIX веках. Их сооружение вызвано необходимостью обеспечения плавания судов того времени (малые деревянные), которые не выдерживали ветроволновой нагрузки озер. Примером сооружения каналов в обход участков рек являются каналы, расположенные в долине реки Выч на трассе Беломоро-Балтийского канала.

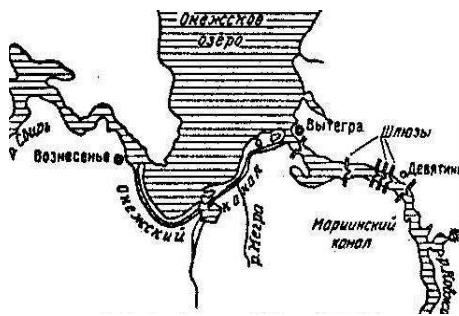


Рисунок 2.3 – Онежский открытый обходной канал

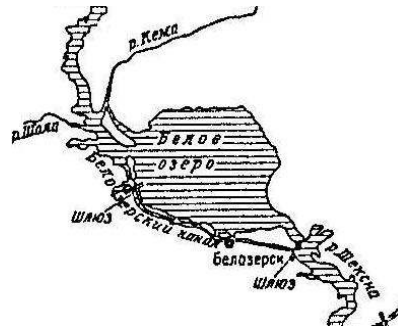


Рисунок 2.4 – Белозерский обходной шлюзованный канал

С развитием судоходства, созданием судов озерного и смешанного плавания уменьшилась роль обходных каналов, так как остойчивость судов, прочность корпуса таких судов обеспечивают режимы плавания в этих условиях. Тем не менее, обходные каналы используются для осуществления местных перевозок грузов на малых судах и леса на плотках.

Подходные каналы прокладываются для доставки грузов непосредственно к причалам предприятий или к внерусловым портам (рисунок 2.5). Целесообразность сооружения таких каналов определяется технико-экономическими расчетами. Обычно это целесообразно при больших объемах перевозок и небольшой длине канала.

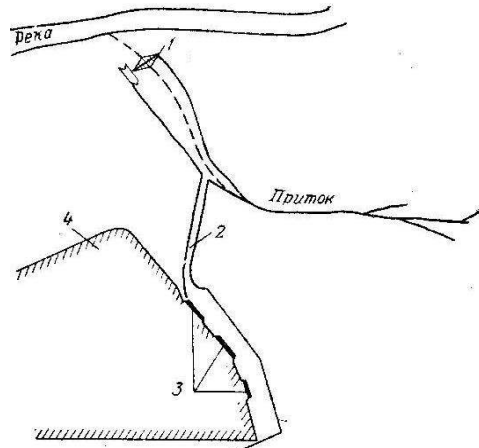


Рисунок 2.5 – Шлюзованный подходный канал от реки к крупному промышленному комбинату:

1 – гидроузел с судоходным шлюзом; 2 – канал; 3 – портовые причалы; 4 – промышленный комбинат

Подходные каналы также могут быть *открытыми* и *шлюзованными*. В качестве подходных каналов для судоходства в ряде случаев используют оросительные каналы (крупные магистральные). В качестве примера может служить Каракумский оросительный канал протяжением 800 км от Амударьи до Ашхабада (ныне Асхабад). Он обеспечивает плавание судов с осадкой до 2 м.

2.4 Межбассейновые соединения

Межбассейновые воднотранспортные соединения сооружаются *открытыми* и *шлюзованными*. Крупные реки обычно удалены друг от друга и разделены водоразделами со значительно возвышающимися горизонтами воды. Для обеспечения между реками судоходства их соединяют, как правило, через притоки, приближающиеся друг к другу и разделенные менее высокими водоразделами. Судоходные глубины на притоках всегда невелики, и для обеспечения судоходства современных судов их часто приходится шлюзовать. Открытые межбассейновые соединения строятся как исключение. Например, Суэцкий канал между Средиземным и Красным морями длиной 161 км, шириной 120 – 150 м, глубиной 16,5 – 17 м. Построен в 1869 году.

Современные межбассейновые соединения – это сложные шлюзованные воднотранспортные системы, включающие большой комплекс гидротехнических сооружений (шлюзов, плотин – для подъема уровня воды, дамб – для защиты долин рек от затопления, каналов, насосных станций и т.д.). В состав межбассейновых соединений часто входят гидроэлектростанции, водо-

заборы оросительных систем для водоснабжения и другие устройства. Судходные глубины и габариты судопропускных сооружений должны соответствовать перспективным условиям плавания судов в бассейнах. Во всех случаях основным вопросом межбассейнового соединения является питание водораздельного бьефа водой. Эта задача решается двумя способами:

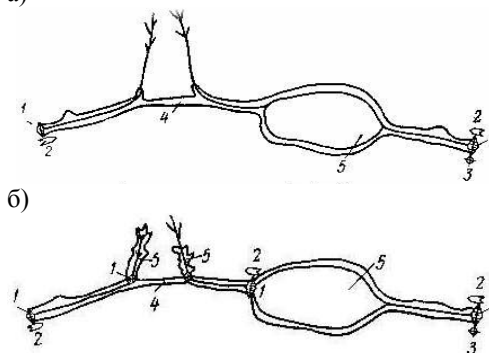
- за счет приточности естественным путем (рисунок 2.6);

а)

Рисунок 2.6 – Самоотечное питание водораздельных бьефов межбассейновых водотранспортных соединений за счёт местного стока:

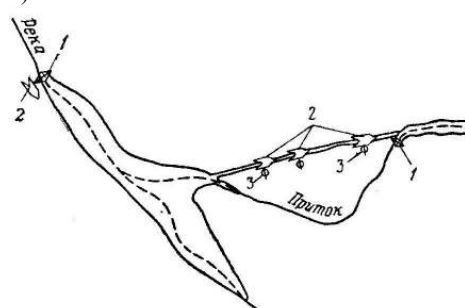
а – с использованием избыточного стока на гидроэлектростанции; б – с регулированием стока в водохранилищах на притоках;
 1 – земляная плотина с водосбросом;
 2 – шлюз; 3 – гидроэлектростанция;
 4 – водораздельный канал;
 5 – водохранилище

б)



- подачей воды из многоводного источника (одной из рек) насосными станциями (рисунок 2.7).

а)



б)

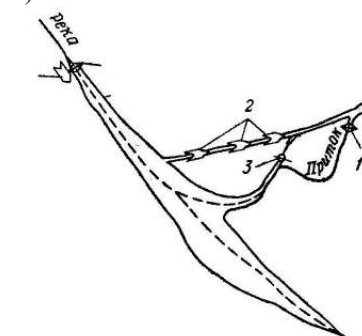


Рисунок 2.7 – Машинное питание водораздельного бьефа межбассейновых водотранспортных соединений:

а – с последовательной подкачкой воды из бьефа в бьеф; б – с подкачкой на меньшем числе насосных станций; 1 – плотина; 2 – шлюз; 3 – насосная станция

Примерами межбассейновых соединений являются: Мариинская система, Тихвинская система, Волго-Донской канал, канал им. Москвы, Беломоро-Балтийский водный путь и др.

3 ВОДНЫЙ БАЛАНС И ПИТАНИЕ РЕК

3.1 Круговорот воды на Земле

Поверхность планеты составляет 510 млн км², поверхность океанов и морей – 360 млн км², или 70,5 %; суши – 150 млн км², или 29,5 % (рисунок 3.1).

За счет энергии Солнца происходит испарение воды с поверхности океанов, морей, внутренних водоемов. Большое количество влаги испаряется почвой, лесами и другой растительностью. Испарившаяся вода переносится ветрами на большие расстояния и затем конденсируется и выпадает на поверхность океанов, материков в виде дождя, снега, росы.

Существуют малый круговорот воды над Мировым океаном, большой круговорот воды на Земле и малый круговорот над сушей (рисунок 3.2). Малый круговорот воды над Мировым океаном состоит из испарения воды с поверхности океана, переноса пара на расстояния, конденсации пара в атмосфере и выпадения осадков на поверхность океана. Такой круговорот воды практически не имеет народнохозяйственного значения.



Рисунок 3.1 – Диаграмма распределения суши и воды на Земле

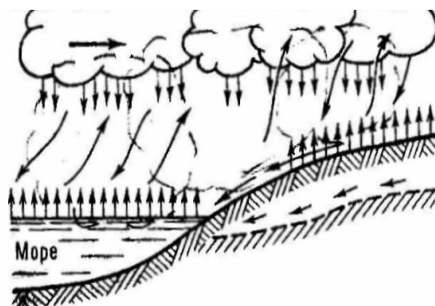


Рисунок 3.2 – Круговорот воды

Большой круговорот воды на Земле включает следующие процессы: испарение воды с поверхности Мирового океана, перенос пара в атмосфере воздушными потоками, конденсация пара в воздухе, выпадение осадков на поверхность суши и сток осадков обратно в океан. Вода, выпавшая в виде осадков на поверхность суши, частично просачивается в грунт, а та часть, которая не успела испариться или просочиться, стекает по поверхности суши в виде ручьев, рек и рек в океан. Проникая в грунт, вода медленно через грунты фильтруется и в конечном итоге опять выходит на поверхность в виде ключей и родников.

Малый круговорот воды над сушей заключается в повторном выпадении на поверхность суши испарившейся с нее воды.

Большой и малый круговороты воды оказывают большое влияние на климат материков и имеют большое народнохозяйственное значение, в том числе и для питания рек.

Кроме этих круговоротов имеет место частичное выпадение осадков, испарившихся над сушей, в море.

3.2 Водный баланс суши и речных бассейнов

Водные ресурсы земного шара, пригодные для использования в народном хозяйстве: воды рек, озер, морей и океанов, подземные воды, почвенная влага, вода ледников, водяные пары атмосферы – приблизительно составляют 1390 млн км³, в том числе – 1340 млн км³ Мирового океана.

Уровень океана сохраняет относительно стабильное положение. Это означает, что в общем круговороте воды в природе существует известный баланс между испарениями, осадками, просачиванием и стоком воды по рекам. В среднем за многолетний период годовое количество осадков $O = 1020$ мм, испарения с поверхности океана $I_o = 880$ мм, испарения с поверхности суши $I_c = 140$ мм.

В связи с этим получаем следующее уравнение баланса воды на земном шаре:

$$O \approx I_o + I_c . \quad (3.1)$$

Водный баланс суши

$$O_c \approx I_c + C , \quad (3.2)$$

где O_c – осадки на поверхность суши;

C – сток с суши (поверхностный и подземный).

Водный баланс определенного речного водосбора или речного бассейна определяется за многолетний период наблюдений тем же уравнением, что и водный баланс суши (3.2). Осадки, испарение, сток могут быть выражены в

км³, а также в виде годового, месячного, суточного слоя воды, выпавшей в виде осадков, испарившейся или стекшей с рассматриваемой территории. Если обозначим среднегодовой слой осадков через \bar{x} , среднегодовой слой испарения – \bar{z} , среднегодовой слой стока – \bar{y} , то уравнение водного баланса можно записать в таком виде:

$$\bar{x} = \bar{z} + \bar{y}. \quad (3.3)$$

Водный баланс отдельного замкнутого бассейна, взятый за какой-либо отдельный год, может не укладываться в уравнение (3.2) и (3.3) из-за чередования многоводных и засушливых годов, наличия сложных процессов образования запасов воды в годы, обильные осадками, и их расхода в засушливые годы. Это объясняется тем, что движение подземных вод происходит медленно. Продолжительность периода от проникновения в грунт частиц воды до выхода их на поверхность в виде ключей может составлять несколько месяцев и даже лет. С учетом режима накопления и расходования подземных вод уравнение годового баланса вод в отдельном речном бассейне принимает вид

$$\bar{x} = \bar{y} + \bar{z} \pm \Delta\bar{w}, \quad (3.4)$$

где $\Delta\bar{w}$ – накопление (+) и расходование (-) запасов подземных вод.

3.3 Питание рек

Питание рек происходит за счет поверхностных и грунтовых вод. Оно зависит от физико-географических условий: климата, почвы, растительности, деятельности человека и т.д. Различают *поверхностное* и *грунтовое* питание рек (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Виды питания рек

Дождевыми водами питаются реки на востоке СНГ (Амур и его притоки). Основным источником питания являются муссонные дожди. Бассейны

рек со снеговым питанием занимают более $\frac{3}{4}$ территории (европейская часть, Западная Сибирь, Средняя Азия, Казахстан, Северо-Восточная Сибирь). К рекам с ледниковым питанием относятся реки Кавказа и горной части Средней Азии. Основным источником грунтового питания являются осадки и пары воды, проникающие в поры грунта и конденсирующиеся там. Доля грунтового питания для большей части рек СНГ не превышает 20 % годового количества воды. Но это наиболее равномерные и устойчивые источники питания, поэтому оно имеет важное значение, а в засушливое время и зимой является единственным источником поступления воды в реки. Грунтовое питание присуще всем рекам, кроме рек Заволжья и Казахстана, где этот вид питания очень мал.

3.4 Характеристики водного режима реки

Основными характеристиками водного режима воды является сток (величина объема воды, поступающей с водосборной площади за определенный промежуток времени) и высота уровня воды в русле. Обе эти характеристики устанавливаются путем непосредственных наблюдений или расчетом, учитывая, что $Q = f(H)$, где Q – секундный объем стока, $\text{м}^3/\text{с}$ ($\text{л}/\text{с}$); H – высота уровня воды, м.

Основной количественной характеристикой стока является расход воды Q , точнее, он представляет собой объем воды (м^3), протекающей через живое сечение реки в единицу времени (чаще секунду). По данным замеров расходов воды (на водомерном посту) или используя ежедневные наблюдения за ее уровнями и кривую зависимости $Q = f(H)$, строят кривую изменения расхода воды во времени $Q = f(t)$, называемую гидрографом (рисунок 3.4).

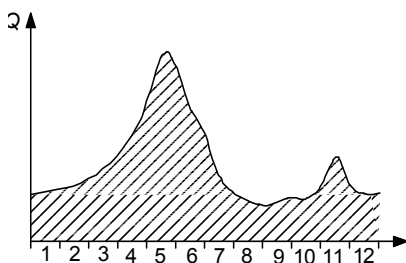


Рисунок 3.4 – Гидрограф

Другими количественными характеристиками являются объем стока W , м^3 (км^3), за какой-либо период времени (сутки, месяц, год), который равен площади, ограниченной линией гидрографа и осью абсцисс (времени за исследуемый промежуток).

Модуль стока M , $\text{л}/\text{с}\cdot\text{км}^2$

$$M = \frac{1000 Q}{F}, \quad (3.5)$$

где F – площадь водосбора, км^2 .

Слой стока h , мм/год,

$$h = \frac{W}{F \cdot 10^3} \cdot \quad (3.6)$$

Величину h можно выразить и следующим образом:

$$h = M \frac{T}{10^6}, \quad (3.7)$$

где T – число секунд в году.

По результатам многолетних наблюдений (более 25 лет) определяется норма стока

$$Q_0 = \frac{\sum_i^n Q_i}{n}, \quad (3.8)$$

где Q_i – среднегодовой расход воды i -го года;

n – количество лет в рассматриваемом периоде наблюдений.

Аналогично определяются:

среднегодовой объем стока

$$W_0 = \frac{\sum_i^n W_i}{n}; \quad (3.9)$$

слой стока

$$h_0 = \frac{\sum_i^n h_i}{n}; \quad (3.10)$$

модуль стока

$$M = \frac{\sum_i^n M_i}{n}. \quad (3.11)$$

Режим стока определяет уровень воды в реке. Изменение уровня воды в реке во времени $H = f(t)$ называется графиком колебания уровней (рисунок 3.5).

Различают следующие фазы водного режима рек:

половодье – ежегодно повторяющийся высокий подъем уровня воды, сопровождающийся выходом воды из русла в пойму;

межень – период продолжительного низкого уровня воды, когда река питается главным образом грунтовыми водами;

паводок – быстрый и кратковременный подъем уровня воды, обычно вызываемый дождями.

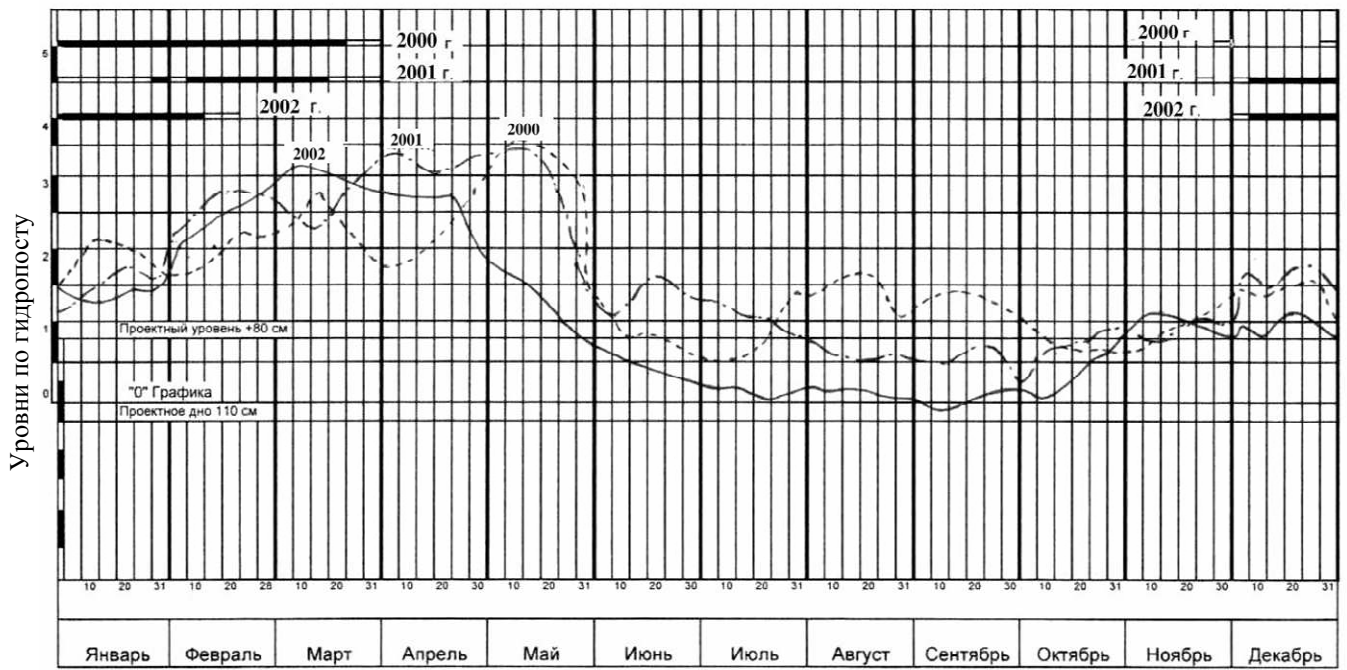


Рисунок 3.5 – График колебаний уровней воды по Речицкому гидропосту (р. Днепр)

4 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ СУДОХОДСТВА НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

4.1 Основные параметры судов

Основными параметрами судов являются габаритные размеры, водоизмещение и грузоподъемность. Габаритные размеры включают: длину, ширину и высоту борта (рисунок 4.1).

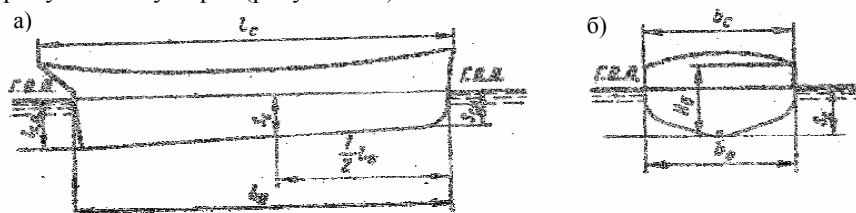


Рисунок 4.1 – Основные габаритные размеры судна:
а – продольный разрез по оси; б – поперечный разрез по миделевому сечению

Наибольшая длина судна l_c равна по горизонтали расстоянию между двумя крайними по длине точками корпуса судна. Длина судна l_0 равна расстоянию по горизонтали между точками пересечения вертикальной диаметральной плоскости с горизонтальной плоскостью ватерлинии при полной грузовой осадке. Наибольшая ширина судна b_c равна расстоянию между крайними точками поперечного сечения в наиболее широком месте (обычно в миделевом). Ширина судна b_0 – это расстояние между точками поперечного сечения с ватерлинией (т.е. при полной грузовой осадке). Осадка судна S_c равна расстоянию по вертикали между ватерлинией и нижней кромкой киля судна в миделевом сечении. Различают еще осадку кормой $S_{с.к.}$ и осадку носом $S_{с.н.}$. Наибольшая осадка судна $S_{с.мах}$ равна наибольшему расстоянию по вертикали между ватерлинией и нижней кромкой киля судна. Высота борта судна H_c равна расстоянию по вертикали между килевой и бортовой линиями в миделевом сечении.

Важными характеристиками являются отношения:
 l_0/H_6 , которое для самоходных судов составляет 12 – 30, несамоходных – 24 – 40. Это отношение определяет прочность корпуса судна;
 l_0/b_0 , которое характеризует быстроходность судна. Для грузопассажирских судов оно равно 7 – 9, несамоходных и грузовых – 5 – 7.
 Водоизмещением судна, m^3 , называют общую массу груза и судна в тоннах. Оно численно равно объему вытесненной воды подводной частью судна:

$$W = \delta_c l_0 b_0 S_c, \quad (4.1)$$

где δ_c – коэффициент полноты водоизмещения судна (у несамоходных $\delta_c = 0,85 \dots 0,90$, самоходных – $0,7 \dots 0,8$).

Грузоподъемностью судна называют вес груза, который может принять судно. Различают полную грузоподъемность, которая равна водоизмещению за вычетом массы судна в порожнем состоянии (масса груза, команды, топлива и т. д.), и чистую грузоподъемность, которая учитывает только массу груза без команды, топлива и т. д. и без массы судна в порожнем состоянии:

$$\delta = \gamma_v \delta_c l_0 b_0 S_c - \gamma_b \delta_n l_0 b_0 S_{c.n}, \quad (4.2)$$

где γ_v – объемная плотность воды;
 δ_n – коэффициент полноты водоизмещения порожнего судна;
 $S_{c.n}$ – осадка судна в порожнем состоянии.

4.2 Габариты водных путей

Обычно не все пространство водных путей может быть использовано для плавания, а только его часть. Это вызвано наличием целого ряда ограничений (мелководья, навигационные опасности и др.), которые препятствуют использованию водного пространства как по длине, так и по ширине водного пути. Для движения судов требуется пространство, ограниченное глубиной T , шириной B , радиусом кривизны R , и должно обеспечивать прохождение определенных типов судов и составов (рисунки 4.2).

Кроме этого, для движения судов в местах пересечения водных путей с мостами, линиями электропередач и другими надводными сооружениями и устройствами должен быть обеспечен надводный габарит, который называют свободным пространством между наивысшим расчетным уровнем воды и сооружениями. Надводный габарит определяется установленной для соответствующего класса водного пути высотой H_n и шириной прохода B_n (таблица 4.1).

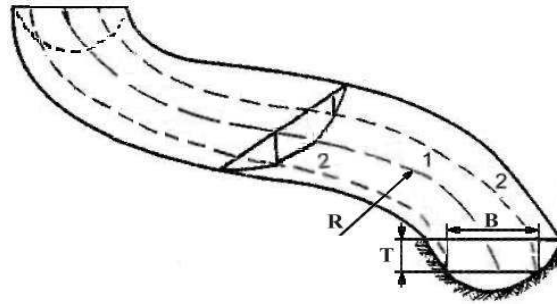


Рисунок 4.2 – Схема гарантированных габаритов судового хода:
1 – ось судового хода; 2 – кромки судового хода

Водное пространство, ограниченное указанными габаритами и обозначенное на местности знаками судоходной обстановки, называется судовым ходом.

Т а б л и ц а 4.1 – Надводный габарит водных путей

Класс водного пути	Гарантированная глубина судового хода, м	Высота подмостового прохода от расчетного судоходного уровня, м	Ширина подмостового пути (прохода), м (при неразводных мостах)
1	3,2 и более	16,0	142
2	2,5 – 3,2	14,5	140
3	1,9 – 2,5	13,5	120
4	1,5 – 1,9	12,0	100
5	1,1 – 1,5	10,5	80
6	0,7 – 1,1	9,5	60
7	0,5 – 0,7	7,0	40

На искусственных водных путях и судопропускных сооружениях (судоходные шлюзы и транспортные судоподъемники) основными габаритными размерами являются: длина, ширина их камер, а также наименьшая глубина на королях (пороги шлюза).

4.3 Судоходные глубины водных путей

Для обеспечения безопасного движения судов необходимо иметь достаточный слой воды между днищем судна и поверхностью грунта на естественных водных путях и на порогах на искусственных водных путях. Это условие выражается зависимостью между наименьшей (гарантированной) судоходной глубиной $h_{c.min}$ и наибольшей осадкой плавающих по нему судов $S_{c.max}$:

$$h_{c.min} = S_{c.max} + \Delta S_c + \Delta S_d + \Delta S_b + \Delta S_n, \quad (4.3)$$

где $S_{c.\max}$ – наибольшая осадка судна, м;
 ΔS_c – минимальный килевой запас под днищем судна, м;
 ΔS_d – увеличение осадки судна при движении (запас на дифферент), м;
 ΔS_b – запас глубины на волну, м;
 ΔS_n – запас на отложение наносов, м.

Минимальный килевой запас необходим для того, чтобы судно не задело случайные неровности поверхности грунта. Величина этого запаса увеличивается при скальных грунтах, а также для судов с осадкой более 1,5 м. Согласно правилам плавания [17] $\Delta S_c = 0,1 \dots 0,3$ м.

Увеличение осадки при движении (запас на дифферент) может быть приближенно определено по формуле

$$\Delta S = k_d (k_d^2 - 1) \sqrt{\frac{S_c}{h_c} \frac{v_c^2}{2g}}, \quad (4.4)$$

где k_d – коэффициент, величина которого $k_d = 8 \dots 0,1 \ l_0/b_0$;

v_c – скорость движения судна, км/ч.

При движении или отстое судов на озерах, водохранилищах, в бьефах и других акваториях требуется дополнительный запас глубины на волнение:

$$\Delta S_b = 0,3h_b - \Delta S_c, \quad (4.5)$$

где h_b – расчетная высота волны, м.

Запас на отложение наносов ΔS_n вводится в расчет при определении судоходной глубины на перекатах, прорезях, каналах, на которых можно ожидать отложения наносов. В зависимости от интенсивности отложения наносов ΔS_n можно принимать 0,2 – 0,5 м. Кроме этого при необходимости проведения на участке дноуглубительных работ к проектной глубине прибавляется запас ΔS_t , учитывающий неизбежность неровностей. Величина этого запаса зависит от типа земснаряда: для многочерпальных снарядов – до 0,3 м, при землесосных – 0,8 м.

Согласно правилам плавания [17] гарантированная глубина судового хода может определяться следующим образом:

$$h_c = S_c + \Delta h, \quad (4.6)$$

где Δh – запас воды под днищем судна, м (таблица 4.2).

Т а б л и ц а 4.2 – Величина запаса воды под днищем судна

S_c , м	Δh_c , м
1,5	0,1 ... 0,2
1,5 ... 3,0	0,15 ... 0,25
Более 3,0	0,2 ... 0,3

4.4 Ширина судового хода

Ширина судового хода должна обеспечивать безопасность движения и разминования судов, составов и плотов с полной грузовой осадкой при наименьшем навигационном уровне воды. Ширина судового хода зависит от установившегося порядка движения (двустороннего или одностороннего), бокового воздействия ветра, течения (в канале, подводной прорези, реке или широком водохранилище) и радиуса закругления судового хода.

Ширина двустороннего судового хода на прямолинейном участке водного пути (рисунок 4.3) с благоприятными условиями (отсутствие течения, заметных боковых ветровых нагрузок и при большой грузовой осадке $S_{c \max}$):

$$B_{сх}^д = b_{ст}^1 + b_{ст}^2 + 2a_б + a_c, \quad (4.7)$$

где $b_{ст}^1, b_{ст}^2$ – ширина наибольших расходящихся судов, составов или плотов;

$a_б$ – запас расстояния от судна (состава, плота) до откоса грунта;

a_c – запас расстояния между судами (составами, плотами).

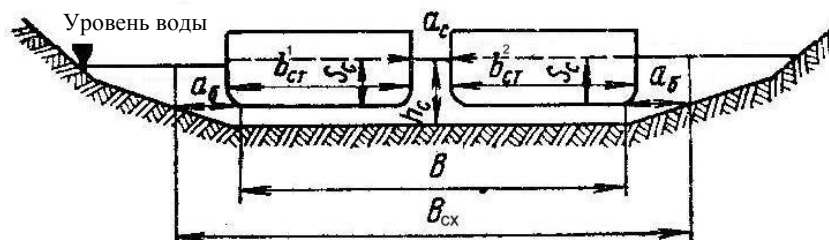


Рисунок 4.3 – Схема для расчёта ширины двустороннего судового хода

При одностороннем движении

$$B_{сх}^о \geq b_{ст} + (1,2...1,3)2a_б. \quad (4.8)$$

Обычно при расчетах принимают $b_{ст}^1 = b_{ст}^2, a_б = a_c = 0,2 b_{ст}$, тогда

$$B_{сх}^д \geq 2,6b_{ст}; B_{сх}^о \geq (1,48...1,52)b_{ст}. \quad (4.9)$$

С учетом того, что суда (крупные) при движении по прямой отклоняются от курса (рыскают) на угол до 2° , ширину судового хода следует увеличить на величину $\Delta B_{сх} = 0,07 l_c$. Эта величина у большинства грузовых судов с отношением $l_c/b_c = 5 \dots 7$ эквивалентна $(0,35 \dots 0,49) b_{ст}$. В подводных прорезях величину $\Delta B_{сх}$ обычно увеличивают до $(0,35 \dots 0,4) b_{ст}$, а скальных грунтах – до $(0,3 \dots 0,35) b_{ст}$.

4.5 Радиусы закругления и уширения судового хода на кривых

Самоходные суда, а также жестко счаленные толкаемые составы могут свободно двигаться по криволинейным судовым ходам с радиусом

$$R_{\min} \geq 4l_{\text{ст}}, \quad (4.10)$$

где $l_{\text{ст}}$ – длина жестко счаленного состава или самоходного судна, м.

При буксировке гибко счаленных составов величина радиуса закругления

$$R_{\min} \geq 5l_c, \quad (4.11)$$

где l_c – длина наибольшего несамоходного судна, счаленного в состав, м.

При соответствующем обосновании допускается отклонение этих величин до $3l_{\text{ст}}$, $3,5l_c$.

На кривых участках для обеспечения нормальных условий прохода судов и составов ширина судового хода должна быть увеличена против его ширины на прямолинейном участке. Величина этого параметра:

для жестко счаленных составов

$$\Delta B_{\text{сх}}^{\text{жп}} = 2 \cdot 0,35 \frac{l_{\text{ст}}^2}{R}; \quad (4.12)$$

для гибко счаленных составов

$$\Delta B_{\text{сх}}^{\text{гп}} = 2 \cdot 0,35 \frac{l_c^2}{R}. \quad (4.13)$$

На кривых с радиусом закругления больше $20 l_{\text{ст}}$ судовые хода не уширяют, так как обычно $l_{\text{ст}} > l_c$, то она и определяет величину уширения судового хода. Уширение судового хода на кривой продолжают на длине $2/3 l_{\text{ст}}$ и переходят к нормальному сечению на прямых на длине $l_{\text{пер}} = 20 \Delta B_{\text{сх}}^{\text{жп}}$.

4.6 Продольный и поперечный профили

Для организации судоходства на вновь осваиваемых реках или участках рек должны быть протрассированы судовые хода по руслу, проведены путевые дноочистительные работы и обозначена судоходная обстановка. Трасса судового хода устанавливается проектом по данным изысканий. Одним из основных элементов проекта является план реки (с нанесением изобат – линий, характеризующих глубину реки). По плану реки устанавливается нормирующая кривая, продольный профиль, на котором показывают отметки поверхности дна реки, отметки поверхности воды при рабочем и проектном уровнях.

Поверхность речного потока характеризуется непрерывным понижением отметок от истока к устью (рисунок 4.4), степень понижения – падением уровня воды H (разность между отметками уровня воды в А и Б, расположенных на расстоянии L) и продольным уклоном поверхности воды на данном участке реки (H/L), который выражается десятичной дробью.

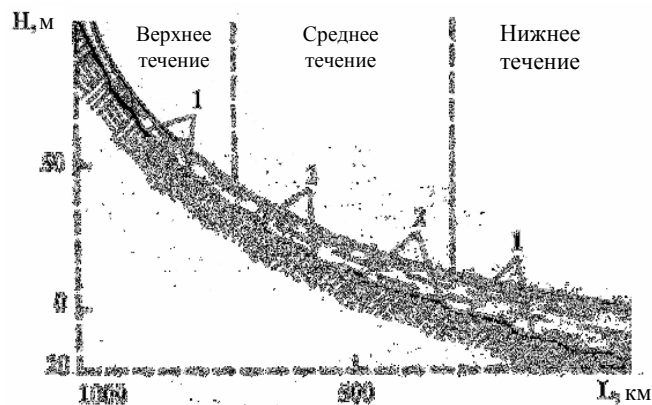
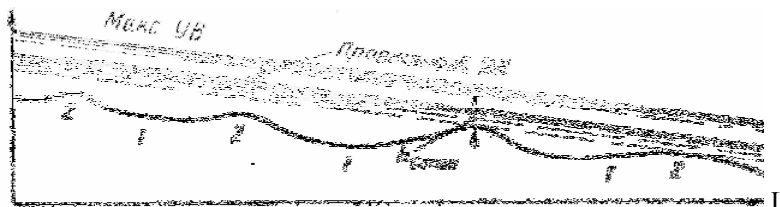


Рисунок 4.4 – Продольный профиль:

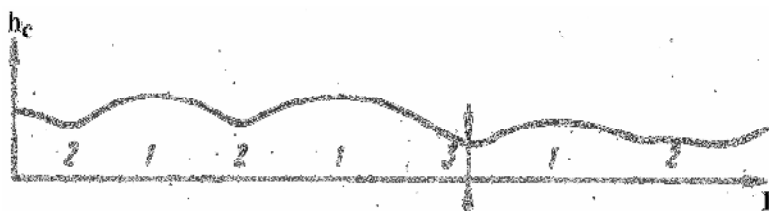
H – высота над уровнем моря; L – расстояние от устья; 1 – плесы; 2 – перекаты

Продольный профиль дна реки характеризуется плесами и перекатами (рисунок 4.5)

а)



б)



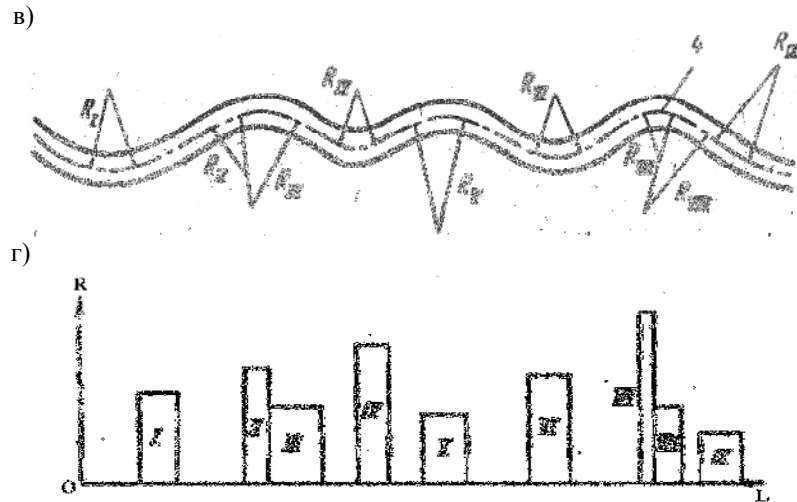


Рисунок 4.5 – Судходные характеристики участка реки:
 а – схематический продольный профиль по судовому ходу; б – график изменения глубины $h_c=f(l)$; в – схематический план судового хода; г – график изменения кривизны $\frac{1}{R}=f(l)$;
 1 – плесы; 2 – перекаты; 3 – нормирующий перекат; 4 – нормирующая кривая;
 R_1, \dots, R_{IX} – радиус кривизны

Плесом называют перекатную часть участка реки с наибольшей глубиной, *перекатом* – участок реки, где глубина судового хода сокращается (рисунок 4.6). Перекат, обеспечивающий минимальную судходную глубину, называется нормирующим, т.е. по нему устанавливается гарантированная судходная глубина.

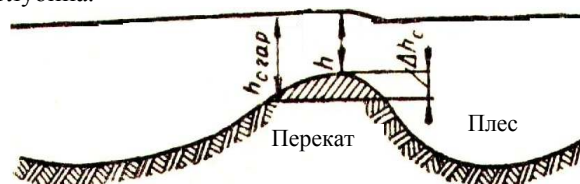


Рисунок 4.6 – Продольный профиль переката
 h – глубина на перекатах в бытовом русле; Δh_c – глубина прорезей;
 $h_{c, гар}$ – гарантированная судходная глубина

Поперечный профиль (рисунок 4.7) строится для определения положения оси судового хода, объема дноуглубительных работ, установления скоростного режима реки в «живом сечении», а также для установления необходимой минимальной ширины судового хода. Он представляет собой разрез реки в рассматриваемом сечении.

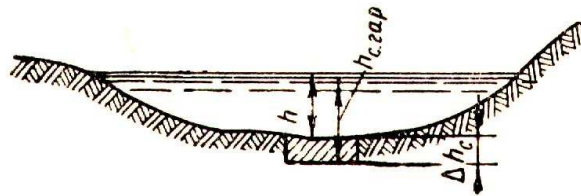


Рисунок 4.7 – Поперечный профиль дна реки

h – глубина на перекатах в бытовом русле; Δh_c – глубина прорезей;
 $h_{с.гар}$ – гарантийная судоходная глубина

Данные продольного и поперечного профилей дна реки служат основой для определения параметров судоходных прорезей и объема дноуглубительных работ.

5 РЕЧНОЙ ПОТОК И ЕГО РУСЛО

5.1 Общие сведения о речном потоке

Работы, связанные с содержанием рек (дноуглубительные и выправительные), опираются на особенности речных потоков, закономерности движения воды в речном русле, которые излагаются в курсе «Динамика русловых потоков» [7]. Законы движения естественных потоков и их воздействие на русловые процессы изучаются в данном курсе во взаимодействии с гидравликой, геоморфологией, гидрологией и гидрометрией.

Результаты данных исследований позволили выделить следующие особенности речных потоков:

- неустановившееся движение. В результате колебания стока с поверхности бассейна расход и уровни воды в реке постоянно меняются. Особенно сильные изменения происходят во время половодий и паводков (высота весеннего подъема на некоторых реках на европейской территории достигает до 10 м);
- пространственная неоднородность. Вследствие сложных, неправильных форм русел векторное поле скоростей речного потока неоднородно по любым трем координатным направлениям. Например, на продольное движение воды накладываются поперечные течения;
- перемещение наносов. Речные потоки транспортируют во влекомом и взвешенном состоянии большое количество частиц грунта – наносов. Объем годового стока взвешенных наносов у большинства рек измеряется миллионами и десятками миллионов кубических метров;
- способность русла реки изменять свои твердые границы. Будучи сложным из подвижных частиц, под действием течения русло деформируется. Изменение твердых границ вызывает перестройку потока. Таким образом, осуществляется непрерывное взаимодействие между движущейся жидкостью и подстилающей твердой средой.

5.2 Понятие неустановившегося и установившегося движения речного потока

Неустановившееся неравномерное движение речного потока описывается следующей системой дифференциальных уравнений гидравлики:

$$\left\{ \begin{aligned} I = \frac{dz}{dl} = \frac{v^2}{c^2 h} + \frac{v}{g} \frac{dv}{dl} + \frac{1}{g} \frac{dv}{dt}; \end{aligned} \right. \quad (5.1)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dQ}{dl} + \frac{dw}{dt} = 0, \end{aligned} \right. \quad (5.2)$$

где I – уклон свободной поверхности;

z – высота свободной поверхности;

l – продольная координата;

v – средняя скорость речного потока; определяется по формуле $v = Q/w$;

Q – расход воды;

w – площадь живого сечения;

c – коэффициент Шези;

h – средняя глубина; определяется как отношение площади живого сечения к ширине сечения по зеркалу воды: $h = w/B$;

t – рассматриваемый момент времени;

g – ускорение свободного падения.

Первое уравнение (5.1) выражает закон изменения количества движущейся частицы жидкости: левый член уравнения dz/dl – силу тяжести, первый член правой части $v^2/(c^2 h)$ – силу трения, второй член $v/g \cdot dv/dl$ – интенсивность изменения количества движения частицы при ее перемещении вдоль потока (по оси l), третий $1/g \cdot dv/dt$ – локальную интенсивность изменения количества движения при фиксированном значении l .

Второе уравнение (5.2) формулирует закон сохранения вещества жидкости. Из уравнения видно, что колебания уровня (изменение живого сечения во времени) обусловлены изменением расхода воды вдоль потока. Если расход воды не меняется, то и колебания уровня невозможны.

В межень, а также в отдельные периоды половодья, когда колебания расхода воды незначительны, движение речного потока считают установившимся. Дифференциальные уравнения в этом случае получают из уравнений (5.1) и (5.2) путем приравнивания производных по времени к нулю.

Тогда

$$\left\{ \begin{aligned} I = \frac{v^2}{c^2 h} + \frac{v}{g} \frac{dv}{dl}; \end{aligned} \right. \quad (5.3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} Q = wv = \text{const.} \end{aligned} \right. \quad (5.4)$$

Решая систему уравнений (5.1) и (5.2), можно получить полную картину распространения паводка или пропуска по реке (изменение расхода и уровня воды в интересующих нас пунктах, мгновенные профили поверхности для ряда моментов времени). Система уравнений установившегося движения (5.3) и (5.4) используется для построения кривых свободной поверхности, а также в задачах о распределении расхода воды по рукавам разветвленного русла.

5.3 Виды сопротивлений естественных русел

Получение достоверных результатов с помощью уравнений гидравлики в большой степени зависит от точности определения сил трения, т.е. гидравлического сопротивления русла.

Сопротивление естественных русел зависит от ряда факторов, влияние каждого из которых в количественном виде представить достаточно трудно. Поэтому допускают, что суммарное сопротивление, оказываемое естественным руслом движению потока, включает следующие три основные составляющие: сопротивление зернистой поверхности дна, сопротивление донных гряд, сопротивление формы русла.

Зимой, кроме этого, добавляется: сопротивление ледяного покрова, а на малых реках в летнюю межень становится заметным сопротивление растительности.

Возьмем простой случай прямолинейного или слабо изогнутого русла с плавными изменениями глубины. Здесь достаточно учитывать два фактора: сопротивление зернистой шероховатости дна и макрошероховатости, создаваемой донными грядами.

Общий гидравлический уклон (градиент потерь энергии) можно представить как сумму

$$I_f = I_d + I_r, \quad (5.5)$$

где I_d – гидравлический уклон, определяемый крупностью донных частиц;

I_r – гидравлический уклон, определяемый размерами гряд.

Соотношение между этими параметрами определяется величиной донных частиц. На реках, где донные отложения состоят из крупного гравия и гальки, а высота гряд соизмерима с их размерами, преобладающее значение имеет сопротивление зернистой поверхности дна, т.е. ($I_d > I_r$).

На реках с песчаными или песчано-гравийными грунтами картина обратная. Высота гряд на 3 – 4 порядка превосходит диаметр частиц, и преобладающее значение имеет сопротивление донных гряд. I_r в этом случае составляет 80 – 90 %.

Для количественной оценки сопротивления участка речного русла требуется большой объем исходных данных (расход воды и уклоны, измеренные при различных уровнях воды). В настоящее время из-за незавершенности исследований по сопротивлению гряд и невозможности количественной оценки сопротивления формы русла прибегают к суммарной оценке сил, охватывающих все виды сопротивлений, через коэффициент шероховатости.

5.4 Скорость течения воды

Гидравлической характеристикой русла является секундный расход воды Q , протекающей через русло, и средняя скорость течения:

$$v = \frac{Q}{w}. \quad (5.6)$$

В реке скорость течения меняется как по длине, так и по живому сечению. Скорость движения воды на отдельных участках рек с малоизменяющейся формой и размерами русла, уклоном свободной поверхности и расходом воды считают равномерной и определяют по формуле

$$v = c\sqrt{Ri}, \quad (5.7)$$

где c – скоростной множитель или коэффициент Шези, $m^{1/2}/c$. Этот коэффициент при известном коэффициенте шероховатости n определяется по формуле Маннинга

$$c = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (5.8)$$

n – коэффициент шероховатости дна русла. Для русел равнинных рек он составляет 0,025 – 0,035, на искусственных водных путях – 0,017 – 0,025;

R – гидравлический радиус, величина которого при отношении $b/h > 20$, может приниматься равным h_{cp} ;

i – уклон свободной поверхности.

Для более точных расчетов величина c определяется по формуле Павловского, в которой показатель степени при R не является постоянным:

$$c = \frac{1}{n} R^y. \quad (5.9)$$

Величина Y определяется по формулам:

$$\begin{aligned} Y &= 1,5\sqrt{n} \text{ (при } h < 1,0 \text{ м);} \\ Y &= 1,3\sqrt{n} \text{ (при } h > 1,0 \text{ м).} \end{aligned} \quad (5.10)$$

При движении воды в реках наблюдается большая неравномерность распределения скоростей по живому сечению и вертикали. Эпюры скоростей течения на вертикалях (годографы) русла реки приведены на рисунке 5.1.

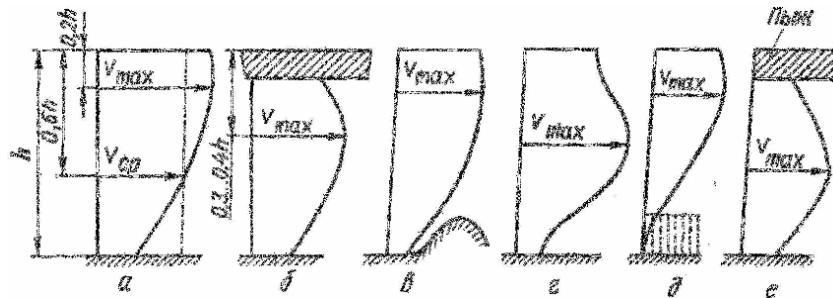


Рисунок 5.1 – Эпюры скоростей течения на вертикалях (годографы) русла реки: а – при отсутствии ветра; б – при ледяном покрове; в – при наличии препятствий; г – на пойме с затопленным лесом и кустарником; д – при дне, заросшем растительностью; е – в русле, стеснённом бревенным пыжком

Из рисунка 5.1 видно, что наибольшая скорость течения имеет место на глубине 0,2 от поверхности потока, средняя – 0,6 глубины потока по вертикали. Если известна только поверхностная скорость течения, то скорость в любой точке может быть определена по одной из эмпирических формул (например, Караушева):

$$v = v_{\text{пов}} \sqrt{1 - P(Y/h)^2}, \quad (5.11)$$

где $v_{\text{пов}}$ – поверхностная скорость течения, м/с;

P – безразмерный параметр: $P = 0,57 + 3,3/c$ (при $c = 10 \dots 60$); $P = 0,0222 + 0,000197 c^2$ (при $c = 60 \dots 90$);

Y/h – относительная глубина точки наблюдения, м;

Y – глубина потока, отсчитываемая от поверхности воды, м;

h – глубина потока по вертикали, м.

Величина средней скорости течения по ширине русла ($v_{\text{ср}}$) примерно пропорциональна \sqrt{h} и изменяется достаточно плавно.

5.5 Особенности движения речного потока при прохождении паводка

При прохождении паводка все параметры потока меняются во времени (неустановившееся движение). Паводком называют быстрый и кратковре-

менный подъем уровня воды, обычно вызываемый дождями. Локальное уравнение, выражающее интенсивное изменение скорости dv/dt (уравнение (5.1), имеет на подъеме «плюс», а на спаде «минус». Если абсолютное значение этой величины значительно, то в соответствии с уравнением (5.1) уклон свободной поверхности на подъеме будет больше, чем на спаде. А в результате и расход воды на подъеме будет больше, чем при том же уровне на спаде. Такая картина наблюдается при быстрых колебаниях расхода воды, вызванных суточным регулированием мощности гидроэлектростанций. При естественных колебаниях стока равнинных рек эти колебания происходят медленно и абсолютные значения локального ускорения обычно меньше потерь энергии на преодоление силы трения:

$$\frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \approx \frac{v^2}{c^2 h}.$$

По этой причине перемена знака у этого члена уравнения (5.1) не сказывается заметно на значении уклона, и кривые связи между уровнем и расходом воды на подъеме и спаде дают практически одно и то же значение.

Еще более простая картина неустановившегося движения воды наблюдается в прямолинейных и слабо изогнутых плесовых лощинах с незатопляемыми берегами. Русло имеет корытообразную форму, и его ширина по зеркалу воды слабо меняется при колебаниях уровней, такое движение по руслу близко к равномерному. Это значит, что в уравнении (5.1) можно пренебречь обоими инерционными членами:

$$v \frac{dv}{dl} + \frac{dv}{dt} \approx 0.$$

Тогда уклон свободной поверхности и на подъеме, и на спаде будет равен потерям энергии на трение:

$$I \approx \frac{v^2}{c^2 h}.$$

При условии, что $B = \text{const}$, можно получить следующую связь между средней глубиной потока в сечении плесовой лощины и расходом воды:

$$h = M \frac{Q^{1/2}}{(gB)^{1/4}}, \quad (5.12)$$

где M – безразмерный коэффициент, остающийся в данном сечении при колебании расходов воды постоянным.

Решая это неравенство относительно Q , получим:

$$Q = \frac{I}{M^2} h^2 (gB)^{1/2}. \quad (5.13)$$

На перекатах, где движение воды неравномерно и ширина сечения русла сильно изменяется при колебании уровня воды, параметр M изменяется, и требуется отдельный его расчет.

На изгибах русла происходит рост кривизны, который обусловлен следующими факторами: наличием поперечного уклона свободной поверхности (радиального) и поперечной составляющей скоростей течения. Вид поперечного сечения потока на изогнутом участке русла прямоугольного сечения с жестким дном и стенками приведен на рисунке 5.2.

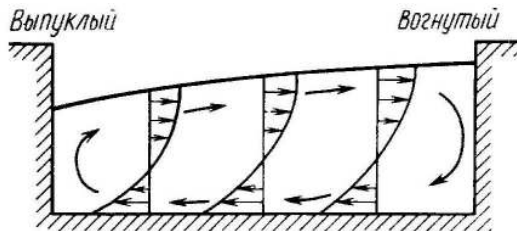


Рисунок 5.2 – Поперечное сечение потока на изогнутом участке русла прямоугольного сечения с жестким дном и стенками

Поперечный уклон направлен от вогнутого берега к выпуклому, и величина его выражается формулой

$$I_{\text{поп}} = \frac{dz}{dr} = \frac{v_{\text{cp}}^2 B}{gr}, \quad (5.14)$$

где r – радиус кривизны линий тока, проходящих через данную вертикаль; v_{cp}^2/gr – центробежная сила.

По принципу Даламбера обусловленное поперечным уклоном давление уравновешивает центробежную силу:

$$\frac{1}{\rho} \frac{dc}{dr} = g \frac{dz}{dt}.$$

Однако из-за изменения продольных скоростей по глубине центробежная сила также меняется. Это говорит о том, что условие равновесия между давлением и центробежной силой будет наблюдаться лишь только в одной точке, близкой к положению средней скорости. Выше этой точки будет доминировать центробежная сила и вода направляется к вогнутому берегу, ниже – доминирует давление и вода движется к выпуклому берегу. В результате все сечение охвачено циркуляцией. Это приводит к размыву берега и прилегающей части дна, т.е. деформации русла. Максимум продольных скоростей смещается к вогнутому берегу, и происходит его размыв. В зоне малых скоростей у выпуклого берега откладываются наносы и формируется

пляж (рисунок 5.3). В результате поперечное сечение на изогнутом участке русла становится несимметричным.

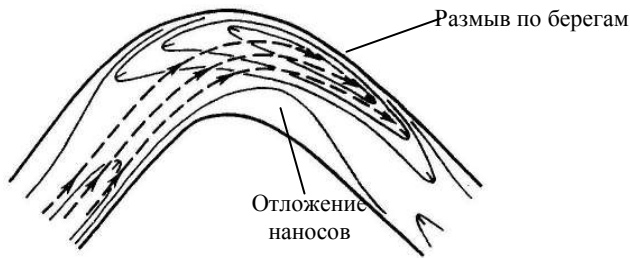


Рисунок 5.3 – Рельеф дна и поверхностные линии тока в сформировавшейся извилине речного русла

Речные русла часто делятся на рукава, между которыми соответственно делятся расходы воды и наносов. Распределение между рукавами расходов воды зависит от сопротивления рукавов. Большие расходы

идут в рукавах с меньшим сопротивлением (с меньшей длиной, большей глубиной и меньшей шероховатостью дна). Располагая планом разветвленного участка и зная полный расход воды в реке, распределение расхода можно определить теоретически. Однако неправильные, криволинейные очертания русел не позволяют выполнить достоверный расчет. В этом случае необходимо прибегать к прямому измерению расхода воды и наносов.

5.6 Речные наносы

Дно большинства равнинных рек сложено из частиц несвязанного грунта – песка и гравия. В верхних течениях рек может встретиться галька. Есть участки рек, иногда большого протяжения, где на дне обнажаются скалы, лежат валуны (Енисей, Ангара). В зонах ледниковых отложений русла рек сложены из глины и валунов (Нева).

В расчетах, касающихся донных частиц и деформации дна, наибольшее значение имеют характеристики: *гидравлическая крупность* (скорость равномерного падения частиц в воде) и *скорость потока*, при которой начинается их движение. Гидравлическая крупность зависит от диаметра, формы частиц, вязкости воды. Вязкость воды имеет обратную связь с температурой, а гидравлическая крупность – обратную связь с вязкостью. В результате гидравлическая крупность имеет прямую связь с температурой, т.е. песчаные частицы в воде осенью и весной опускаются медленнее, чем летом, и вязкость влияет на гидравлическую крупность частиц грунта тем сильнее, чем они мельче.

Если скорость течения мала, то и мала вероятность сдвинуть эти частицы. Но наступает момент, когда движение частиц становится заметным. Скорость течения, при которой происходит этот процесс, называется нераз-

мывающей ($V_{\text{нр}}$). Значения величины неразмывающей скорости (приложение В) необходимы при расчетах расхода наносов, оценке устойчивости дна каналов, при выборе крупности материала, позволяющего защитить дно от размыва. На неразмывающую скорость оказывают влияние те же факторы, что и на гидравлическую крупность – диаметр частиц и вязкость (температура) воды. В общем случае, помимо этих факторов (главных), влияние оказывают: шероховатость дна и степень неравномерности гранулометрического состава донного грунта.

Различают наносы влекаемые и взвешенные. Влекаемыми называются частицы, которые попадают в поток на короткие интервалы времени под действием импульса, сообщенного им на дне силами гидродинамического давления. Движение влекаемых наносов носит скачкообразный характер. Эта форма движения совершается по ровному дну в очень ограниченном диапазоне скоростей, пока они не превосходят неразмывающую. При увеличении скоростей происходит общее нарушение устойчивости и дно делается волнообразным. Наносы перемещаются при этом в форме гряд. Грядовая форма движения – основная в реках с песчаным и гравийным дном. Продольные профили гряд в момент времени t_1 и t_2 приведены на рисунке 5.4.

Удельный расход наносов можно определить по формуле

$$q_S = \sigma(1 - \epsilon)h_r c_r, \quad (5.15)$$

где σ – коэффициент полноты профиля гряды;

$$\sigma = \frac{S_{\text{прг}}}{l_r h_r}, \quad \text{обычно } \sigma = 0,6 \dots 0,7,$$

ϵ – коэффициент пористости песка;
 h_r – высота гребня гряды;
 c_r – скорость перемещения гряды;
 l_r – длина гряды.

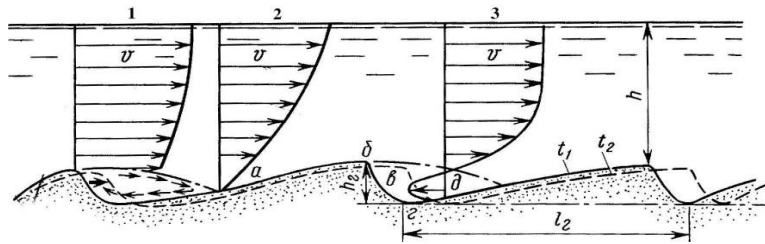


Рисунок 5.4 – Продольные профили гряд в моменты времени t_1 и t_2 :
 а – напорный скат; б – гребень; в – тыловой скат; г – подвалье; д – валец; 1,2,3 – эпюры распределения скоростей; h – глубина на гребнях гряд; v – местная осреднённая скорость течения

Сделав промеры глубины на продольных профилях нескольких прямолинейных участков русла, можно с помощью выше приведенной формулы определить расход влекомых наносов в реке. При иных характеристиках дна могут использоваться другие эмпирические формулы (И.И. Леви, К.В. Гришанин и др. [8]).

Под взвешенными наносами понимают такое состояние потока, когда вертикальные пульсационные скорости водных масс (приблизительно равные динамической скорости) $V = \sqrt{ghI} = \sqrt{\frac{g}{c}} v_{cp}$ будут превосходить гидрав-

лическую крупность частиц. В этом случае твердые частицы поступают в толщину потока и подвергаются действию турбулентной диффузии. В результате часть частиц поднимается снизу вверх, часть – движется сверху вниз. Так как жидкость и наносы не сжимаемы, то объемы их смеси, идущие вверх и вниз, равны. При этом если распределение концентрации по длине потока не изменяется, то говорят, что наблюдается режим установившегося взвешивания. Условием этого режима является равенство плотностей двух потоков твердых частиц – гравитационного (падение частиц) и диффузного (подъем частиц):

$$W_0 \bar{S} = -v_T \frac{d\bar{S}}{dt},$$

где W_0 – гидравлическая крупность частиц;

\bar{S} – осредненная объемная концентрация наносов;

v_T – коэффициент турбулентной диффузии количества движения.

При определенных скоростях и глубинах потока существует предельное насыщение потока взвешенными частицами. Поэтому удельный расход взвешенных наносов целесообразно выражается формулой Великанова М.А.:

$$g = \frac{Av^4}{gw_0},$$

где A – эмпирический коэффициент порядка 10^{-5} .

Эта формула наиболее удовлетворительно согласовывается с данными измерений в реках.

5.7 Виды речных русел. Перекаты

Совокупность всех рассмотренных явлений образования и последующего переформирования естественных русел рек под действием текущей воды

называется русловым процессом. Этот процесс идет несколькими путями и в связи с этим в природе встречаются различные виды русел: *прямолинейные* или *слабо изогнутые однорукавные русла*, *извилистые однорукавные русла* – *меандрирующие*, *разветвленные русла*.

Первый вид русел характеризуется прямыми берегами на значительном протяжении реки (рисунок 5.5). Между берегами располагаются шахматная цепочка побочней (небольшая песчаная отмель) и плесовые лощины, неглубокие и короткие (их длина примерно равна длине побочней). Судовой ход попеременно переваливается от одного берега к другому. При переформировании русла побочни и плесовые лощины сползают вниз по течению. Длина пути, проходимая побочнями, составляет от нескольких десятков до нескольких сот метров в год, т. е. деформации берегов малы и плановое положение русла меняется крайне медленно.

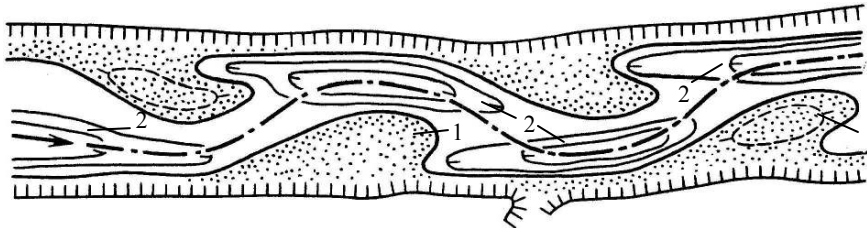


Рисунок 5.5 – Участок речного русла с побочным типом руслового процесса:
1 – побочни; 2 – плесовые лощины

Совершенно противоположная картина наблюдается при извилистых руслах. Плановые изменения русла здесь суть руслового процесса, а размыв вогнутых берегов – главное звено изменений. Различают три подтипа таких русел:

- Свободное меандрирование (рисунок 5.6, а). Русло способно принимать предельно искривленные плановые формы. Отдельные извилины проходят несколько стадий (рисунок 5.6, б):

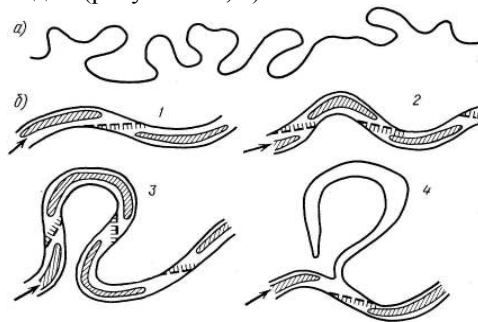


Рисунок 5.6 – Свободное меандрирование:
а – общая конфигурация русла; б – последовательные (1–4) стадии деформации извилины

- 1 – нарастание кривизны под действием поперечной циркуляции воды и формирующегося несимметричного рельефа дна;
- 2 – отступление вогнутого берега и, вслед за ним, выдвигание выпуклого берега в реку с образованием новых побочней и лощин;
- 3 – достижение петлеобразной извилины, далее уже не деформирующейся;
- 4 – образование протока через перешеек петли во время половодий.

- Незавершенное меандрирование. Коренные берега сдерживают развитие извилины, и они долго являются основным руслом, пока не разовьется спрямляющая извилина (рисунок 5.7).

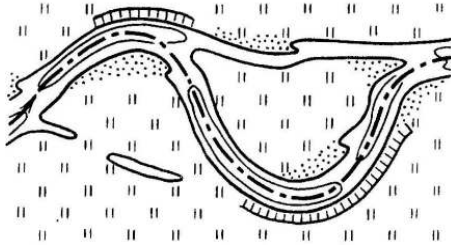


Рисунок 5.7 – Участок речного русла с незавершенным меандрированием

- Ограниченное меандрирование. Извилины имеют вид более или менее правильных синусоид. Они медленно сползают вниз по течению, почти не изменяя своих форм.

Разветвленные русла (рисунок 5.8) – это русла с сетью рукавов, образующих острова больших размеров. Главное русло всегда остается явно выраженным, так как оно пропускает большую часть расхода воды.

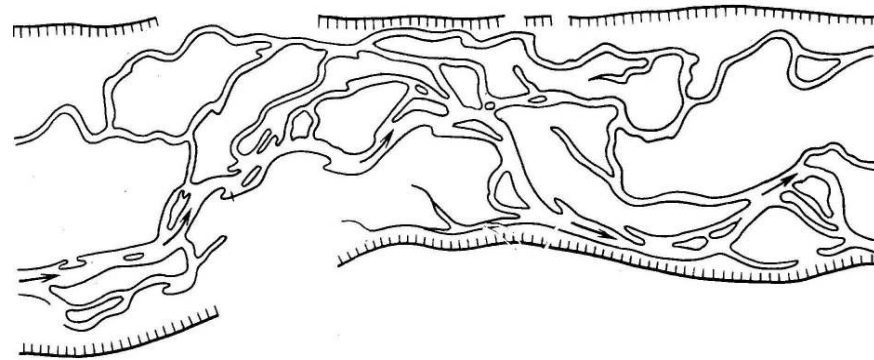


Рисунок 5.8 – пойменная многорукость

Перекаты представляют собой скопление наносов, отложенных по всей ширине русла. Они вызывают местное уменьшение уровня воды, а в период низких уровней – подпор воды на вышележащем участке (плесе). Чаще всего перекаты образуются в местах перехода одной извилины в другую, где поперечные течения одного направления затухают и зарождаются течения другого направления. Поэтому по всей ширине русла откладываются наносы. Основные элементы переката показаны на рисунке 5.9.

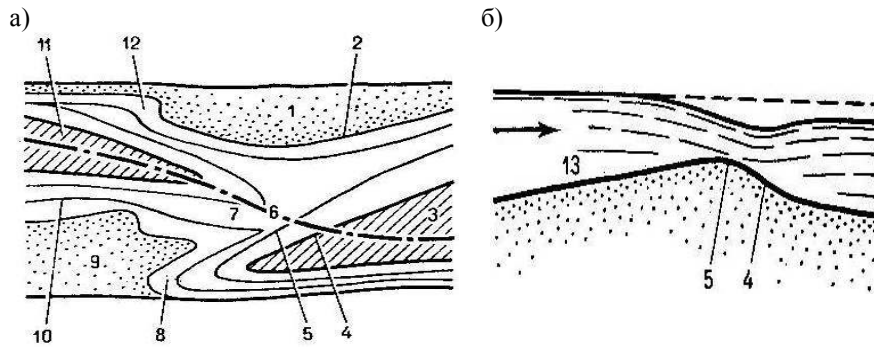


Рисунок 5.9 – Элементы переката:

а – план переката; б – профиль переката;

1 и 9 – верхний и нижний побочки; 3 и 11 – верхняя и нижняя плесовые ложины; 2 – глубина срезочного уровня; 4 – низовая часть седловины; 5 – верхняя кромка подваля; 6 – наиболее глубокая часть седловины, где обычно проходит судовый ход; 7 – вал из наносов, соединяющий верхнюю и нижнюю косы; 8 – верхняя часть нижней плесовой ложины; 10 – изобаты; 12 – углубление в верхней части нижней косы; 13 – напорный скат

Различают следующие основные типы перекатов (рисунок 5.10):

- Перекат без затонной части образуется на пологих изгибах или прямых участках реки. Плесовые ложины не заходят одна за другую (рисунок 5.10, а). Такой тип переката называют еще перекатом-перевалом.

- Перекат с затонной частью образуется, когда судовый ход круто переваливается от одного берега к другому. Перекат неустойчивый. При низком уровне воды происходит промыв корыта почти поперек реки (рисунок 5.10, б).

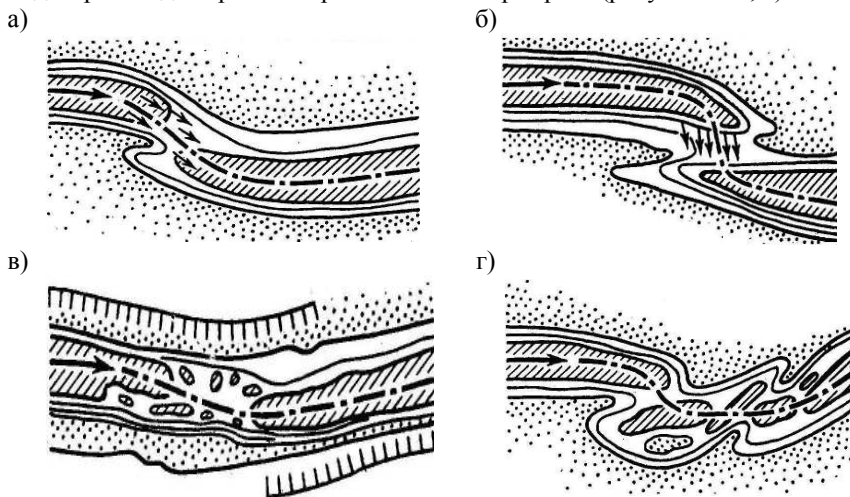


Рисунок 5.10 – Типы перекатов:

а – перекат без затонной части; б – перекат с затонной частью;
в – перекат-россыпь; г – групповой перекат

- Перекат-россыпь возникает на расширенных участках русла. В результате большой ширины реки поток не может формировать косы и ложины, поэтому русло заполнено беспорядочными, мощными отложениями наносов, не имеющих определенной формы (рисунок 5.10, в).

- Групповой перека́т представляет собой участок русла, на котором находятся вблизи друг от друга несколько перека́тов различного типа (рисунок 5.10, г).

6 ВОДОХРАНИЛИЩА И РЕКИ С ЗАРЕГУЛИРОВАННЫМ СТОКОМ

6.1 Роль водохранилищ в народном хозяйстве

Водоохранилища создаются с целью перераспределения речного стока во времени в соответствии с потребностями народного хозяйства. В перераспределении стока заинтересованы: речной транспорт, энергетика, мелиорация (орошение) земель, водоснабжение. Кроме этого, путем задержания паводочного стока в водохранилище решается задача предотвращения наводнений. Как уже отмечалось, требования, предъявляемые к регулированию стока различными потребителями, во многом противоречивы. Например, подача из водохранилища наибольших зарегулированных расходов для нужд речного транспорта желательна в летнюю межень, а для энергетики – в осенне-зимний период (максимальный расход энергии). Орошение заинтересовано в резком увеличении расхода воды на короткий вегетационный период. Интересы энергетики вынуждают к неравномерному расходованию воды по дням недели и в течение суток.

Все это приводит к резкому колебанию уровней воды в нижних бьефах гидроузлов и вызывает определенные затруднения в судоходстве. Тем не менее, при проектировании гидроузлов стремятся к комплексному использованию водохранилищ и согласованию требований заинтересованных отраслей народного хозяйства.

6.2 Классификация и основные характеристики водохранилищ

Водоохранилища делятся по гидрографическому признаку на три вида (рисунок 6.1). *Озерные* водохранилища образуются в чаше озер (Кубенское на реке Сухоне, образованное в дореволюционное время). *Долинные* создаются за счет затопления части речной долины. Такие водохранилища образованы в основном на Волге (кроме Верхневолжского), Каме, Днестре. *Смешанными* называют водохранилища, размещенные частью в долине реки (за

счет ее затопления), частью в чаше озера, из которого река вытекает (Верхнесвирское – включает долину Верхней Свири и Онежское озеро, Череповецкое – Верхняя Шексна и Белое озеро, Бухтарминское – долина Верхнего Иртыша и озеро Зайсан).

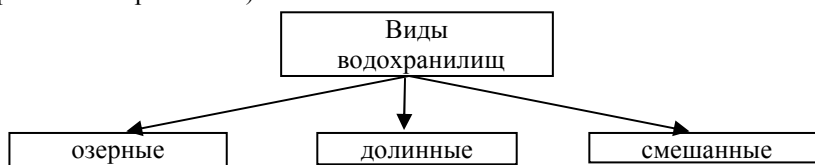


Рисунок 6.1 – Виды водохранилищ

Основной характеристикой водохранилищ являются кривые зависимости площади его зеркала F и объема V от уровня воды Z .

Их строят на основании подробной съемки чаши водохранилища, выполняемой при проектировании подпорного гидроузла. На эти кривые наносят расчетные уровни воды (рисунок 6.2), которые включают:

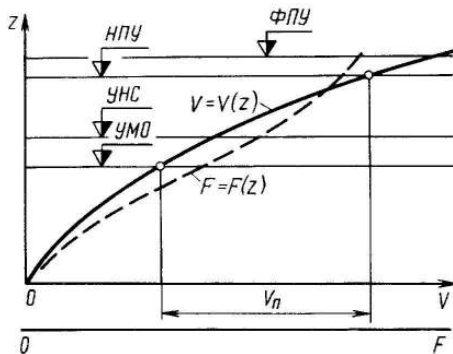


Рисунок 6.2 – Кривые площадей зеркала и объёмов водохранилищ

НПУ – нормальный подпорный уровень, до которого наполняется водохранилище при нормальной эксплуатации;

УНС – уровень навигационной сработки, до которого разрешается срабатывать водохранилище в период навигации;

УМО – уровень мертвого объема – предельный уровень сработки;

ФПУ – форсированный подпорный уровень, до которого возможно повышение уровня воды при

пропуске половодья с обеспеченностью 0,01% (повторяется один раз в 10000 лет).

Объем, заключенный между нормальным подпорным уровнем и уровнем мертвого объема, называется полезным объемом водохранилища, а объем, лежащий ниже уровня мертвого объема, называется мертвым объемом.

Характеристики некоторых водохранилищ приведены в таблице 6.1.

Т а б л и ц а 6.1 – Характеристика водохранилищ

Река	Водохранилище	F , км ²	$V_{\text{полн}}$, км ³	$V_{\text{полез}}$, км ³
Волга	Рыбинское	4550	25,40	16,70
Волга	Самарское	6450	58,00	21,00
Волга	Волгоградское	3300	31,50	5,70
Дон	Цимлянское	2700	23,90	13,30

Продолжение таблицы 6.1

Река	Водохранилище	F , км ²	$V_{\text{полн}}$, км ³	$V_{\text{полез}}$, км ³
Днепр	Кременчугское	2250	13,50	9,00
Ангара	Братское	5500	169,00	50,00
Енисей	Красноярское	2130	77,50	32,10
Колорадо	Грэнд Кули	290	11,70	6,10
Колорадо	Боулдер	590	37,50	31,40

Для каждого водохранилища устанавливается несколько определенных значений среднесуточных зарегулированных расходов. Например, в годы высокой и средней водности из Рыбинского водохранилища подается 800 м³/с. В годы низкой водности навигационный среднесуточный расход уменьшается до 600 м³/с. Величина расхода определяется специальным диспетчерским графиком в соответствии с запасом воды и фазой водохозяйственного цикла.

6.3 Уровневый режим водохранилищ

Амплитуда колебаний подпорных уровней (глубина сработки) у водохранилищ, созданных низко и средненапорными плотинами, всегда бывает меньше амплитуды колебаний в реке в естественном ее состоянии. Например, Самарское водохранилище на Волге имеет наибольшую глубину сработки 7,5 м, глубина навигационной сработки составляет 4 м. Река у Самары в свободном состоянии имеет амплитуду колебаний до 12 м. Нижне-Новгородское водохранилище имеет за навигацию сработку до 0,4 м.

У водохранилищ, подпертых высоконапорными плотинами, глубина сработки может быть очень большой (Красноярское водохранилище – 18 м).

Годовой ход уровней у водохранилищ отличается плавностью, и характер его мало изменяется из года в год. Водохранилища годичного регулирования имеют три фазы годичного цикла:

первая фаза – весенний подъем от уровня мертвого объема до нормального подпорного;

вторая фаза – поддержание нормального подпорного уровня, во время которого излишек притока сбрасывается через плотину;

третья фаза – медленный спад, охватывающий большую часть года.

Зимой и особенно перед началом паводка интенсивность спада увеличивается.

Водохранилища многолетнего регулирования отличаются тем, что нормальный подпорный уровень достигается только в многоводные годы, а в годы средней и низкой водности подъем сменяется спадом. Большое влияние на уровневый режим водохранилища оказывает ветер. Вследствие большой площади зеркала водохранилищ энергия воздушного потока по-

средством сил трения на границе раздела двух сред передается массам воды. Часть переданной энергии расходуется на образование волн, другая часть – на образование дрейфового течения (движение поверхностных слоев воды в направлении действия ветра). В водоемах ограниченных размеров это приводит к перекосу свободной поверхности (рисунок 6.3): у наветренного берега уровень воды понижается, т.е. возникает ветровой сгон, а у подветренного – повышается, т.е. возникает ветровой нагон (разница уровней доходит до 1 м и более).

При длительном ветре перекося становится стабильным и массы воды, которые подводятся к подветренному берегу дрейфовым течением, отводятся в обратную сторону придонным течением. Величина ветрового нагона учитывается при назначении отметок гребней подпорных сооружений. Значение сгона необходимо знать для назначения отметок дна водохранилищ и портовых акваторий.

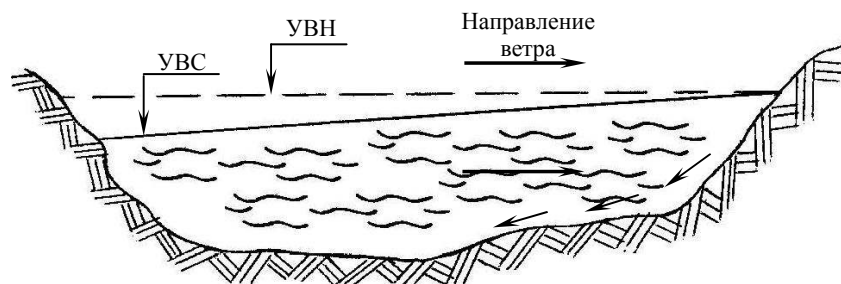


Рисунок 6.3 – Перекося свободной поверхности:
УВС – уровень ветрового сгона; УВН – уровень ветрового нагона

6.4 Руслый режим водохранилищ

Руслый процесс водохранилищ характеризуется тремя основными явлениями: аккумуляцией наносов, деформацией берегов, отложением наносов у входов в заливы и бухты.

Аккумуляция наносов является следствием падения скоростей при переходе от речного потока к водоему с малыми, часто близкими к нулю скоростями. Весь сток руслых наносов реки, на которой создано водохранилище, и весь сток руслых наносов рек, впадающих в водохранилище, оседает в чаше водохранилища. С течением времени чаша водохранилища заполняется наносами. У горных рек это может происходить интенсивнее, так как годовой сток наносов может быть соизмерим с объемом водохранилища. В этом случае аккумуляция наносов угрожает существованию водохранилища. Для большинства равнинных рек это не представляет опасности, так как годовой сток наносов составляет малую долю объема водохранилища. Напри-

мер, для занесения мертвого объема Рыбинского водохранилища потребуется 600 лет.

Аккумуляция наносов в водохранилищах вызывает повышение гребней перекатов (в сравнении с русловым процессом рек) в верховой зоне водохранилищ. Отложение наносов на них происходит в периоды высоких уровней воды так же, как при естественном состоянии рек. Размыва же отложений не происходит, так как скорости течения при продвижении подпора резко уменьшаются. В результате наносы из года в год накапливаются, а гребни перекатов монотонно растут. После нескольких годовых циклов рост гребней затухает, достигается равновесие между потоком и руслом.

Берегами водохранилища, созданного затоплением участка долины, могут быть или уступы одной из подпойменной террас, или коренные берега долины. Они имеют обычно крутые склоны и под действием ветровых волн начинают обрушаться. При этом береговая линия отступает, формируются новые берега с пологими подводными откосами. Отступления составляют на отдельных водохранилищах до 100 м. Переформирование (деформация) берегового склона показано на рисунке 6.4.

Переформирование берегов происходит наиболее интенсивно в первые 5–10 лет, а затем постепенно затухает. Этот период составляет 20–30 лет. Разбиваясь о берег, волны подмывают его примерно на высоте нормального подпорного уровня. Надводный откос разрушается: часть частиц разрушения остается в прибойной части, а часть – уносится далеко от нее. Оставшаяся на месте часть обрушившегося материала формирует подводный пляж. Когда ширина пляжа достигает значительной величины, подмыв берега прекращается, так как накатившаяся волна при движении по пляжу теряет энергию и затухает.

Если волны подходят к берегу под острым углом, то, разбиваясь, они создают вдольбереговое течение воды. Скорости этого потока соизмеримы с речным потоком (1 м/с и более). Эти скорости достаточны для перемещения донных частиц. Если на пути этого потока встречаются устья заливов, где дно резко понижается, поток теряет скорость и происходит отложение наносов (рисунок 6.5). Поэтому после каждого сильного шторма в устье залива остается вал наносов (иногда перекрывает устье по всей ширине). В заливах водохранилищ Волги и Днепра ежегодно извлекается более 1 млн м³ грунта.

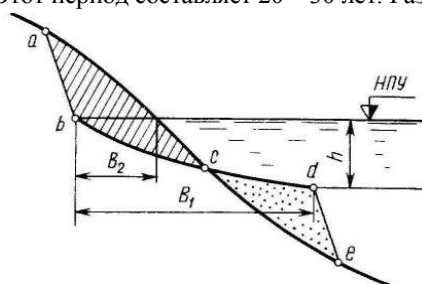


Рисунок 6.4 – Переформирование берегового склона:

асе – профиль берега до затопления чаши водохранилища; abde – после переработки волнением;
 B_1 – ширина пляжа; B_2 – отступление береговой линии

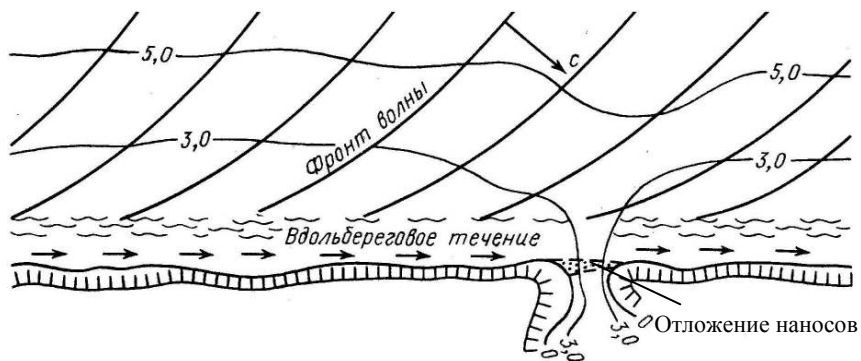


Рисунок 6.5 – Рефракция волн на береговой отмели

6.5 Водный режим рек с зарегулированным стоком

В результате годичного и многолетнего регулирования изменяется режим стока ниже водохранилища. Прежде всего, уменьшается или сводится к нулю объем паводков, увеличивается расход воды в летнюю межень. Водохранилища годичного регулирования, имеющие небольшую емкость, успевают наполниться до наступления максимального притока, тогда уменьшение объема паводка ниже водохранилища не сопровождается снижением максимальных расходов воды. Гидрограф (график изменения уровня воды) паводка становится короче, но не ниже, чем при естественном режиме (рисунок 6.6).

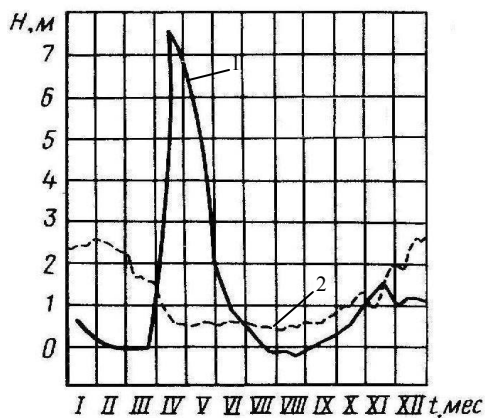


Рисунок 6.6 – График изменения речного стока при многолетнем естественном и зарегулированном режимах:

1 – естественный сток, 2 – зарегулированный сток

1 – естественный сток, 2 – зарегулированный сток

Для участков рек, расположенных ниже водохранилища многолетнего регулирования, характерно отсутствие половодий во все маловодные и некоторые средние по водности годы.

Для речного транспорта наибольшее значение имеет увеличение расхода воды в летнюю межень. Многолетнее и годичное регулирование позволяет увеличить расход воды

по сравнению с естественным режимом в 2 – 3 и более раза. Изменение режима речного стока за счет многолетнего и годовичного регулирования охватывает протяженные участки рек. Эти режимы речного стока могут усиливаться ниже лежащими водохранилищами. Если нет больше ни водохранилищ, ни притоков, то влияние многолетнего и годовичного регулирования распространяется до устья реки без искажений. На участки реки, прилегающие к плотине, на график колебаний, предусмотренный многолетним и годовичным регулированием, накладываются колебания расхода воды, вызванные суточным и недельным регулированием. Ближе к плотине эти колебания сильнее, с удалением – постепенно затухают.

Суточные колебания расхода воды распространяются на расстояние 50 – 70 км от плотины, недельные – на 150 – 200 км. За нижней границей этих колебаний уровня следует уровень колебаний, соответствующий навигационным изменениям зарегулированного стока.

Повышение меженных уровней по отношению к естественному режиму в зависимости от степени регулирования составляет от нескольких дециметров до 1,5 м. Сильнее повышаются зимние уровни. Это связано с тем, что сопротивление открытого русла меньше, чем покрытого льдом.

Режим участка с суточными колебаниями расхода воды очень сложен. Рассмотрим этот режим на примере графика (рисунок 6.7).

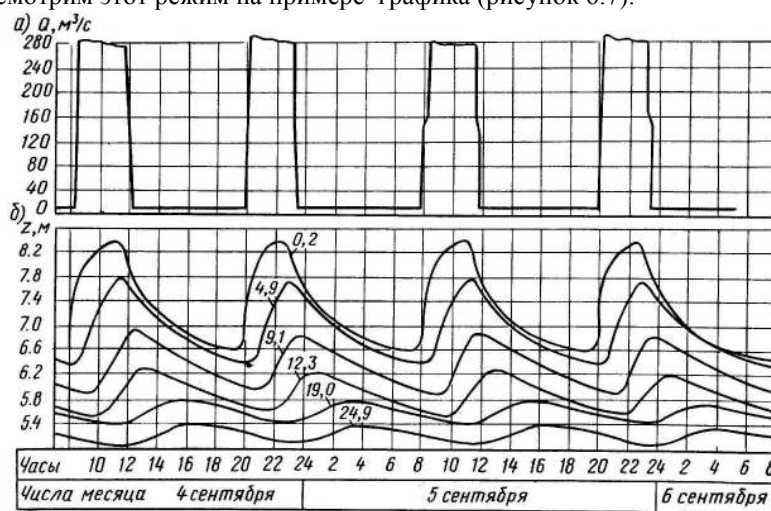


Рисунок 6.7 – График суточного регулирования Ивановской ГЭС на реке Волге:
а – расходы воды в створе ГЭС; б – уровни в сечениях нижнего бьефа (цифры на графиках указывают расстояния от ГЭС в километрах)

Электростанция в будние дни работает в двух расходах: с 8 до 12 и с 20 до 23 – пиковый расход, а в остальное время – базовый расход. Как видно из графика, уровень воды с переходом на пиковый режим быстро возрастает и

достигает максимума незадолго до момента прекращения пикового расхода. Затем уровень снижается до минимума до начала следующего пика. Размах колебаний около станции составляет 1,8 м, на расстоянии 25 км – 0,35 м. Так как большой размах колебаний испытывается у здания ГЭС, то судоходство в нижних бьефах ГЭС испытывает большие трудности. Они возникают при входе в подходной канал и при выходе из него, при проводке крупнотоннажных судов через перекаты и при перегрузочных работах в портах, при работе земснарядов, когда через каждые час – два требуется изменять глубину опускания рамы и т.д. Поэтому при проектировании гидроузлов выполняют детальные расчеты неустановившегося движения, которое характеризуется колебаниями стока с поверхности бассейна и постоянным изменением расхода и уровня воды в реке. Особенно сильно они происходят во время половодий и паводков. Эти расчеты дают основание для выбора графиков суточного и недельного регулирования.

6.6 Влияние регулирования стока на русловый процесс и судоходные глубины

Перераспределение стока, производимое годичным и многолетним регулированием, вносит существенные коррективы в ход руслового процесса и в состояние глубин на перекатах. На русло воздействуют следующие факторы: в пределах ближайших к плотине нескольких десятков километров – волны пропусков, и накладывается эффект задержки твердого стока реки водохранилищем; вблизи от плотины, за счет кинетической энергии потока, приводятся в движение значительные массы наносов, прошедшие через плотину. Ограниченное годичное регулирование, срезающее лишь верхушку половодья и ненамного увеличивающее меженные расходы, может оказать только некоторое влияние на режим перекатов и не затронуть общий ход руслового процесса. И наоборот, многолетнее регулирование, при котором сбросы через плотину происходят в немногие многоводные годы, а беспаводковый режим поддерживается в большинстве лет, вызывает перестройку не только меженного русла, но практически может изменить ход всего руслового процесса.

Из этого набора наибольший интерес представляют факторы высокой степени регулирования стока (многолетнее и полное годичное, когда полностью задерживается сток в водохранилище половодий в многоводный год).

Следствием снижения половодий является прекращение пойменных деформаций, т. е. образование и развитие рукавов, характерных для незавершенного меандрирования и для пойменной многорукавности, становится невозможным (см. рисунок 5.6). Регулирование стока рек с этими типами руслового процесса приводит к постепенному собиранию их в одно русло,

т.е. к свободному меандрированию, или в реки с побочным типом руслового процесса. Это преобразование происходит весьма медленно (многие десятки лет).

Второе следствие снижения половодий состоит в изменении условий сопряжения реки с ее притоками. При задержке половодья основной реки водохранилищем половодья на приустьевых участках притоков проходят без подпора. Поскольку в основной реке уровень воды ниже, то глубины притоков в направлении к устью уменьшаются, уклоны и скорости растут. А это приводит к размыву русла притока. Со временем размыв распространяется вверх по течению и за многие годы затухает. Грунт, вынесенный притоками, пополняет расход наносов основной реки. Основная река не всегда справляется с притоком наносов, и тогда ниже устья притока формируются косы, побочни и осередки. Крупные притоки не только сбрасывают наносы, но и подпирают главную реку. Подпор может распространяться на несколько десятков километров. На участке подпора скорость падает и создаются условия общего заиливания. Здесь регулирование стока влияет не в пользу основной реки.

Основной вопрос судоходства: оказывает ли влияние регулирование стока на состояние перекатов? С одной стороны, сокращение половодий резко уменьшает объем весенних отложений на перекатах, с другой – меженные уровни могут ограничить размыв перекатов, и гребни их сохранятся на достаточно высоких отметках. На участках с притоками перекаты могут пополняться наносами, выносимыми из притоков. Получается ли приращение глубин больше приращения уровней или наоборот, т.е. что будет проявлять себя: размыв или намыв зависит от конкретных условий на реке.

6.7 Ледовый режим водохранилищ и нижних бьефов

Главными особенностями ледового режима водохранилищ являются: большая толщина льда и позднее очищение водохранилища от льда; существование протяженной полыньи в нижнем бьефе в течение зимнего периода.

Известно, что толщина ледяного покрова определяется балансом теплоты для льда. Приходную часть этого баланса составляет тепло, подводимое к нижней поверхности льда от дна реки или водоема. Величина этого тепла зависит от начальной температуры дна и теплопроводности реки. В мелководных водохранилищах начальная температура дна и реки совпадают. В глубоководных водохранилищах температура дна перед замерзанием существенно ниже, чем в реке. Теплопроводность воды связана с турбулентностью потока. В водохранилищах скорости малы или почти близки к нулю, а как следствие – весьма малая турбулентность потока. Отсюда: лед на водо-

хранилищах нарастает быстрее и становится толще, чем в реках; температура воды к концу зимы в водохранилище сохраняется большей, чем в реке. Например, если в центральных районах европейской территории СНГ толщина льда в реках, как правило, не превышает 0,5 м, то на водохранилищах этого региона она составляет 0,6 – 0,8 м.

Малые скорости течения на водохранилищах вызывают еще одно явление: на водохранилищах невозможен ледоход. Лед тает на месте. Его не пропускают, если он подходит к плотине под действием ветра, для исключения больших потерь воды. Начало физической навигации начинается на 5 – 10 суток позже по сравнению со свободной рекой. Благодаря ледокольному флоту и этот вопрос снимается.

Для нижних бьефов большое значение имеет выход из водохранилища относительно теплой воды, и прежде чем охладиться, она проходит большие расстояния. Поэтому в нижних бьефах всех гидроузлов имеются полыньи, средняя длина которых 20 – 30 км, а в предвесенний период она быстро увеличивается и может достигать длины 100 – 150 км. В полыньях иногда осуществляется местное судоходство.

7 ПОДГОТОВКА РЕК К СУДОХОДСТВУ

7.1 Условия судоходства на свободных реках

Расходы и уровни воды в реках изменяются в течение навигационного периода. В зависимости от преимущественного питания рек (снегового, ледникового, дождевого, озерного) максимум достигается во время половодья или летне-осеннего паводка, а минимум – во время летней или осенней межени. Наибольшая амплитуда колебаний навигационных уровней на крупных равнинных реках СНГ достигает 8 – 10 м, а иногда и более.

Изменение уровня воды в данном створе реки за период навигации характеризуется:

- графиком изменения уровня воды по времени (рисунок 7.1);
- графиком повторяемости и обеспеченности (по продолжительности) стояния уровней воды (рисунок 7.2).

Для сопоставления изменения хода и продолжительности стояния уровней воды вниз по реке эти графики строят для всех створов в одинаковом масштабе. На основании графиков продолжительности стояния ежедневных уровней воды в реках и озерах устанавливают расчетный минимальный (проектный) навигационный уровень воды определенной обеспеченности (примерно равной 95 – 99 % для водных путей разной категории). К этим проектным уровням приводятся и плановые съемки водных путей.

Глубины воды в русле изменяются как при проектном, так и при более высоких уровнях воды от наибольших на плесах до наименьших на перекатах. Перекаты с наименьшей глубиной на их гребне называют нормирующими, так как они ограничивают судоходные глубины на данном участке реки. В плане русла рек имеют всегда криволинейные очертания. Это важно учитывать при трассировании судового хода, который должен отвечать требованиям, изложенным в п. 4. При незначительном грузообороте, когда неэффективны затраты на улучшение судоходства, судовый ход трассируют,

исходя из наименьших радиусов закругления (R_{\min}), существующих на реках. При этом гарантированную судоходную глубину принимают равной глубине на нормирующем перекате при проектном уровне воды на нем, гарантированную ширину – равной ширине русла в наиболее узком месте (на уровне грузовой осадки судна).

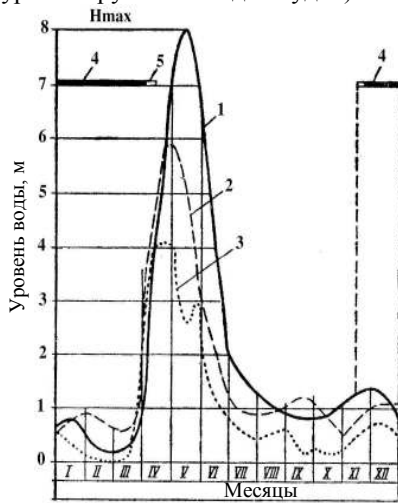


Рисунок 7.1 – Графики изменения уровней воды в створе реки:
1 – многоводный год; 2 – средний год;
3 – маловодный год; 4 – ледостав; 5 – ледоход

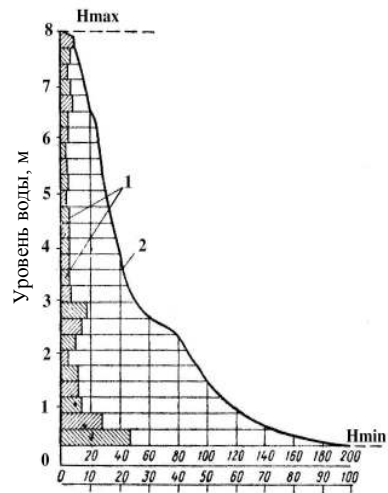


Рисунок 7.2 – График повторяемости и обеспеченности стояния уровня воды по продолжительности:
1 – график повторяемости;
2 – график обеспеченности

Оба графика составляются по многолетним гидрометрическим данным.

7.2 Методы улучшения и поддержания судоходных условий

Известно, что от величины вышеназванных параметров, и в первую очередь от гарантированной глубины, зависит выбор типа и грузоподъемности судов и составов, т. е. уровень использования того или иного водного пути в перевозочном процессе. Поэтому важным условием является улучшение и поддержание судоходных глубин и других габаритов судового хода. Среди основных методов улучшения и поддержания судоходных условий (рисунок 7.3) необходимо выделить первый и основной – *проведение комплекса путевых работ*.

В состав комплекса путевых работ входят: обслуживание навигационного оборудования водного пути, траление, руслоочистительные работы, землечерпание, скалоуборочные работы, выправительные работы, берегоукрепительные работы.

Обслуживание навигационного оборудования водных путей (система береговых и плавучих знаков) предназначено для обеспечения на водных путях условий безопасного и беспрепятственного плавания судов, составов и плотов. Траление включает работы по отысканию подводных препятствий. Руслоочистительные работы делятся на дноочистительные – по извлечению из-под воды препятствий и берегоочистительные – по уборке препятствий с береговой полосы. Землечерпание выполняется при разработке судоходных прорезей в русле реки. Скалоуборочные работы проводятся с целью углубления и расширения судовых ходов и включают дробление, подъем и удаление разработанных камней. Выправительные работы выполняются с целью увеличения габаритных размеров водных путей и улучшения плановых очертаний русла. Берегоукрепительные работы включают работы по возведению сооружений, защищающих берега от размыва.

При классификации путевых работ принято объединять в единый комплекс дноуглубительных работ: землечерпание, скалоуборку, выправление русел рек. Землечерпательные и выправительные работы могут быть эксплуатационными, проводящимися на существующих трассах для поддержания достигнутых габаритов водного пути и обеспечения безопасности плавания, или предусматривать коренное улучшение судоходных условий (нередко с переносом судового хода по новому направлению).

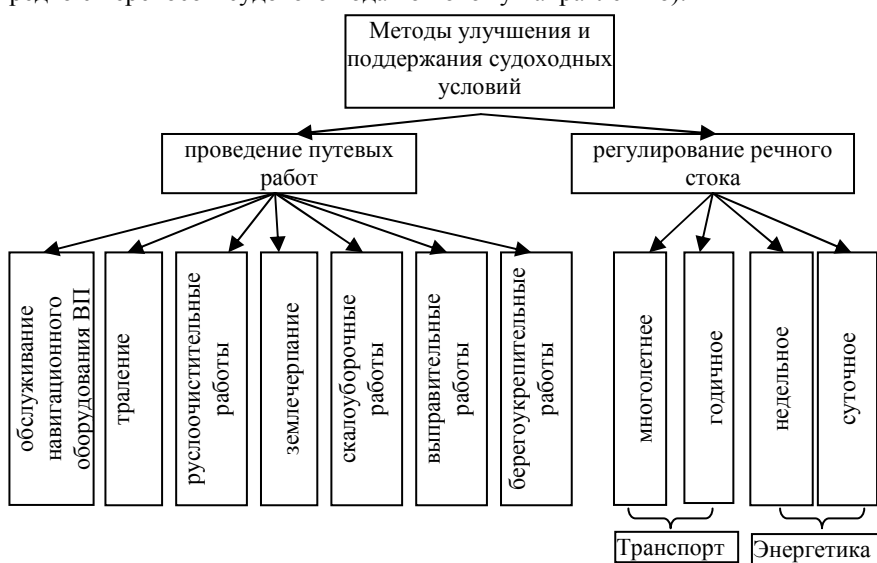


Рисунок 7.3 – Классификация методов улучшения и поддержания судоходных условий

Второй метод включает в себе *регулирование речного стока*, т.е. перераспределение стока во времени, обеспечиваемое водохранилищами. В за-

висимости от продолжительности цикла различают регулирование: многолетнее, годовое, суточное и недельное.

Многолетнее регулирование имеет целью перераспределение стока как между годами, так и внутри отдельных лет. В многоводные годы водохранилище наполняется до нормального подпорного уровня, а полная сработка полезного объема происходит к концу маловодного периода (обычно группа из 2 – 3 лет с низким стоком). Годичное регулирование сводится к следующему. В половодье водохранилище заполняется водой, а излишек сбрасывается через плотину. Затем наступает длительный период сбрасывания, когда по графику из водохранилища подаются зарегулированные расходы воды. Суточное и недельное регулирование вызвано неравномерным потреблением электроэнергии в течение суток (днем и ночью) и по дням недели (суббота, воскресенье, праздники).

Этот метод изменяет водный режим рек: уменьшается или сводится к нулю объем паводков, увеличивается расход воды в летнюю и зимнюю межень. А для участков рек, расположенных ниже водохранилища, при многолетнем регулировании стока характерно полное отсутствие половодий. Для водного транспорта важным является увеличение расхода воды в летнюю межень. Многолетнее и годовое регулирование обеспечивает увеличение расхода воды по сравнению с естественным режимом в 2 – 3 и более раза.

Следует отметить также, что водохранилища имеют еще и другое народнохозяйственное значение: энергетика, мелиорация (орошение), водоснабжение, предотвращение наводнений. Обобщая сказанное, важно отметить то, что требования, предъявляемые к стоку различными потребителями, различны, а порой и противоречивы. Например, подача воды из водохранилища наибольших расходов желательна для речного транспорта – в летнюю межень, для энергетики – в осенне-зимний период. Вместе с тем регулирование речного стока, как правило, не исключает проведения путевых работ по улучшению судоходных условий.

7.3 Перспективные схемы улучшения судоходных условий

Коренное улучшение судоходных условий свободной реки осуществляется на основе перспективных схем, составляемых на 15 – 20 лет и корректируемых через 5 – 10 лет. Перспективной схемой определяются: оптимальное положение оси судового хода на протяжении судоходной части реки; положение выправительной трассы на затруднительных участках с обоснованием габаритов судового хода; принципиальные схемы коренного улучшения наиболее затруднительных участков (с отклонением от норм габаритных параметров, требующих проведения повторных работ по их устра-

нению); ориентировочные объемы дноуглубительных работ по коренному улучшению судоходных условий.

Разделы перспективной схемы имеют следующее содержание.

Первый раздел включает:

- Краткую гидрографическую и судоходную характеристику реки, современную и перспективную значимость ее для судоходства и народного хозяйства с указанием грузооборота, планов его увеличения, эксплуатирующихся и поступающих типов судов.

- Особенности гидрологического режима реки: таблицы минимальных, средних и максимальных значений за многолетний период по опорным водомерным постам уровней и расходов воды в пике половодья и в летнюю межень, начало и конец весеннего и осеннего ледохода, уклоны свободной поверхности воды, графики колебаний уровней по опорному гидрологическому посту в различные периоды водности (минимальный, средний, максимальный).

- Особенности морфологического и геологического строения русла и поймы реки (ширина русла и долины, высота пойменных и коренных берегов, извилистость и разветвленность реки и др.).

Во втором разделе приводятся:

- Фактические минимальные уровни воды и габаритные размеры водного пути за прошедшие 5 – 10 лет, а также количество суток срыва гарантированных габаритных размеров и снижения уровня воды ниже проектной величины.

- Планируемые гарантированные габаритные размеры пути и проектные уровни воды на ближайшие 5 лет.

В третьем разделе определяется техническая эффективность дноуглубительных работ. Она оценивается изменением ежегодных объемов землечерпания, а также зависимостью габаритных размеров водного пути от уровней воды, водности в периоде навигации и объемов дноуглубительных работ.

В четвертом разделе определяют габаритные размеры выправительной трассы и намечаются принципиальные схемы коренного улучшения наиболее затруднительных участков реки.

В пятом разделе устанавливают ориентировочные объемы путевых работ.

В шестом разделе дается расчет потребности технических средств, материалов и кадров для проведения работ по коренному улучшению судоходных условий.

8 ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

8.1 Область применения дноуглубления

На внутренних водных путях основным способом увеличения и поддержания судоходных глубин и других габаритов судового хода является дноуглубление. Дноуглубление – это удаление грунта с судового хода механическим способом. В необходимых случаях дноуглубительные работы сочетаются с выправлением русла. Дноуглубительные работы выполняются как на транзитном судовом ходу, так и вне его.

Транзитное дноуглубление включает:

- дноуглубление судового хода на свободных реках (на перекатах, побочнях, излучинах);
- дноуглубление шлюзованных рек (на перекатах в верхних бьефах, расчистка плотин и шлюзов от песчаных наносов, скапливающихся во время весеннего половодья);
- дноуглубление каналов (расчистка их от наносов, обвалов, оползней);
- дноуглубление на озерах и водохранилищах (работы в истоках и устьях рек, впадающих в них, на подходах к портам и для обеспечения судоходных глубин).

Внетранзитное дноуглубление включает:

- углубление входов в затоны и портовые бассейны (ковши, гавани). Эти работы важны осенью перед заходом судов на зимнюю стоянку и весной перед выходом на внутренние водные пути;
- углубление рейдов и портовых акваторий;
- углубление подходных каналов к предприятиям;
- возведение насыпей и сооружений (устройство запруд, полузапруд, подсыпка берегов и др.);
- добыча стройматериалов (песка, гравия, гальки).

8.2 Классификация судоходных прорезей

Дноуглублением разрабатываются так называемые судоходные прорези, преимущественно подводные в пределах перекатов на транзитных судовых ходах, вне транзита – на подходах к пристаням, портам, у входов в затоны, ковши и т. д.

Судоходные прорези делятся на два вида: эксплуатационные и капитальные.

Эксплуатационные прорези выполняются на существующем судовом ходу. Они в свою очередь подразделяются на восстановительные и ремонтные. К восстановительным относятся прорези, разрабатываемые на спаде половодья, для удаления с судового хода наносов, отложенных на перекатах, при высоких уровнях воды (восстанавливают на перекатах судоходные глубины). Ремонтными называют прорези, служащие для ликвидации межженной заносимости судового хода. Ремонтные прорези могут выполняться на одном и том же перекате несколько раз за навигацию. Положение ремонтной прорези может несколько отличаться от восстановительной, однако во всех случаях работы ведутся в одной и той же полосе судового хода. Объемы работ восстановительных прорезей всегда существенно больше объемов работ ремонтных прорезей. Однако при сильной межженной заносимости они могут сравниваться. Изменение уровней воды и глубин при дноуглублении на перекатах показано на рисунке 8.1.

Капитальными называются прорези, выполняемые для переноса судового хода на новое место. Перенос судового хода может вызываться требованиями судоходства и с целью обеспечения более устойчивых параметров судового хода (т.е. снизить затраты на эксплуатационное дноуглубление). На участках со скальными грунтами к капитальным прорезям относят прорези, выполняемые для увеличения гарантированных габаритных размеров судового хода. Объем выемки у капитальных прорезей гораздо больше, чем у эксплуатационных (иногда 1 млн м³ и более).

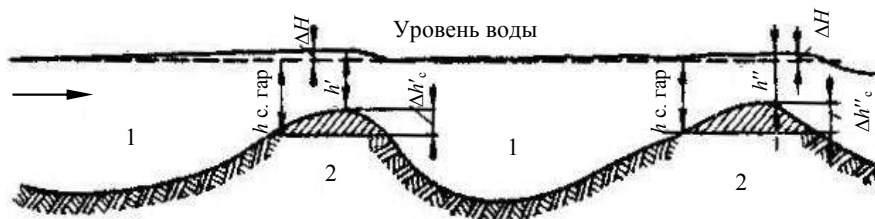


Рисунок 8.1 – Изменение уровней воды и глубин при дноуглублении на перекатах (продольный профиль):

1 – плес; 2 – перекат; h' , h'' – глубина на перекатах в бытовом русле; $\Delta h'_{с}$, $\Delta h''_{с}$ – глубина прорезей;
 $h_{с\text{ гар}}$ – гарантийная судоходная глубина; ΔH – понижение уровня воды после устройства прорези

8.3 Требования, предъявляемые к судоходным прорезям

При разработке судоходных прорезей должны быть учтены три группы требований: общие, требования судоходства и требования к габаритам судового хода.

Судоходная прорезь должна отвечать следующим *общим* требованиям: иметь установленные размеры судового хода (глубину и ширину), быть удобной и безопасной для движения судов и плотов, иметь минимальные объемы выемки, иметь малую заносимость, т.е. минимальный объем повторных работ, способствовать общему улучшению состояния переката.

Однако удовлетворение всех требований для конкретных перекатов не всегда возможно (например, удобство судоходства может не согласовываться с требованиями минимального объема выемки грунта). Поэтому приоритетными всегда являются требования судоходства.

Для удобства и безопасности плавания прорези делают, как правило, прямыми. Лишь в отдельных случаях длинные прорези допустимо разрабатывать из двух - трех прямых колен с малыми углами между ними.

Кроме общих требований прорези должны отвечать *требованиям судоходства*: подходы к прорезям сверху и снизу должны иметь возможно большие радиусы закругления, на прорези и на подходах к ней не должно быть свальных течений (поперечных), скорость течения при входе и выходе должна изменяться плавно.

Для создания требуемых радиусов кривизны судового хода ведется подрезка побочней и осередков, иногда уширяются концевые участки прорези. Для смягчения продольных скоростей течений делается переуглубление концевых участков прорезей. И, наконец, с целью избежания свальных течений выбирают соответствующее направление прорези и местоположение отвала грунта.

Имеется ряд *требований к габаритам*. Ширина восстановительной и ремонтной прорези должна быть не менее гарантированной ширины судового хода. С целью облегчения расхождения судов прорези часто выполняют шириной больше гарантированной. На реках с нескальными грунтами ширина капитальной прорези назначается в 1,2 – 1,5 раза больше ширины судового хода. Это делается с целью привлечения в прорезь большего расхода воды и, тем самым, закрепления судового хода по новому направлению.

8.4 Трассирование судоходных эксплуатационных прорезей

При назначении трассы судоходной прорези используют следующие исходные данные: сведения о ходе руслового процесса на перекатах за ряд предшествующих лет, данные о деформациях, которым подвергались вы-

полнявшиеся в эти годы прорезы, план свежей русловой съемки. Обычно, если на перекате не произошло крупных деформаций, перечисленных данных достаточно для выбора направления прореза. Поэтому к эксплуатационным прорезам применяется термин «трассирование». Кроме этого, проверять ее устойчивость расчетом не требуется. Для трассирования прорезей на наиболее распространенных типах перекатов существуют определенные рекомендации.

Перекат-перевал (перекаты наиболее простой формы). Они характеризуются плавным переходом линии наибольших глубин от одного берега к другому, не заходящими друг за друга плесовыми ложинами. На таких перекатах прорезь трассируют по линии наибольших глубин, отвалы грунта располагают на верхнем побочне (рисунок 8.2).

Перекат с затонной частью (рисунок 8.3). Плесовые ложины заходят одна за другую. Корыто между побочнями имеет направление, как правило, под углом более 40° с осью меженного русла. При этом прорезь должна пересекать вал переката. Выбор местоположения прорези через нижнюю часть вала переката (см. рисунок 8.3, вариант I) или верхнюю (см. рисунок 8.3, вариант II) зависит от местных топографических и гидрологических условий, а также хода руслового процесса.

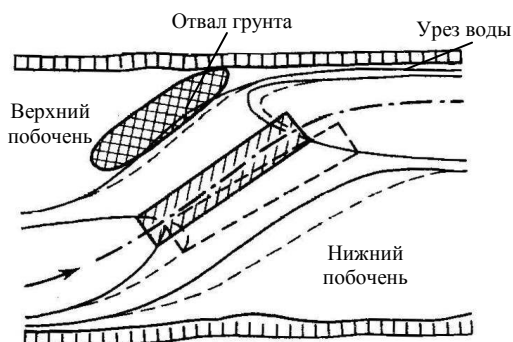


Рисунок 8.2 – Прорезь и отвал грунта на перекате-перевале

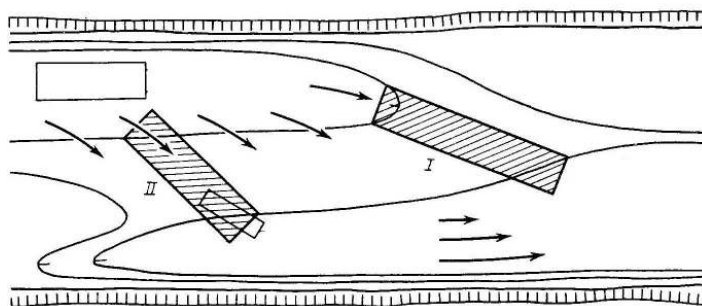


Рисунок 8.3 – Весенняя (I) и меженная (II) прорези на перекате с затонской частью

По варианту I прорезь получается более пологой, но неудобной для судоходства (составы, подходящие к перекату сверху, испытывают действие

свального течения). Кроме этого, вследствие растекания воды по перека-
 тному валу удельные расходы воды в прорези падают и она начинает заноситься
 песком. В результате вынуждены в межень трассировать прорезь по
 варианту II. Она поддерживается течением, не требует ремонтных работ до
 конца навигации. Затруднение испытывает судоходство из-за малого радиу-
 са циркуляции при выходе из прорези в затонную часть. Под действием те-
 чения и сил инерции буксируемые баржи часто наваливаются на берег. В
 весеннее половодье эта прорезь закладывается песком и создаются условия
 для возобновления прорези по варианту I.

Коренное улучшение перекаатов с затонной частью достигается с помо-
 щью капитальной прорези, прокладываемой через нижний побочень.

На сложных перекаатных участках, состоящих из нескольких соединен-
 ных между собой перекаатов (может быть разного типа), плесовые лощины
 имеют малые объемы (рисунок 8.4).

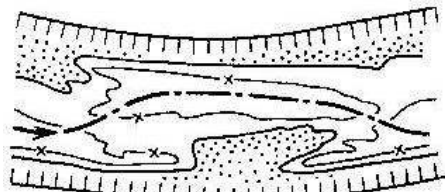


Рисунок 8.4 – Сложный перекаат с затон-
 ной частью

При низких меженных уровнях воды верхние перекааты часто под-
 пираются нижними. Поэтому при разработке прорезей на нижних пе-
 рекатах возможно снижение уровня воды на верхних перекаатах. При
 разработке прорезей на верхних перекаатах часть наносов поступает
 в нижние перекааты. Все это необ-
 ходимо учитывать при разработке проекта прорези. Поэтому рекомендуется
 отвалом грунта повышать низкие участки побочней и закреплять их выпра-
 вительными сооружениями.

На *перекатах-россытях* наиболее устойчивыми являются криволиней-
 ные судовые ходы с устройством на них местных прорезей и укреплением
 побочней. Схемы работ на перекатах такого типа весьма индивидуальны.

На разветвленных участках рек (в устьях) более устойчивы и требуют
 меньшего объема дноуглубительных работ судовые хода по рукавам, при-
 жимающимся к основному трудно размываемому берегу.

8.5 Состав проекта капитальной прорези

Проект капитальной прорези состоит из следующих основных частей:
 анализа русловых процессов на перекатах; анализа условий судоходства;
 трассы капитальной прорези; гидравлических расчетов; подсчетов объемов
 дноуглубительных работ; организации дноуглубительных работ.

Исходные данные включают: план перекаата за многолетний период, по-
 следнюю русловую съемку с охватом лощин, указанием отметок пойменных

бровок; сведения о глубинах на перекате за последние 5 – 10 лет; сведения об объемах дноуглубительных работ за этот период; сведения об авариях транспортного флота на перекатах; материалы русловых исследований (продольный профиль свободной поверхности, схемы траектории движения поплавков, расходы воды, наносов и пробы донных отложений).

На необходимость сооружения капитальной прорези вынуждает большой объем работ на эксплуатационных прорезях. Поэтому одной из целей исследования является изучение причин интенсивной заносимости эксплуатационной прорези, тенденции к развитию новых русловых емкостей, характер затруднений для судоходства. Полученные выводы служат основой для выбора трассы капитальной прорези. Разрабатывают несколько вариантов капитальной прорези (два – три) и для каждого делают расчет устойчивости прорези (ее деформации). Окончательный вариант определяют по следующим критериям: удобство для судоходства; степень устойчивости прорези и объем работ. Затем выбирают технические средства проведения дноуглубления и составляют календарный график работы.

8.6 Технические средства дноуглубления

Для производства дноуглубительных работ на внутренних водных путях применяются землечерпательные снаряды (земснаряды) следующих типов:

- землесосные, предназначенные для разработки несвязных грунтов, главным образом песчаных;
- многочерпаковые – для разработки каменистых и засоренных грунтов или необходимости отвала грунта на большие расстояния;
- одночерпаковые – для разработки глинистых, галечных и каменистых грунтов, а также для проведения скалоуборочных работ.

Землесосные снаряды являются наиболее распространенным типом земснарядов на внутренних водных путях. Землечерпание осуществляется путем всасывания грунта вместе с водой (пульпой) при помощи насоса. В пульпе содержится 10 – 30 % грунта. Глубина извлечения грунта достигает 11 м. Землесосный снаряд состоит (рисунок 8.5) из понтона, на котором размещается двигатель, приводящий в движение центробежный насос. К насосу подключается всасывающий трубопровод, который заканчивается овальным или щелевым наконечником. Для отвода грунта используется напорный трубопровод, который состоит из корпусной части и плавучей, размещаемой на понтонах и называемой рефулером. Землесос и концевой понтон оборудуются лебедками и якорями. Производительность землесоса зависит от рода разрабатываемого грунта и составляет 200 – 1000 м³/ч и более.

Разработка грунта многочерпаковыми снарядами производится с помощью бесконечной черпаковой цепи, которая состоит из 20 – 60 шарнирно-

соединенных между собой черпаков, установленных на ролики, закрепленные на раме (рисунок 8.6). На обоих концах рамы находятся барабаны: верхний барабан имеет механизм вращения, обеспечивающий движение цепи, нижний – направляет цепь вокруг рамы. Подъем и опускание рамы производятся лебедкой. Процесс забора грунта осуществляется путем срезания его черпаками. По мере прохождения верхнего барабана грунт выпадает из черпаков в бункер. Из бункера по лотку грунт поступает в шаланду, которая отвозит его в отвал. Глубина разработки такими земснарядами достигает 10 м, а производительность – 750 м³/ч.

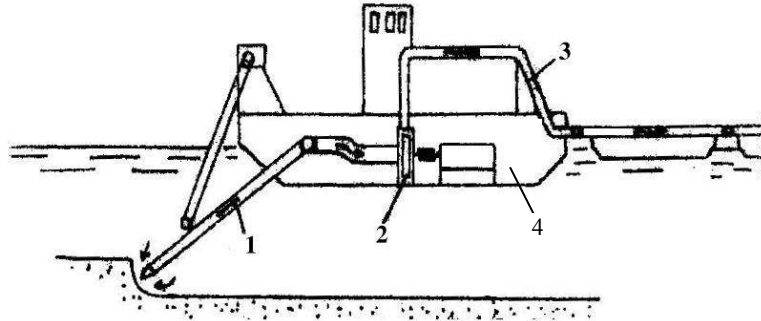


Рисунок 8.5 – Землесосный снаряд:

1 – всасывающий трубопровод; 2 – насос; 3 – напорный трубопровод; 4 – понтон

Одночерпаковые земснаряды являются машинами периодического действия. На внутренних водных путях применяют два типа одночерпаковых земснарядов: штанговые и грейферные.

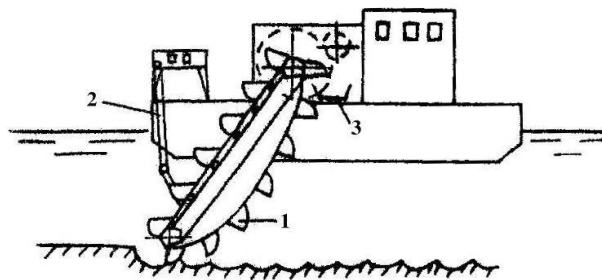


Рисунок 8.6 – Многочерпаковый снаряд:

1 – черпаки; 2 – механизм подъёма рамы; 3 – грунтосприёмник

Штанговый земснаряд имеет рабочий орган в виде ковша, закрепленного на штанге, которая оборудована приводом поворота и опускания с помощью системы механизмов (рисунок 8.7). Глубина черпания составляет 8 м, про-

изводительность – 120 м³/ч. Такой тип земснаряда чаще применяется для внетранзитных работ, подъема крупных камней в скальных грунтах.

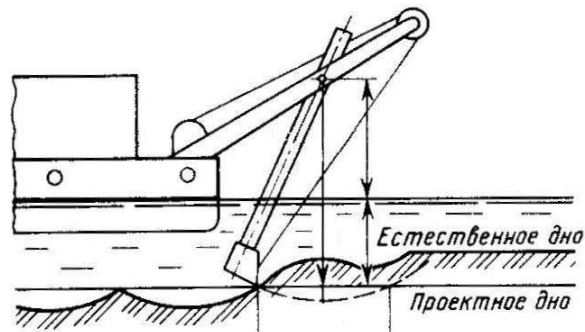


Рисунок 8.7 – Штанговый снаряд

Грейферный земснаряд представляет собой плавучий кран с поворотной стрелой, на которой подвешивается грейферный ковш. Управление работой ковша осуществляется посредством тросов и лебедок. Производительность снаряда составляет 60 – 125 м³/ч. Глубина черпания определяется длиной тросов.

8.7 Схемы разработки судоходных прорезей

Для разработки прорези земснаряд должен совершать рабочие перемещения в продольном и поперечном направлениях в пределах установленных габаритов. Разработку прорези можно начинать как снизу, так и сверху по течению. Применяют в основном три способа перемещения земснаряда по прорези:

- 1) траншейный (продольный);
- 2) папильонажный (поперечный);
- 3) траншейно-папильонажный (продольно-поперечный).

Способ разработки прорези определяется конструкцией земснаряда, характером грунта и другими данными.

Траншейным способом работают землесосные снаряды с эллиптически-ми, уширенными и щелевыми всасывающими наконечниками. Разрабатывают этим способом песчаные, несвязные грунты. При этом способе прорезь по длине делится на серии, а по ширине – на траншеи (рисунок 8.8). Большинство земснарядов извлекает грунт при одностороннем движении. Ширина траншеи определяется шириной корпуса земснаряда. Длина серии определяется необходимостью перекладки якоря. Разработку в пределах серии ведут, передвигаясь по траншее вдоль прорези против течения.

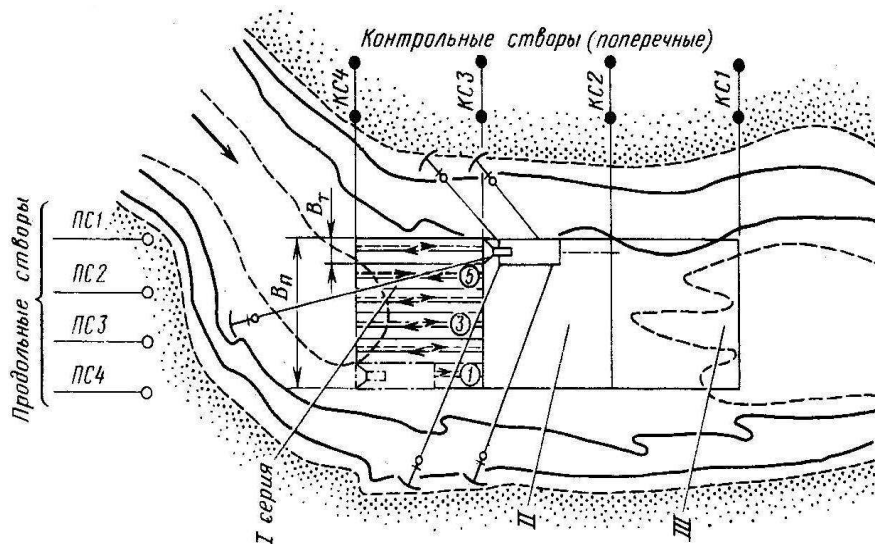


Рисунок 8.8 – Схема траншейного способа рабочих перемещений земснаряда:
 V_p – ширина прорези; V_t – ширина траншеи

Папильонажным способом работают многочерпаковые и одночерпаковые штанговые земснаряды и землесосные снаряды со специальными накопниками. При этом снаряд проходит от одной кромки прорези к другой, снимая полосу грунта шириной до двух метров (рисунок 8.9). Перемещение земснаряда осуществляется с помощью лебедок.

Грунт, извлеченный землесосным снарядом, отводится в отвал в смеси с водой.

Наиболее распространенными способами удаления грунта при работе других типов земснарядов являются шаландовый, рефулерный и лонгкуларный.

Для удаления грунта от многочерпаковых снарядов поочередно к нему подходят шаланды, днища грузовых трюмов у которых откидные, вместимостью 20 – 400 м³. Толкает шаланды теплоход, или они могут быть самоходными.

Рефулерный способ достигается, когда для отвала грунта применяются поочередно соединенные трубы длиной до 9 м, опирающиеся на площадки между спаренными цилиндрическими понтонами. Длина рефулера составляет от 200 до 500 м. На месте отвала грунта концевая часть трубы удерживается якорем. Отвал грунта может производиться также на берег.

Лонгкуларный способ заключается в следующем: к стреле снаряда подвешивают длинный лоток, по которому самотеком движется грунт с водой. Длина лотка – до 40 м. Применяется такой способ на малых реках и каналах.

Отвал грунта располагают в местах, где он не мешает судоходству, не попадает в прорезь и на судовой ход.

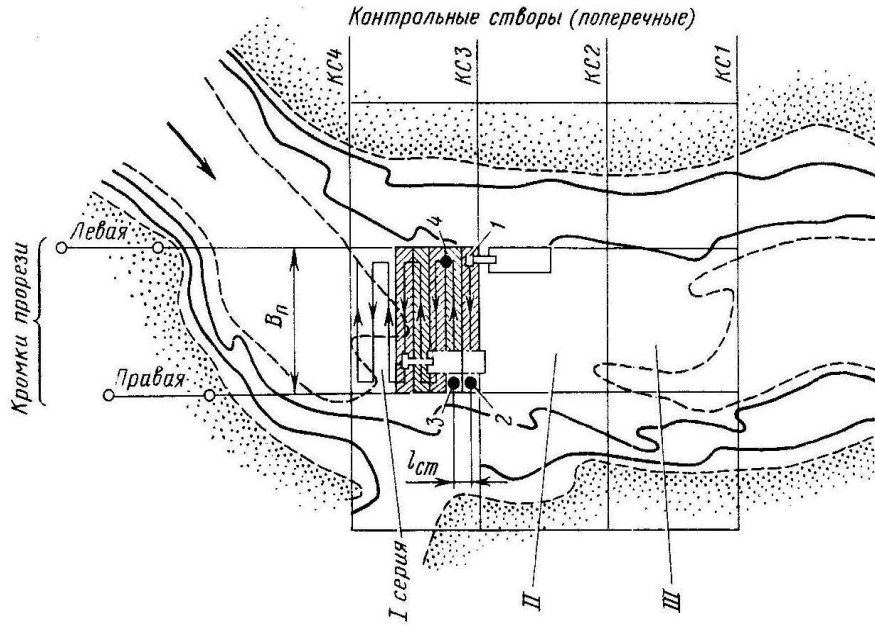


Рисунок 8.9 – Схема папильонажного способа рабочих перемещений земснаряда

При шаландном способе грунт отводится на глубокие места, при рефулерном – грунт используют для строительства выправительных сооружений или укладывают на берег. Во всех случаях место отвала грунта определяется особенностями реки. В скальных грунтах для увеличения габаритов судового хода вначале разрыхляют скалу механическим способом, а затем расчищают судовой ход.

9 ТРАЛЬНЫЕ И РУСЛООЧИСТИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

9.1 Основные причины, вызывающие необходимость работ по очистке русла

В русле рек, на дне каналов и водохранилищ встречаются разного рода препятствия, которые представляют опасность для судоходства (проломы корпуса судна, затопление). По характеру препятствия могут быть естественными, случайными или искусственными. К *естественным* препятствиям относятся упавшие в воду деревья, находящиеся на судовом ходу отдельные большие камни, скопления камней у размытых берегов и островов (огрудки), выносы из ручьев и оврагов каменистых, гравийных, галечных и других грунтов. Наиболее распространенными препятствиями на свободных реках являются стволы деревьев, подмытых течением и унесенных им (преимущественно во время паводков и половодий). Иногда они тонут на месте обрушения берега, но чаще течением и ледоходом выносятся на нижние участки рек, древесина намокает, и они опускаются на дно. Причем корневая часть опускается раньше и заносится грунтом. Дерево остается в наклонном состоянии и может вызвать аварию наскочившего на него судна.

Большую опасность для судоходства представляют каменистые гряды, камни-единцы или выступы твердой глины, ранее находившиеся в толще отложений или берегов. Некоторые камни выносятся на судовую ход во время ледохода, после того как они попадают на лед при обвалах берега или вмержают в него в прибрежной полосе. В весеннее повышение уровня воды лед поднимается, уносит с собой камни и течет по течению, пока не растает. Камни вновь погружаются на дно в другом месте и могут представлять опасность для судов. Иногда камни выносятся из притоков и ливневыми водами из оврагов.

Случайными препятствиями являются бревна-топляки, затонувшие бревна при молевом сплаве или при плохой счалке плотов и авариях с ними, утерянные якоря, лоты (прибор для измерения глубины с судна), затонувшие

катера и т. д. Из перечисленных случайных препятствий наибольшую опасность представляют топляки. Бревна, намокая, опускаются на дно и становятся подводными препятствиями. Особенно опасны на перекатах, искусственных прорезях, на которых запасы глубины для судов с наибольшей осадкой невелики.

Искусственными препятствиями являются остатки разрушенных или заброшенных зданий, сооружений: мельничных плотин, свай, опор мостов и т. д.

На водохранилищах иногда препятствиями являются остатки зданий, не убранных при подготовке к затоплению территории, деревья, всплывшие блуждающие острова торфа и др.

9.2 Виды работ по очистке русла

Работы, которые связаны с отысканием препятствий и последующим их извлечением на берег за пределы зоны затопления и размыва, а также профилактические работы по предупреждению попадания на судовой ход препятствий составляют комплекс руслоочистительных работ. Цель этих работ – обеспечение условий безопасного плавания речных составов и судов с определенной осадкой. Руслоочистительным работам всегда предшествует траление, цель которого – проверка установленных габаритных размеров судового хода и отыскание подводных препятствий. В свою очередь, руслоочистительные работы делятся на дноочистительные и берегоочистительные (профилактические).

Дноочистительные работы включают в себя работы по извлечению препятствий из-под воды. *Берегоочистительные* работы являются, как правило, профилактическими, по предупреждению попадания на судовой ход препятствий из береговой полосы в результате размыва или затопления.

9.3 Технические средства и ведение тральных работ

9.3.1 Технические средства проведения тральных работ

Подводные препятствия без специального оборудования обнаружить практически сложно, поэтому для подводного обследования чистоты судового хода применяют тралы различных систем. Тралы делятся на две конструктивно различные системы: гибкие и жесткие.

Гибкие тралы (рисунок 9.1) представляют собой металлический или пеньковый трос с прикрепленным к нему грузом, а иногда и поплавками. Длина трала в зависимости от судового хода или русла составляет от 100 до 200 м. При длине троса 200 м ширина протраливаемой полосы составляет 120 – 150 м. Концы гибкого трала закрепляют на двух катерах или лодках.

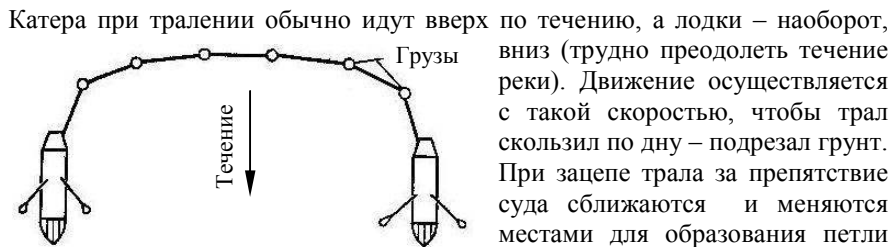


Рисунок 9.1 – Гибкий трал

Катера при тралении обычно идут вверх по течению, а лодки – наоборот, вниз (трудно преодолеть течение реки). Движение осуществляется с такой скоростью, чтобы трал скользил по дну – подрезал грунт. При зацепе трала за препятствие суда сближаются и меняются местами для образования петли трала, затем подтягиваются к обнаруженному предмету и обследуют его (характер препятствия и глубина над ним). Если есть возможность, извлекают его, если нет, то обозначают вехой или буйком.

При тралении катера или лодки идут по кромкам протраливаемой полосы или за пределами кромки судового хода на 10 – 20 м, если это возможно. Если ширина участка траления превышает ширину, захватываемую гибким тралом, то траление ведут параллельно двумя тралами, перекрывая друг друга на 0,3 – 0,5 ширины протраливаемой полосы. К недостаткам гибкого трала относятся: провисание троса и образование большой петли, которая затрудняет перемещение трала и сокращает обследуемую площадь за одну проходку; соскальзывание с трала камней, погруженных в грунт или имеющих округлую форму; пропуск бревен-топляков, если они погружены одним концом в грунт, а другой направлен в сторону движения трала. Гибкий трал удобен для применения при отыскании якорей, лотов, на участках рек с корчами, пнями и т. д.

Жесткие тралы позволяют производить траление на заданную глубину и надежно проверять чистоту судового хода. Основными типами жестких тралов являются лодочный (промерная рама), судовый, сцепной, понтонный.

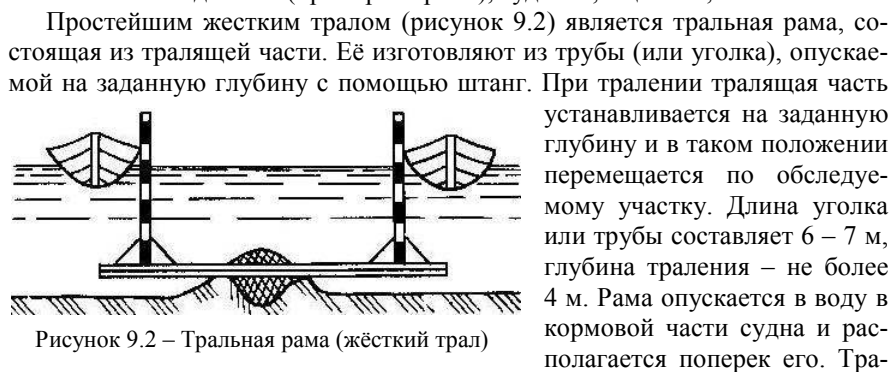


Рисунок 9.2 – Тральная рама (жесткий трал)

Простейшим жестким тралом (рисунок 9.2) является тральная рама, состоящая из тралящей части. Её изготавливают из трубы (или уголка), опускаемой на заданную глубину с помощью штанг. При тралении тралящая часть устанавливается на заданную глубину и в таком положении перемещается по обследуемому участку. Длина уголка или трубы составляет 6 – 7 м, глубина траления – не более 4 м. Рама опускается в воду в кормовой части судна и располагается поперек его. Траление производится с помощью лодки, расположенной поперек течения, трал удерживается двумя людьми, третий с помощью весел маневрирует

лодкой. Рама опускается со стороны верхнего по течению борта с тем, чтобы при задевании за препятствие она не заходила под лодку.

Разновидностью лодочного трала является трал на «пароме-самолете», который используется на порожистых участках рек с большими скоростями течения.

Судовой трал имеет тралящую часть в виде уголка, швеллера или трубы сечением 190 мм и длиной 6 – 16 м. Рама опускается под воду в кормовой части судна и располагается поперек корпуса. Глубина определяется с помощью штанг с нанесенными на них делениями. Удержание конструкции на заданной глубине и подъем производятся с помощью лебедок, расположенных в носовой и кормовой частях корпуса на тросах (рисунок 9.3). При обнаружении препятствия автоматически сбрасывается буйек.

Судовые тралы имеют различных конструкций и модификаций. Использование того или иного трала определяется местными условиями (скорость течения, характер дна, интенсивность судоходства и т.д.). Основными недостатками судовых тралов являются: малая ширина протраливаемой полосы, трудность контроля за перекрытием полос.

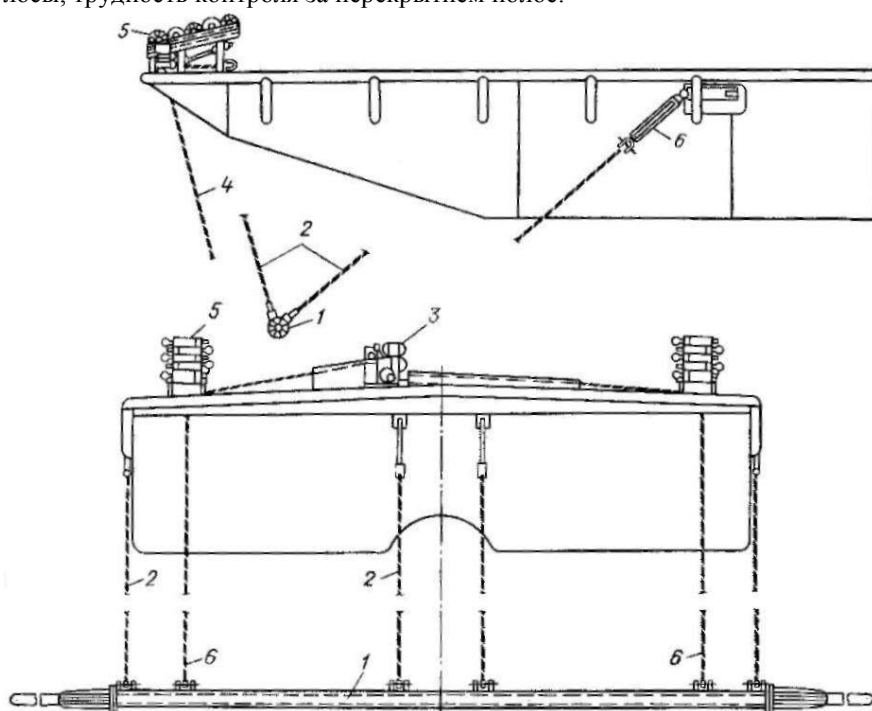


Рисунок 9.3 – Судовой трал:

1 – тралящая часть; 2 – тяговые тросы; 3 – лебёдка; 4 – сигнальный трос;
5 – автоматическое устройство сброса буйков; 6 – амортизаторы

Поэтому такие тралы используют редко, а чаще тралят сцепными тралами. Трал состоит из нескольких звеньев – соединенных между собой жестких рам такой длины, какая требуется для траления судового хода заданной ширины (рисунок 9.4).

Звено состоит из металлической части, которая закреплена на штангах и подвешивается на деревянных поплавок. Буксируется сцепной трал вниз по реке двумя моторными лодками или теплоходами.

Особенность понтонового трала в отличие от сцепного состоит в том, что каждая секция трала монтируется на понтоне. Секции понтонов жестко счаливаются бортовыми автосцепами (ширина траления 30 – 45 м, глубина до 4 м). Имеются и другие конструкции тралов.

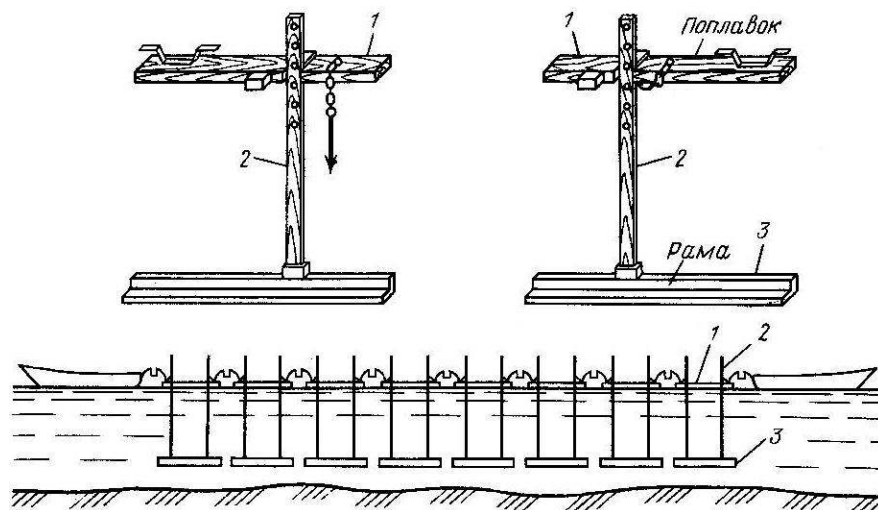


Рисунок 9.4 – Сцепной трал:
1 – поплавок; 2 – штанги; 3 – тралящая часть

9.3.2 Ведение тральных работ

В соответствии с Инструкцией по содержанию судоходной обстановки на внутренних водных путях различают три вида тральных работ: периодическое сплошное траление, местное траление, аварийное траление.

Сплошное траление выполняется тральными бригадами (3 – 6 человек). Работы ведутся в соответствии с графиком, установленным техническим участком пути или районом гидросооружений. Первое сплошное траление ведётся сразу после начала навигации и заканчивается до наступления транзитной глубины (в 1,5 раза превышающей максимальную осадку судов). На

реках и каналах, где навигация открывается при низких уровнях воды, первое сплошное траление должно быть выполнено в течение трех дней после окончания ледохода. В межледный период на реках с освещаемой судоходной обстановкой и развитым лесосплавом траление судового хода производится один раз в две недели, а на остальных реках – один раз в месяц. На водохранилищах и озерах сплошное траление выполняется каждые два месяца на участках, где глубины судового хода не превышают 1,5 магистральной осадки плавающих судов (при минимальном навигационном уровне). На временно эксплуатируемых водных путях траление производится в зависимости от сроков навигации.

Чтобы исключить возможность попадания препятствий на судовой ход в результате переформирования русла и перенесения навигационных знаков, ширина протраливаемой полосы $B_{тр}$ должна быть больше ширины судового хода ($B_{тр} > B_{сх}$).

Если участок обставлен плавучими знаками, то с обеих сторон судового хода протраливается полоса шириной 10 – 20 м (в зависимости от ширины судового хода). При обозначении судового хода створными знаками $B_{тр} \geq (2,5 \dots 3,5) B_{сх}$. Если судовой ход обставлен перевальными знаками, то $B_{тр} \geq 3,5 B_{сх}$. На подходах к перекатам протраливается акватория возможного разворота судна. На водохранилищах и озерах ширина траления

$$B_{тр} = B_{сх} + 2(50 \dots 100).$$

Глубина траления на плесовых участках

$$H_{тр} = h_{\min} + \Delta h_{\text{ср}} + \Delta h_3,$$

где $\Delta h_{\text{ср}}$ – превышение рабочего уровня воды над проектным;

Δh_3 – запас глубины (0,2 – 0,5 м).

На перекатах $H_{тр} \geq h_t$ (h_t – транзитная глубина).

Местное траление выполняется в периоды между сплошными на всех перекатах, порогах, подходах к пристаням и портам. Регулярное местное траление начинается при наступлении глубин, в 1,5 раза превышающих осадку плавающих судов. Выполняется местное траление в сроки, установленные графиком. При этом траление перекатов с песчаным ложем производится через 5 – 10 дней, а перекатов, подходов с каменистым ложем и порогов – не реже раза в 3 – 5 дней.

Аварийное траление выполняется в тех случаях, когда в пределах какого-либо участка водного пути утоплен якорь, лот или другой предмет, в случае аварии с судном или плотом, а также при поступлении сведений о наличии корчей, топляков и др. На каждый случай аварийного траления составляется акт с указанием причин, вызвавших его необходимость. Для аварийного траления привлекают обстановочную бригаду участка, в случае необходи-

мости – команды судов технического флота, изыскателей, а также представителей судов или плотов, с которых утоплен предмет. Обнаруженное препятствие должно быть извлечено причастными работниками. Если не удастся извлечь препятствие, то его ограждают и сообщают диспетчеру технического участка. Путевой мастер участка ведет учет результатов траления в обстановочном журнале.

9.4 Технические средства и порядок ведения руслоочистительных работ

Руслоочистительные работы выполняют дноочистительным снарядом (кранами) различных конструкций на реках. Наиболее распространены дноочистительные снаряды: несамоходные грузоподъемностью 10 т (рисунок 9.5) и винтовые самоходные грузоподъемностью 10 т (рисунок 9.6).

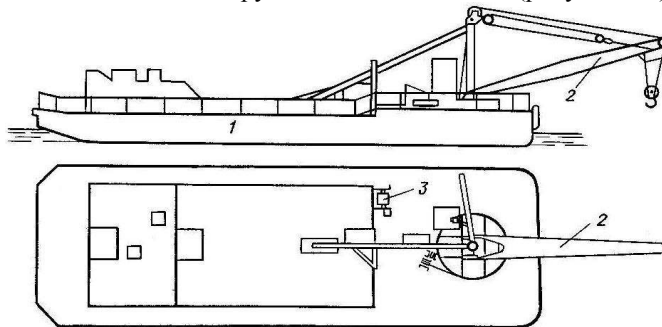


Рисунок 9.5 – Схема несамоходного дноочистительного снаряда:
1 – корпус судна; 2 – стрела; 3 – лебёдка

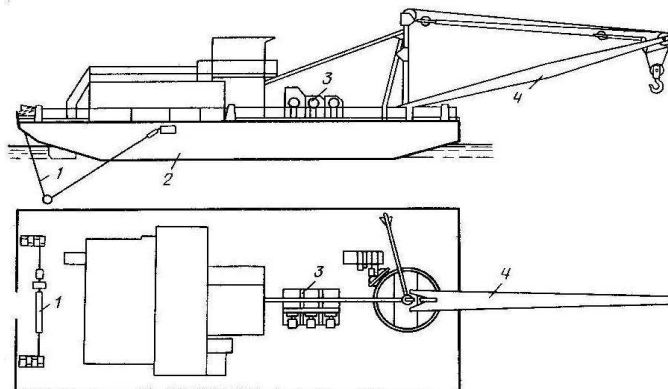


Рисунок 9.6 – Схема самоходного дноочистительного снаряда:
1 – тралящая часть; 2 – корпус судна; 3 – лебёдка; 4 – стрела

На озерах и водохранилищах для извлечения препятствий используются самоходные дноочистительные снаряды грузоподъемностью 20 т. Обычно дноочистительные снаряды оборудуются тральными устройствами.

Дноочистительные снаряды закрепляются за определенным прорабским участком. На ведение работ командиру дноочистительного снаряда и старшине водолазной станции выдается наряд-задание на ведение работ. В наряде указывают: протяженность участка, подлежащего очистке; ширину очищаемой полосы русла; количество препятствий; сроки выполнения работ. Руслоочистительные работы проводятся следующим образом: дноочистительный снаряд сплавом (несамоходный) или своим ходом проходит по участку, извлекает препятствия и выводит их за пределы судового хода. По окончании работ проводится контрольное траление. После этого очищенный участок сдается по акту путевому мастеру. В акте указывается объем выполненных работ и границы очищенного участка. При аварийных работах дноочистительный снаряд получает наряд-задание на уборку конкретных предметов.

10 ВЫПРАВЛЕНИЕ РУСЕЛ РЕК

10.1 Основные задачи и системы выправления русел рек

Улучшения судоходных условий можно достичь, используя с помощью различных сооружений энергию речного потока. Этот способ улучшения судоходных условий называется выправлением русел рек.

Основными задачами выправления русел рек являются:

- Углубление судового хода путем увеличения скорости и изменения направления движения речного потока. Например, на затруднительном участке имеются недостаточные для судоходства глубины. Такие участки обычно характеризуются небольшими скоростями течения и существенным отложением наносов. Задача выправления заключается в воздействии на поток специальными выправительными сооружениями. Скорость течения v_t увеличивается на величину Δv с тем, чтобы достигнуть размывающей для данного грунта на перекате скорости v_p ($v_p = v_t + \Delta v$).

Величина размывающей скорости ориентировочно $V_p = (1,3 \dots 1,4) V_n$.

С течением времени часть наносов смывается с гребня переката и преотвращается их отложение. Произойдет углубление дна на Δh и будет установлена расчетная глубина h_p . Общая схема углубления гребня переката под воздействием выправительных сооружений приведена на рисунке 10.1.

В случаях, когда на затруднительных участках имеется ограничение ширины судового хода, необходимо увеличение скорости течения для смыва наносов с подводной части побочня, простирающегося до границ судового хода (рисунок 10.2).

- Выправление с целью перемещения наносов за пределы судового хода и их отложения в несудоходных протоках (рисунок 10.3). На участке реки с помощью выправительного сооружения (1) наносы отвлекаются с трассы судового хода на второстепенный рукав.

- Защита берегов и отвалов грунта от размыва.

- Предупреждение неблагоприятных русловых переформирований.
- Устранение неправильных течений и др.

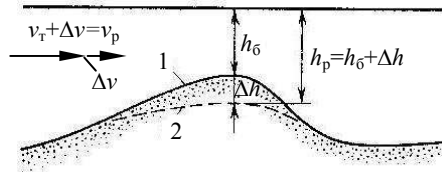


Рисунок 10.1 – Общая схема углубления гребня переката под воздействием выправительных сооружений:

- 1 – положение дна до выправления;
- 2 – положение дна после выправления

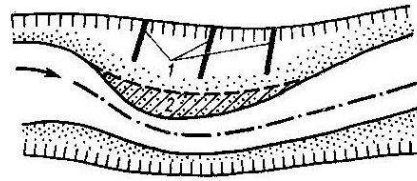


Рисунок 10.2 – Схема увеличения ширины судового хода с помощью выправительных сооружений:

- 1 – выправительные сооружения;
- 2 – зона размыва побочня переката

Эффект выправления во многом будет зависеть от рода грунтов, слагающих дно и берега реки. Мягкий песчаный грунт легко и быстро смывается потоком при небольших значениях размывающей скорости. В этом случае достаточно возвести выправительное сооружение и цель будет достигнута. Крупные и связные (глинистые) грунты требуют больших скоростей течения и длительного воздействия. В этом случае необходимо сочетать возведение выправительных сооружений с дноуглубительными работами.

Зная русловый процесс реки, важно правильно определить вид выправительных сооружений, которые следует возводить, и как продолжительно воздействовать на поток (увеличить скорость течения, или изменить направление течения, или решать обе задачи вместе).

В зависимости от необходимости проведения выправительных работ различают две системы выправления русел рек: сплошное и выборочное.

При *сплошном* выправлении выправительные сооружения располагаются на всем протяжении или большей части реки. В этом случае достигают достаточно устойчивого положения судового хода и добиваются почти равномерного распределения глубины и ширины потока на всем выправляемом участке.

При *выборочном* выправлении сооружения располагаются только на затруднительных для судоходства участках, преимущественно на перекатах.

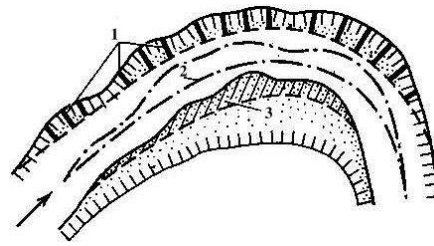


Рисунок 10.3 – Схема создания плавной береговой полосы с помощью выправительных сооружений:

- 1 – выправительные сооружения; 2 – новая ось судового хода;
- 3 – зона размыва песков выпуклого берега

В этом случае удается стабилизировать положение судового хода только в пределах расположения выправительного сооружения.

Сплошное выправление, из-за высокой стоимости, делается на небольших реках с неустойчивым руслом, в грузонапряженных районах. В большинстве случаев на наших реках применяется выборочное выправление.

10.2 Классификация выправительных сооружений

Выправительные сооружения по принципу их воздействия на движение потока бывают (рисунок 10.4) активного и пассивного действия.

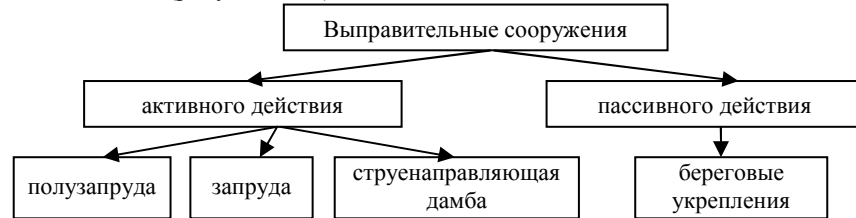


Рисунок 10.4 – Виды выправительных сооружений

Сооружения **активного** действия оказывают существенное воздействие на поток: изменяют направление и величину скорости течения, способствуют размыву донных отложений, обеспечивают углубление дна на перекатах и препятствуют осаждению наносов в пределах судового хода. К ним относятся:

- *Полузапруда* (рисунок 10.5) – представляет собой примыкающее к берегу сооружение, которое перекрывает часть поперечного сечения русла на затруднительном участке. Она перераспределяет расход воды по ширине русла, увеличивает скорость течения по судовому ходу, приводит к размыву дна переката и увеличению глубины.

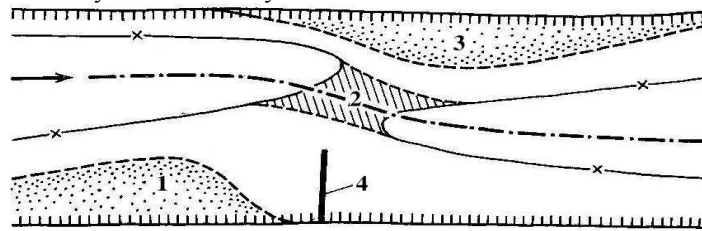


Рисунок 10.5 – Полузапруда на перекате:

1 – верхний побочень; 2 – зона размыва дна; 3 – нижний побочень; 4 – полузапруда

- *Запруда* (рисунок 10.6) – представляет собой сооружение, которое перекрывает несудоходный рукав. Поток воды распределяется в пользу судо-

ходного рукава, увеличивая там скорость течения, под воздействием которой происходит размыв дна и углубление переката.

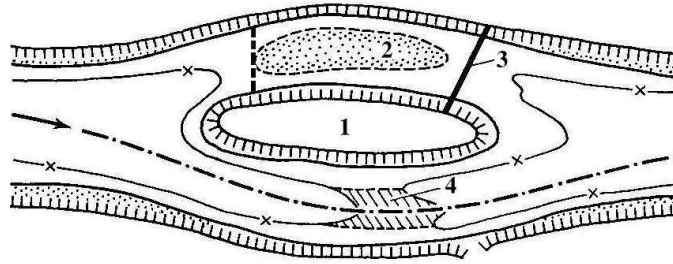


Рисунок 10.6 – Запруды на участке разветвления русла:
1 – остров; 2 – зона отложения наносов в несудоходном рукаве; 3 – запруда;
4 – зона размыва дна в судоходном рукаве

• *Струенаправляющая дамба* (рисунок 10.7) – продольное сооружение, предназначенное для направления течения в сторону судового хода или плавного сопряжения сливающихся потоков. Она ликвидирует свальные течения и предотвращает отложения наносов на судовом ходу.

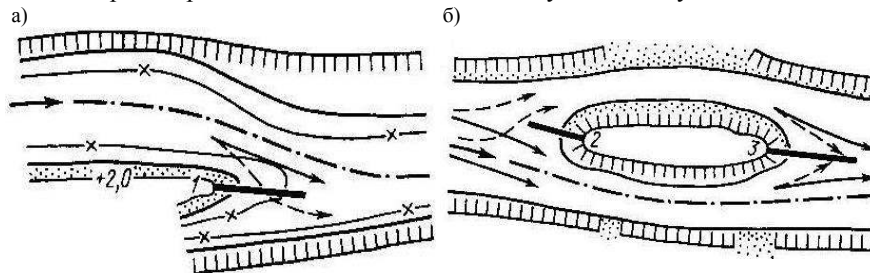


Рисунок 10.7 – Продольная струенаправляющая дамба:
а – в однорукавном русле; б – на участке разветвления русла;
1 – у верхнего побочья; 2 – у приверха острова; 3 – у ухвостья острова

К сооружениям **пассивного** действия относятся *береговые укрепления* (рисунок 10.8). Возводят их для предохранения откоса берега реки от размыва. Заметного воздействия на потоки такое сооружение не оказывает, но способствует уменьшению наносов на расположенные ниже по течению перекаты. Иногда берегоукрепительные работы проводят для создания нового берегового откоса.

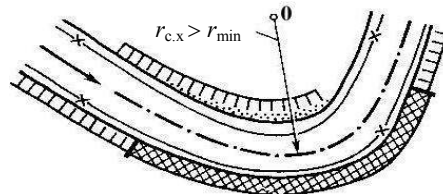


Рисунок 10.8 – Береговое укрепление вогнутого берега с радиусом $r_{c,x}$ поворота судового хода, большим минимального радиуса r_{min}

10.3 Классификация затруднительных участков

Основой классификации затруднительных участков являются признаки, которые характеризуют строение и происхождение этих участков в руслах рек различных видов. В прямолинейных слабо изогнутых однорукавных руслах преобладают перекатные участки, в меандрирующих руслах – сильно извилистые участки, в разветвленных руслах – пойменные участки с беспорядочным скоплением наносов и, наконец, в руслах с неразмываемыми грунтами – участки с каменистым и скальным дном.

Наиболее часто встречающиеся затруднительные участки образуют четыре основные группы:

1) перекатные затруднительные участки с недостаточными судоходными глубинами. В этой группе встречаются: участки с группой перекатов, разделенных короткими плесовыми ложинами (рисунок 10.9); затруднительные перекаты с развитой затонной частью (рисунок 10.10); перекаты-россыпи (рисунок 10.11); сложные перекаты (рисунок 10.12).

На таких перекатах целью работ по улучшению судоходных условий являются создание устойчивых габаритов судового хода в плане путем проведения дноуглубления; улучшение подходов к ним и устранение свальных течений; обеспечение устойчивости элементов переката от деформаций путем их закрепления, а в необходимых случаях повышение песчаных побочней для замедления их перемещения и уменьшения повторяемости дноуглубительных работ; проведение работ по созданию нового судового хода вдоль ведущего берега путем отторжения побочней и ликвидации затонной части и свальных течений;

2) сильно извилистые участки в меандрирующих руслах с мелкими перекатами и недостаточными радиусами кривизны судового хода. Наиболее часто в этой группе при свободном меандрировании встречаются: отдельные сильно искривленные извилины (рисунок 10.13); несколько смежных извилин русла, которые находятся на поздней стадии развития (рисунок 10.14); участок вынужденного изгиба русла у трудноразмываемого коренного берега (рисунок 10.15).

При незавершенном меандрировании часто встречаются извилины с наметившейся во время высоких паводков спрямляющей протокой (рисунок 10.16), с действующей протокой (рисунок 10.17), которая недостаточно развита и не может быть судоходной без большого объема дноуглубительных работ. Данная группа затруднительных участков работы по улучшению судоходных условий включает:

- спрямление одной или группы извилин для создания нового судового хода;

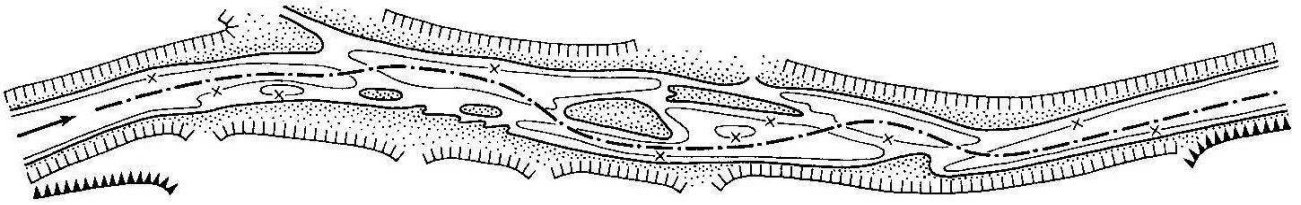


Рисунок 10.9 – Затруднительный участок с группой перекатов, разделённых короткими плесовыми лощинами

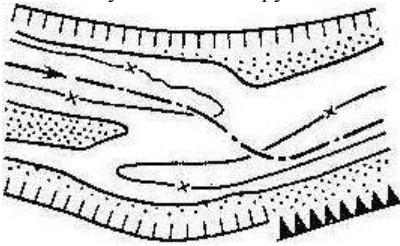


Рисунок 10.10 – Затруднительные перекаты с затонной частью

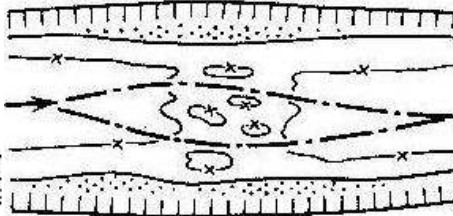


Рисунок 10.11 – Затруднительные перекаты-россыпи

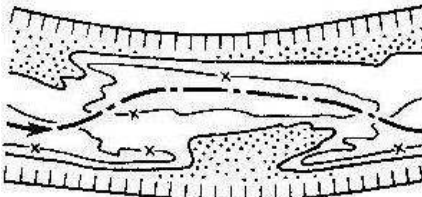


Рисунок 10.12 – Сложный затруднительный перекат

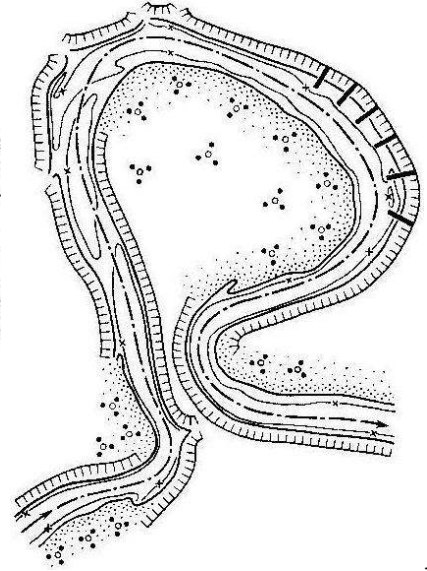


Рисунок 10.13 – Затруднительная извилина русла на поздней стадии развития при свободном меандрировании

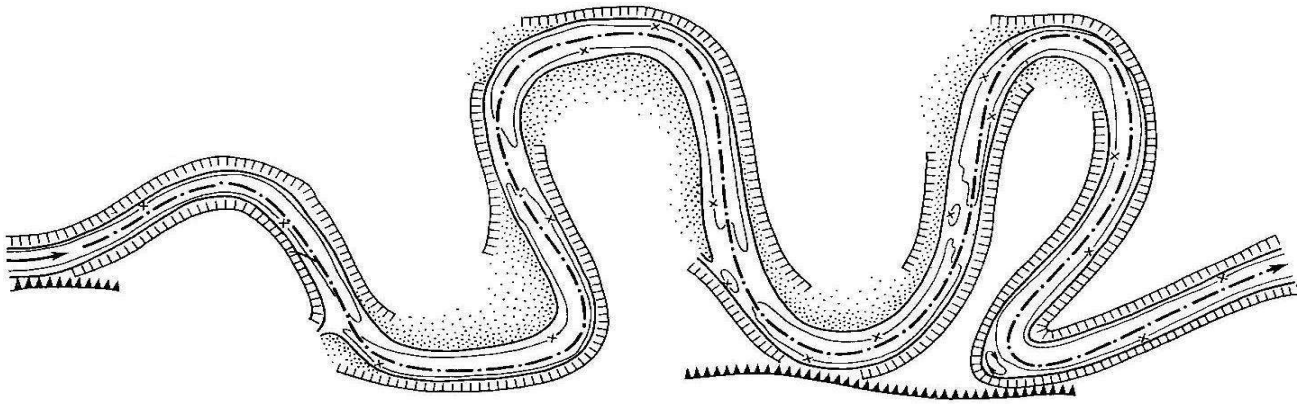


Рисунок 10.14 – Затруднительные смежные извилины русла на поздней стадии развития при свободном меандрировании

88

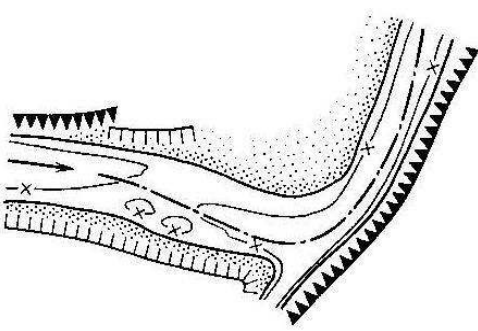


Рисунок 10.15 – Затруднительный участок вынужденного изгиба русла у коренного берега

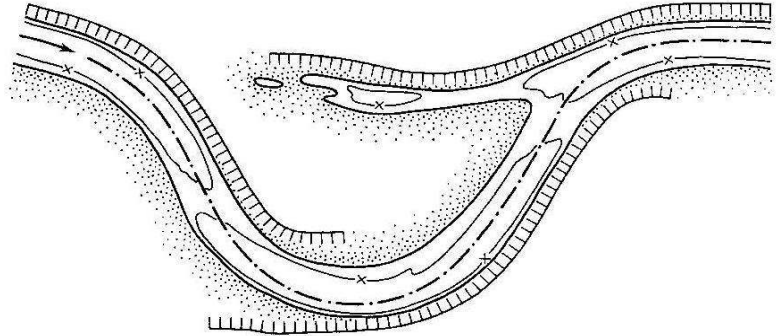


Рисунок 10.16 – Затруднительная извилина на ранней стадии развития при незавершённом меандрировании

- укрепление сильно размываемых берегов извилин, чтобы сохранить благоприятную для судоходства форму русла и увеличить радиус поворота судового хода;
 - увеличение радиуса кривизны судового хода на участках вынужденного изгиба русла;
 - обеспечение устойчивости удобных для судоходства извилин и т. д;
- 3) разветвленные затруднительные участки с перекатами в руслах с пойменной и русловой многорукавностью. В этой группе часто встречаются:
- пойменные двухрукавные разветвления (рисунок 10.18);
 - пойменные многорукавные разветвления (рисунок 10.19);
 - русловые двухрукавные разветвления с аккумулятивным островом (рисунок 10.20);
 - русловые многорукавные разветвления с группой крупных островов и осередков аккумулятивного происхождения с протоками, примерно равными по ширине меженному руслу (рисунок 10.21);
 - русловые многорукавные разветвления с группой мелких островов и осередков с размерами протоков, составляющими долю ширины меженного русла (рисунок 10.22).

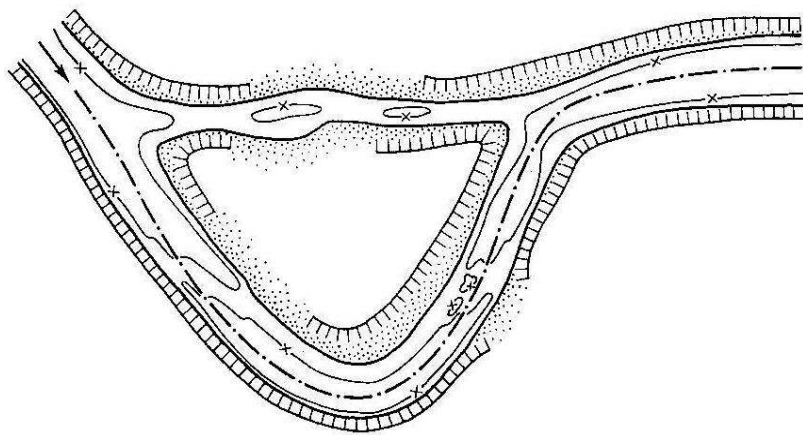


Рисунок 10.17 – Затруднительная извилина с действующей спрямляющей протокой при незавершённом меандрировании

Мероприятиями по улучшению судоходных условий затруднительных участков этой группы являются: перераспределение расходов воды в пользу судоходных рукавов; отвлечение наносов в несудоходные рукава; ликвидация свальных течений (в районе приверха и ухвостья рукавов); значительное углубление судового хода рукавов; перенесение судового хода в разливающиеся несудоходные рукава и др.;

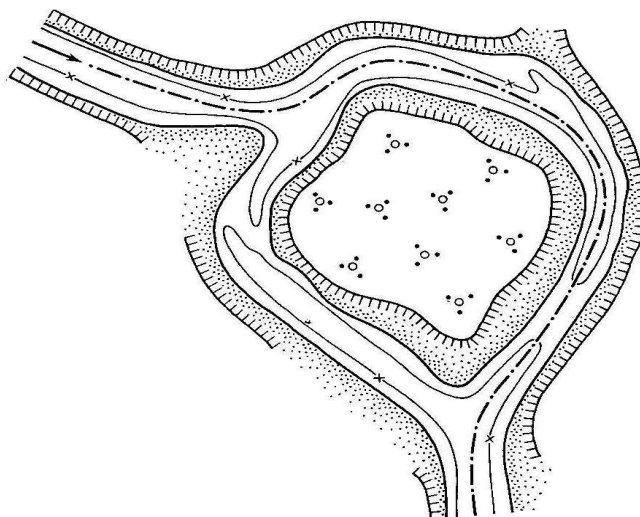


Рисунок 10.18 – Затруднительное пойменное двухрукавное разветвление русла

4) каменистые россыпи (рисунок 10.23), пороги и участки со скальным дном (рисунок 10.24). Основными видами работ по улучшению судоходных условий являются: увеличение глубины судового хода путем удаления камней и валунов; увеличение глубины и ширины судового хода путем разработки капитальной прорези.

10.4 Составление проекта выправления затруднительного участка

Проект коренного улучшения затруднительного участка включает восемь разделов:

1 Гидрологическая (уровни, расход воды, ледовый режим и т. д.) и геоморфологическая (рельеф поверхности русла реки, происхождение, возраст, динамика изменения, состав участка и др.) характеристики участка.

2 Судоходные условия плеса и путевые работы, производимые на участке.

3 Анализ русловых переформирований участка и его затруднительности для судоходства.

4 Расчетные уровни воды и обоснование схем коренного улучшения участка.

5 Анализ результатов лабораторного исследования участка (для уточнения вариантов коренного улучшения участка).

6 Выбор конструкции выправительного сооружения и определение объема выправительных и дноуглубительных работ.

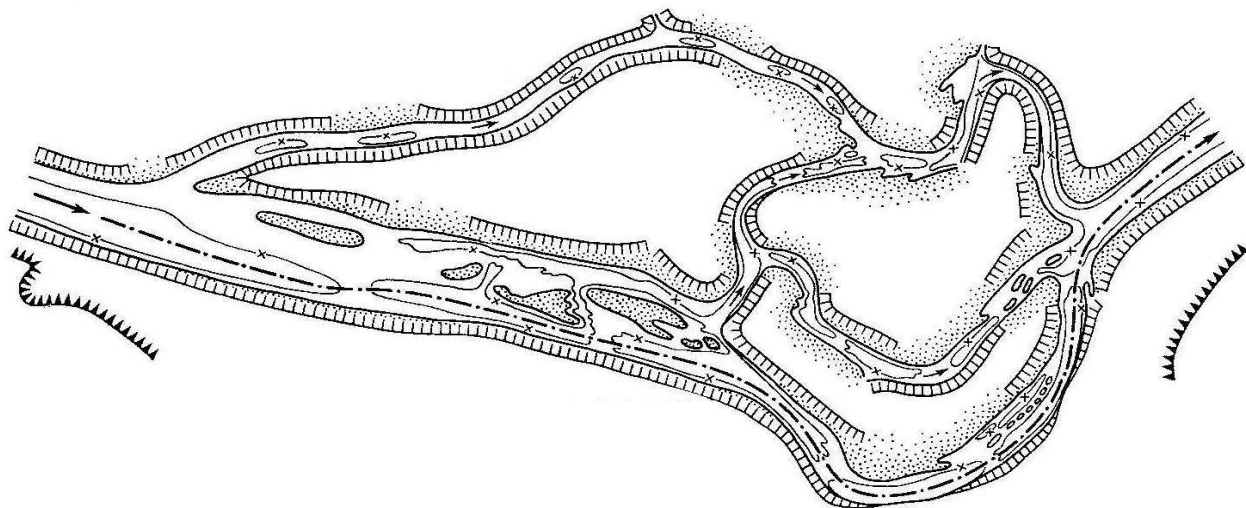


Рисунок 10.19 – Затруднительное пойменное многорукавное разветвление русла

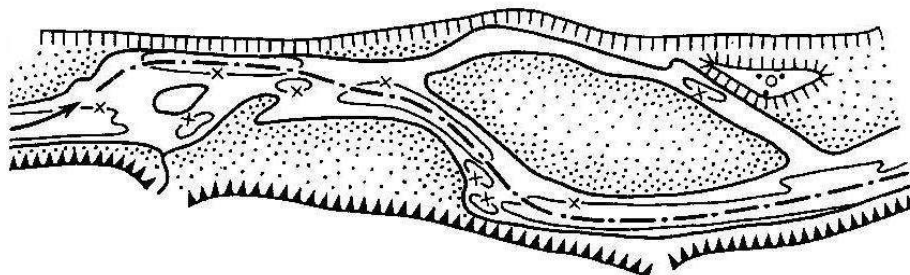


Рисунок 10.20 – Затруднительное русловое двухрукавное разветвление с аккумулятивным островом

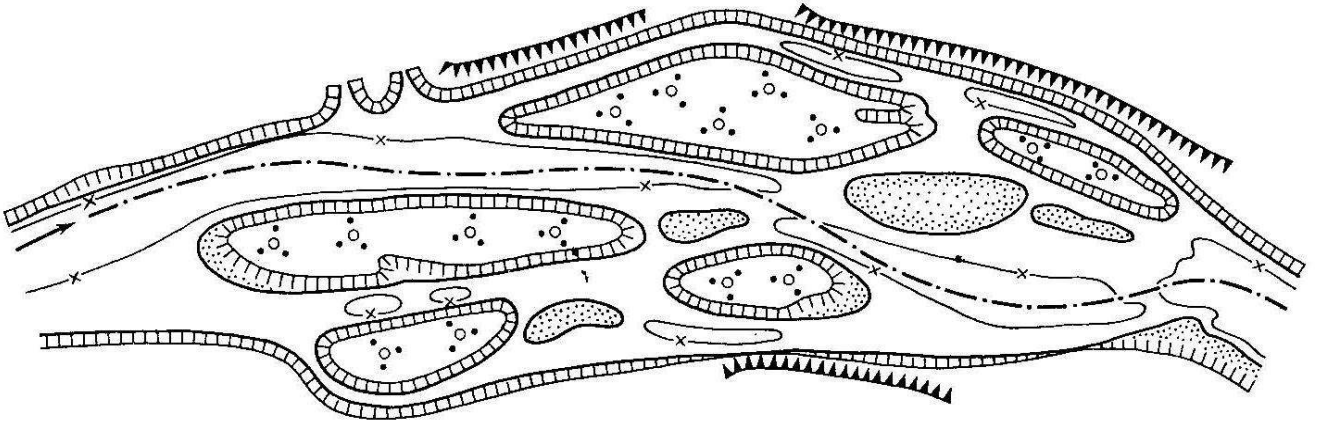


Рисунок 10.21 – Затруднительное русловое многорукавное разветвление с группой аккумулятивных крупных островов и осередков

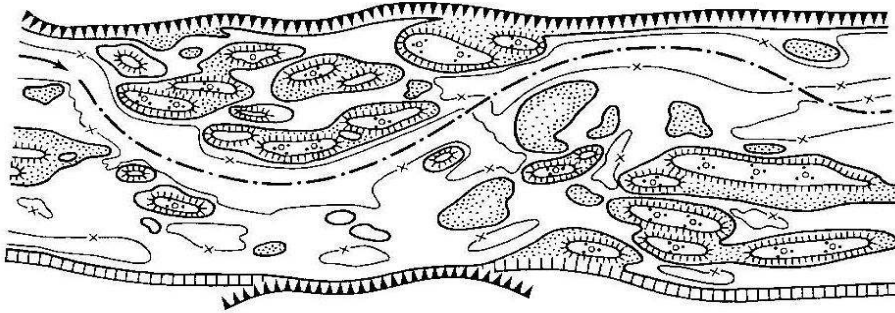


Рисунок 10.22 – Затруднительное русловое многорукавное разветвление с группой аккумулятивных мелких осередков и островов

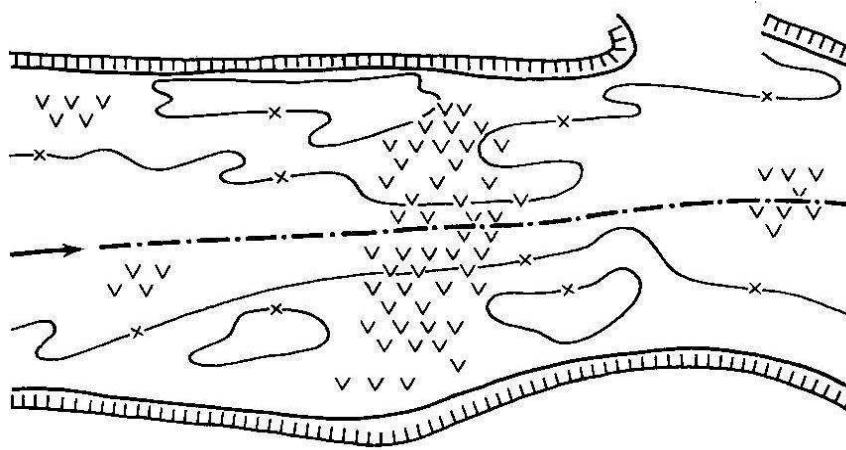


Рисунок 10.23 – Затруднительный участок в виде каменистой россыпи

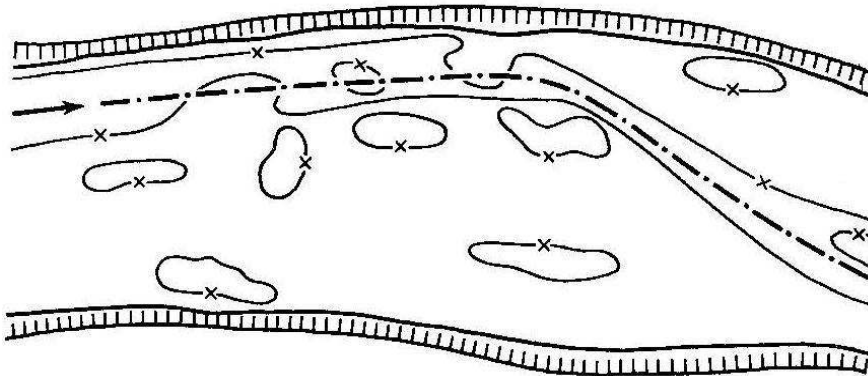


Рисунок 10.24 – Затруднительный участок со скальным дном

7 Организация выправительных работ.

8 Техничко-экономическое обоснование рекомендуемого варианта коренного улучшения участка.

При составлении проекта в качестве исходных данных используют материалы русловых исследований участка, гидрологические данные (колебание уровней и расход воды), гидрографические (лоцманские карты, продольные профили свободной поверхности воды и дна, планы съемки затруднительных участков), гидрометрические данные (распределение скоростей течения и расхода воды по ширине живого сечения и рукавам, состав отложений и др.) и судоходные данные (срывы глубин).

10.5 Расчет ширины и кривизны выправительной трассы

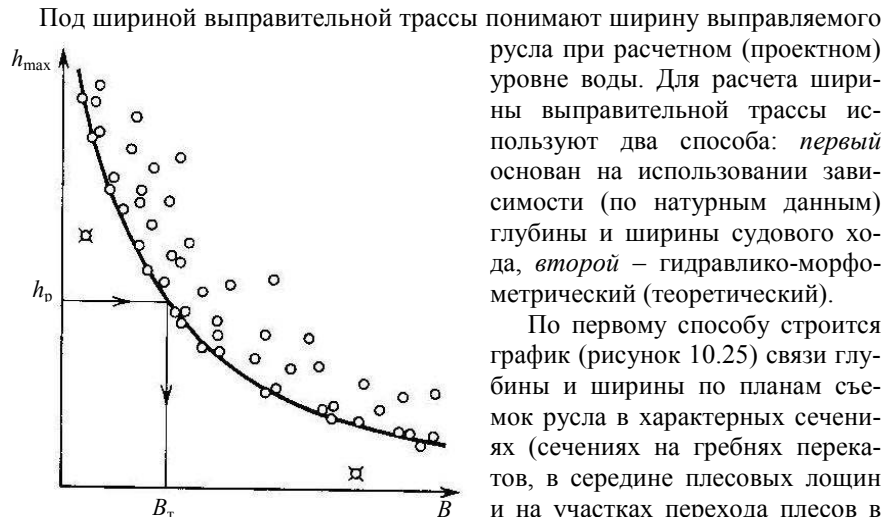


Рисунок 10.25 – График зависимости $h_{\max}=f(B)$

Ширину выправительной трассы определяют по расчетной глубине

$$h_p = T_r + \Delta h, \quad (10.1)$$

где T_r – заданная гарантированная глубина судового хода; если T_r до 2 м, то Δh составит от 0,2 до 0,3 м, если T_r свыше 2 м, то Δh составит от 0,4 до 0,5 м;

Δh – поправка на неточность планового материала (съемки), м.

Второй способ, теоретический, основан на ряде допусков. Например, шероховатость подвижного русла регулируется полностью самим потоком; уклоны свободной поверхности до и после выправления изменяются незначительно; расходы воды, протекающие в бытовом и проектном состоянии, равны. В результате для расчета ширины B_r была выведена следующая упрощенная формула:

$$B_r = B_6 \frac{h_6}{h_n} \frac{c_6}{c_n} \left(\frac{I_6}{I_n} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (10.2)$$

где B_6 – ширина потока по зеркалу воды в бытовом состоянии, м;

h_6, h_n – средняя глубина потока при бытовом и проектном состоянии потока, м;

c_6, c_n – коэффициент Шези при бытовом и проектном состоянии потока;

I_6, I_n – уклон свободной поверхности при бытовом и проектном состоянии потока.

Если $\left(\frac{h_6}{h_n}\right)\left(\frac{c_6}{c_n}\right)\left(\frac{I_6}{I_n}\right)^{\frac{1}{2}}$ заменить на K_c , то выражение (10.2) упростится и будет иметь вид

$$B_T = K_c B_6.$$

Значение K_c можно определить также с помощью кривых обеспеченности ширины русла, строящихся по данным съемок перекатов и перевалов.

При большем числе допусков (например, параболическая форма поперечного сечения русла) формула принимает вид

$$B_T = 1,4 B_6 \left(\frac{h_6}{T_T}\right)^{\frac{3}{2}}. \quad (10.3)$$

Под радиусом кривизны выправительной трассы понимают радиус поворота ее геометрической оси на криволинейном участке русла. Величина радиуса по данным исследований зависит от протекающего расхода воды и продольного уклона. Наиболее часто для расчета радиуса выправительной трассы используется формула В.М. Маккавеева:

$$R_T = 0,0014 \frac{\sqrt{Q_p}}{I_{рф}}, \quad (10.4)$$

где Q_p – руслоформирующий расход воды;

$I_{рф}$ – продольный уклон свободной поверхности при руслоформирующем расходе воды.

При отсутствии данных для определения руслоформирующего расхода воды более упрощенно радиус кривизны можно определить по формуле

$$R_T = (4,5 \dots 5,5) B_T. \quad (10.5)$$

10.6 Работа выправительных сооружений

10.6.1 Работа полузапруд и запруд

Полузапруды являются основными сооружениями, закрепляющими выправительную трассу на затруднительных участках. Работают они в разных режимах.

На свободных реках с высокими паводками полузапруды весной оказываются затопленными (0,5 – 0,1 м над низким уровнем воды) и слабо воздействуют на речной поток. В это время они работают как донные струена-

правляющие сооружения, а в период спада паводка начинают воздействовать на перераспределение расхода воды в пользу выправительного сооружения. По мере снижения уровня воды происходит размыв дна в свободной от сооружения части русла до требуемой судоходной глубины. При низких уровнях воды, когда гребень оказывается незатопленным, полузапруда работает как водостеснительное сооружение, сосредотачивающее весь расход воды в пределах выправительной трассы (рисунок 10.26).

В этом случае следует выделить три основных состояния речного потока:

I – отклонения потока в сторону выправительной трассы;

II – сжатие потока;

III – постепенное расширение потока.

Средние скорости потока на всей стесненной трассе повышаются, по сравнению с бытовыми, не более чем на 20 – 25 %. При таком режиме исключаются резкие деформации русла. На перекате, который на спаде уровня высоких вод должен размываться, скорости должны быть увеличены по всей его длине до размывающей величины для песчаных отложений. Напомним, что это скорости, при которых начинается массовое движение донных частиц. Они примерно в 1,3 раза выше неразмывающей скорости.

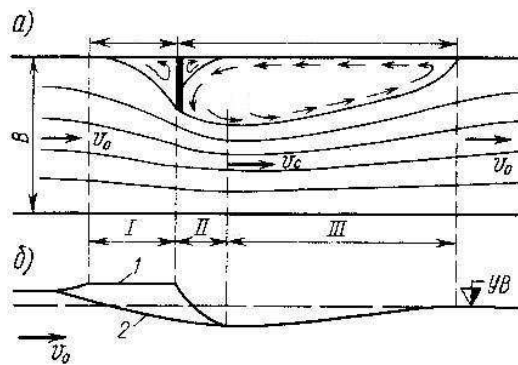


Рисунок 10.26 – Схема обтекания потоком одиночной затопленной полузапруды:

а – план; б – положение свободной поверхности воды вблизи берега, к которому примыкает сооружение, (1) и в свободной части русла (2)

Запруды служат для увеличения расхода воды в судоходных рукавах. В большинстве случаев они являются сооружениями межженного регулирования. Под действием увеличенного расхода воды в судоходных рукавах усиливается саморазмыв гребней перекатов и происходит их углубление.

Отрицательные воздействия могут проявляться при строительстве высоких запруд. В этом случае в судоходный рукав может быть увеличен сток наносов. Иногда отрицательный эффект может быть получен и при запрудах межженного действия, когда в районе сооружения будет иметь место источник наносов (небольшой приток, овраг). Поэтому в таких случаях необходимо тщательно изучать режим твердого стока наносов. С учетом отмеченных режимов работы запруд при проектировании важное значение имеет выбор створа ее возведения в несудоходном рукаве.

С гидравлической точки зрения запруду целесообразно возводить в нижней части рукава, если островной берег будет надежной опорой для корня запруды (см. рисунок 10.6). При таком ее расположении весь несудоходный рукав является зоной отложения наносов, т.к. скорости уменьшаются по мере подхода потока к створу запруды. Расположение запруд в верхней части (см. пунктир на рисунке 10.6) менее целесообразно, т.к. мало остается места для отложения наносов и будет происходить их вынос на судовой ход.

10.6.2 Продольные сооружения из грунта

Продольные дамбы в зависимости от морфологических особенностей затруднительных участков имеют различное назначение и расположение и по-разному влияют на поток и русло реки.

Дамбы, перекрывающие (изолирующие) побочные протоки (см. рисунок 10.7, *а*) и затонные части перекатов, устраняют растекание потока и направляют его на выправительную трассу, обеспечивая достаточные скорости течения в районе судовой ходы. Наносы проходят транзитом из верхней плесовой ложины через гребень переката в нижнюю плесовую ложину, обеспечивая гарантированные глубины.

Дамбы, возводимые у приверха и ухвостья островов (см. рисунок 10.7, *б*), регулируют движение потоков и наносов. При этом создаются хорошие условия деления и соединения потоков, отвлечения наносов в несудоходные рукава, размыва гребней перекатов в судоходных рукавах.

Продольные дамбы могут соединять острова (рисунок 10.27, *а*), побочни и осередки (рисунок 10.27, *б*) в большие массивы, создавать благоприятные условия для основного потока выправительной трассы и способствовать углублению дна реки.

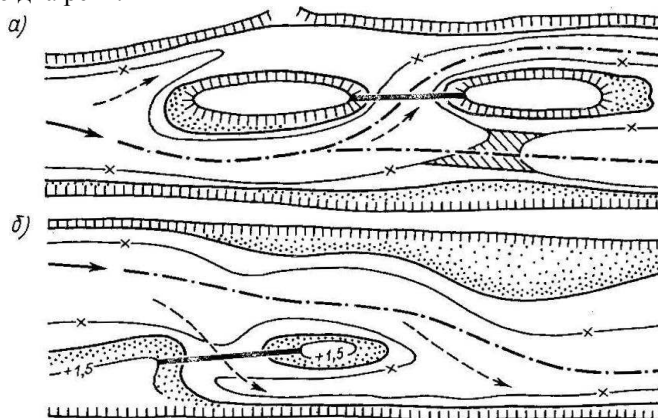


Рисунок 10.27 – Продольные струенаправляющие дамбы:
а – между смежными островами; б – между побочником и осередком

Наиболее часто встречаются продольные струенаправляющие дамбы, которые сооружают на перекатах с целью изоляции затонской части от верхних плесовых ложин. Это, как правило, грунтовые, намывные и насыпные сооружения. Работа их заключается в ликвидации свальных течений в затонскую часть и направлении основного течения по выправительной трассе. Это способствует улучшению судоходных условий и сохранению судового хода.

10.6.3 Береговые укрепления на реках

Береговые укрепления возводят при коренном улучшении затруднительных участков в речных руслах различных типов, часто в извилистых руслах. Основная их задача – защита вогнутых берегов от размыва. Эту задачу выполняют

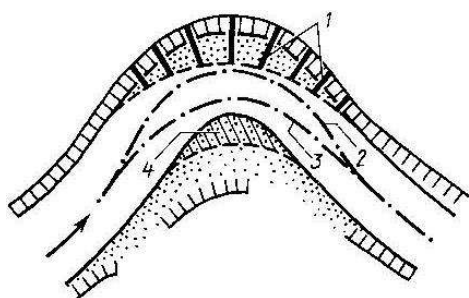


Рисунок 10.28 – Создание нового берегового откоса у вогнутого берега с недостаточным радиусом поворота судового хода:

- 1 – берегоукрепительные шторы;
- 2 – старый судовый ход; 3 – новый судовый ход;
- 4 – зона размыва песков выпуклого берега

сооружения активного и пассивного действия. Первые оказывают воздействие на структуру потока в районе берега с помощью берегозащитных штор из коротких высоких полузапруд (рисунок 10.28). Такая система полузапруд (штор) способствует уменьшению скоростей течения вдоль защищенного берега и приводит к уменьшению или предотвращению размыва, а в ряде случаев к формированию нового берегового откоса после заполнения наносами промежутков между шторами.

Пассивные укрепления (см. рисунок 10.8) представляют собой различные береговые покрытия. Они защищают от размыва берега, закрепляют благоприятное для судоходства положение размываемого берега или защищают активные выправительные сооружения в местах их примыкания к берегу. Береговые покрытия могут быть сплошными (по всей линии размыва) или ленточными (закрепляют отдельные части берегового откоса). Сплошные береговые укрепления наиболее эффективны на реках с невысоким по продолжительности паводком. Это дорогостоящие конструкции, и необходимость их сооружения оправдана, если они служат нескольким отраслям народного хозяйства.

10.7 Возведение выправительных сооружений

Конструкцию выправительных сооружений (приложение Г) выбирают в зависимости от расчетного срока службы, местных условий затруднительного

участка (глубина русла, скорость течения, наличие местных строительных материалов, оборудования для их возведения и т. д.).

Различают следующие конструкции выправительных сооружений: из каменной наброски; из грунта (намывные и насыпные); свайные и свайно-грунтовые.

Полузаграда *из каменной наброски* в профиле имеет форму трапеции (рисунок 10.29).

По гребню ширина полузаруды составляет 1,5 – 4 м, напорные откосы сооружают с уклоном 1:1 – 1:5 м, сливные – от 1:15 до 1:2, откос головы сооружения – с уклоном от 1:3 и более. Гребню полузаруды придается продольный уклон 1:100 – 1:300 (рисунок 10.30).

При сооружении полузаруды предварительно в основании укладывают растилочный хворостяной тюфяк толщиной 0,35 – 0,45 м и его загружают камнем. Растилочный тюфяк устраивают с выпуском из-под тела полузаруды на 2 – 4 м с верховой стороны и 5 – 10 м с низовой стороны, чтобы обеспечить надежную защиту основания от выноса мелких частиц грунта через поры каменной наброски. Иногда растилочные тюфяки не применяют (на второстепенных полузагрудах) или вместо них применяют слой мелкого материала (щебня, гравия).

Заграда из каменной наброски в поперечном сечении имеет также форму трапеции. Значения параметров ширины гребня и откосов – примерно те же, что и у полузаруды.

Струенаправляющие дамбы из каменной наброски возводятся реже, чем полузаруды и заруды. Они имеют аналогичную конструкцию и размеры. Различаются только отдельными параметрами (в частности, продольными уклонами гребня).

Выправительные сооружения из камня обычно экономически целесообразны при наличии местного камня (на расстоянии 80 – 100 км), поэтому наиболее часто применяют сооружения *из грунта*. Эти дешевые сооружения из грунта могут быть намывными (с использованием землесосов) и насыпными (с применением многочерпаковых или грейферных снарядов) или комбинированными. Ширина гребня при насыпных грунтовых сооружениях достигает 4 – 6 м, уклоны откосов – 1:2 – 1:4. При намыве ширина гребня составляет 6 – 15 м, уклоны откосов – 1:3 – 1:15. При необходимости долговременной работы гребень, а иногда откосы укрепляют щебнем, гравием, галькой, реже каменной наброской и хворостяным тюфяком.

Свайные и свайно-грунтовые сооружения применяются в качестве полузаруд, заруд и берегоукрепительных штор. По конструкции они подразделяются на сквозные, сплошные и свайно-грунтовые. Сквозное свайное сооружение представляет собой конструкцию, когда сваи могут располагаться в шахматном порядке или составлять несколько параллельных рядов с интервалом 1 – 2 м. Число свайных рядов при этом способе принимают от 2 до 4.

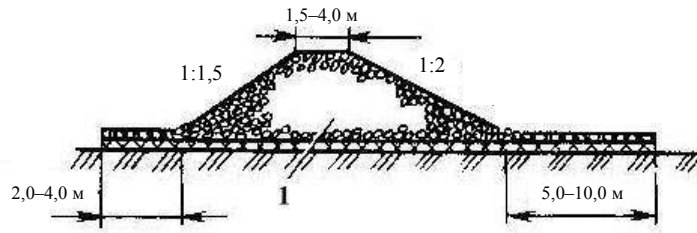


Рисунок 10.29 – Поперечное сечение полузапруды:
1 – каменная наброска с облицовкой из крупных камней по гребням и откосу

100

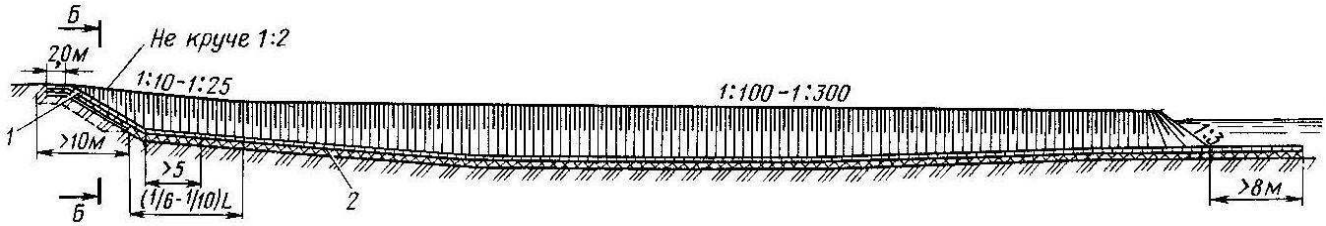


Рисунок 10.30 – Полузапруды из каменной наброски на хворостяном тюфяке:
1 – двойная мостовая на слое обратного фильтра; 2 – расстилочный тюфяк с пригрузкой камнем

Расстояние между сваями в ряду равно 0,8 – 1 м. Отметка гребней такого сооружения определяется расчетом. Для укрепления основания конструкции применяют расстилочный тюфяк или слой мелкообломочного материала (рисунок 10.31).

Сплошное свайное сооружение представляет собой стену из свай, забитых вплотную друг к другу. Для защиты сооружения от подмыва используется хворостяной тюфяк и каменная наброска.

Свайно-грунтовые сооружения представляют собой конструкцию, когда в качестве рабочей части делают сплошную стенку из свай, а затем намывают грунтовую призму.

При этом большая часть грунтового тела намывается выше свайного ряда. Верх сооружения укрепляется галькой или гравием. Размываемые берега укрепляют посевом быстро растущих трав, кустарников и деревьев, хворостяными тюфяками, камнем и мелкообломочными материалами, бетоном, железобетонными плитами, асфальтом, химическими и синтетическими материалами (в стадии опытного применения). Для этого откос берега соответствующим образом готовится.

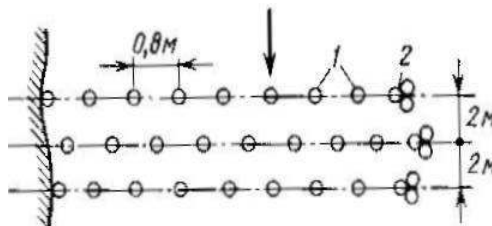


Рисунок 10.31 – Свайная сквозная полузапруда:
1 – одиночные сваи; 2 – куст свай

11 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПУТЕВЫХ РАБОТ

11.1 Общие положения

Проектным документом, на основании которого планируются путевые работы на многолетний период, является перспективная схема улучшения судоходных условий на внутренних водных путях. Составляется перспективная схема на 15 – 20 лет и корректируется через 5 – 10 лет. Этим документом определяется: оптимальное положение оси судового хода; положение выправительной трассы с обоснованием габаритных размеров водного пути; принципиальные схемы улучшения затруднительных участков; ориентировочные объемы работ и примерные сроки их наступления. Иными словами, перспективная схема улучшения судоходных условий определяет основные контуры путевых работ, т.к. непрерывность руслового процесса и деформации русла и поймы реки не позволяют точно спрогнозировать трассу и компоновку выправительных работ. Поэтому для реализации перспективной схемы предприятий водных путей составляются годовые производственно-оперативные планы путевых работ.

11.2 Принципы планирования путевых работ

Уже говорилось о том, что Положением о дноуглубительных работах к единому комплексу дноуглубления относят: землечерпательные, выправительные и скалоуборочные работы. Поэтому планирование путевых работ ориентировано на производство землечерпания.

На свободных реках, у которых половодье наступает весной вследствие таяния снегов, землечерпательные работы выполняют в три периода: весенний, подготовительный, меженно-осенний (рисунок 11.1).

Весенний период работ начинается с открытием навигации и заканчивается на спаде половодья при наступлении рабочих уровней землечерпания,

когда глубина опускания грунтозаборных устройств достаточна для разработки прорези до проектного дна.

Подготовительный период начинается с наступлением рабочих уровней землечерпания и завершается при уровнях, на 25 % превышающих проектную величину гарантированной глубины, но не более 0,5 м.

Меженно-осенний период начинается в конце подготовительного периода до окончания навигации. В этот период выполняют ремонт (подчистку) прорезей.

На реках, не имеющих половодий, но характеризующихся летне-осенними паводками, различают такие периоды выполнения путевых работ (рисунок 11.2):

1) весенний, который длится от открытия навигации до наступления летних паводков. В этот период производят ремонтные работы, а при возможности разрабатывают прорези по коренному улучшению судоходных условий;

2) летне-осенний – от наступления летних паводков до начала спада осеннего паводка. Судоходные глубины достаточны, и земснаряды могут быть использованы на капитальных и внутранзитных работах.

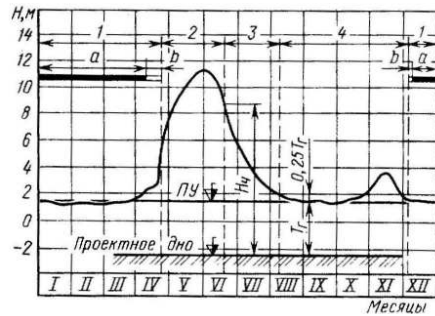


Рисунок 11.1 – Периоды путевых работ на реках с весенним половодьем:

1 – зимний (а – ледостав, б – ледоход); 2 – весенний;
3 – подготовительный; 4 – меженно-осенний

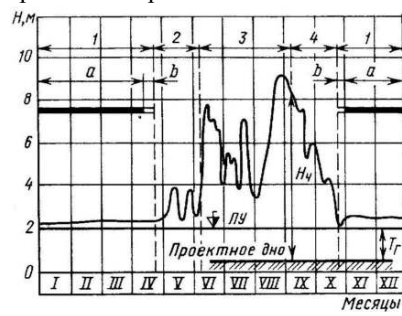


Рисунок 11.2 – Периоды путевых работ на реках с летне-осенними паводками:

1 – зимний (а – ледостав, б – ледоход); 2 – весенний;
3 – летне-осенний; 4 – подготовительный

Подготовительный – начинается в пик осеннего паводка, после которого идет спад уровней и длится до конца навигации. В подготовительный период восстанавливают прорези на перекатах, занесенные летне-осенним паводком.

11.3 Производственно-оперативный план путевых работ

Основными задачами производственно-оперативного плана путевых работ являются: уточнение объемов работ, последовательность их выполнения

и выбор оптимального варианта расстановки технических средств. Он включает все виды работ, выполняемых на обслуживаемых реках. План является руководящим документом для прорабов участков при составлении декадных планов путевых работ. В декадных планах учитываются отклонения фактического графика хода уровней воды от принятого и русловые деформации по последним съемкам. Производственно-оперативный план включает 11 разделов:

А. Введение. Содержит объем перевозок на навигацию. Обосновывает прирост работ в соответствии с планом эксплуатационной деятельности.

Б. Распределение технических средств. На основе объемов землечерпательных работ земснаряды распределяются по участкам рек, при этом объемы землечерпания делятся по видам и периодам навигации. С учетом времени лимитирования перекаатов по глубинам в разделе определены сроки разработки прорезей и составляется календарный график расстановки технических средств в подготовительный период.

В. План дноуглубительных работ по коренному улучшению судоходных условий. В нем работы разделены на три очереди. В первую очередь выполняются работы при любых неблагоприятных гидрологических условиях, т.е. без этих работ нельзя обеспечить нормальные судоходные условия. Вторую очередь составляют работы, выполняемые при расчетных условиях навигации (75 % обеспеченности уровней). К третьей очереди относят работы, которые производятся при благоприятных гидрологических условиях.

Г. Внетранзитные дноуглубительные работы. Эти работы выполняют также в три очереди: первая очередь – углубление подходов к портам, пристаням, причалам (выполняют при любых гидрологических условиях). Вторая очередь – разработка акватории затонов и остановочных пунктов и подходов к ним. Эти работы включают в производственно-оперативный план по заявкам пароходств. Эти работы обязательны при расчетных гидрологических уровнях. Третья очередь – работы по заявкам предприятий, не входящих в систему речных пароходств.

Д. Пообъектный план строительства выправительных сооружений, объемы скалоуборки и берегоочистения.

Е. Судоходная обстановка, дноочистение и траление. В разделе указываются протяженность обслуживаемого участка по типам навигационного оборудования, сроки дноочистительных и тральных работ, приводятся графики инспекторских осмотров пути.

Ж. Путевые работы на малых реках.

З. Внедрение новой техники.

И. Мероприятия по охране окружающей среды.

К. Организационно-технические мероприятия (повышение качества путевых работ, улучшение технического состояния и технической эксплуатации вспомогательного флота, работа с кадрами, охрана труда и т.д.).

Л. Мероприятия по предупреждению аварийности (разрабатываются по согласованию с судоходной инспекцией).

Производственно-оперативные планы могут включать также проекты коренного улучшения судоходных условий на затруднительных участках, графики работы обстановочных бригад и др.

11.4 Календарный график расстановки технических средств

Основная цель разработки календарного графика расстановки технических средств – достижение оптимальной очередности разработки прорезей на закрепленном участке водного пути по срокам и объемам землечерпательных работ. Календарный план разрабатывается с учетом прогнозируемых дат открытия навигации, времени лимитирования перекатов по глубинам. При этом учитываются объемы землечерпательных работ, род грунта, производительность земснарядов. Для составления календарного графика используют расчетные данные о времени хода технических средств, продолжительности разработки прорезей или других элементов участка реки. Календарный график отражает следующую информацию (рисунок 11.3): наименования объектов работ; километры водного пути, где производятся работы; тип земснаряда, направляемого для выполнения путевых работ; календарные сроки выполнения работ на том или ином объекте; последовательность выполнения работ отдельными земснарядами.

Основная цель разработки календарного графика расстановки технических средств – достижение оптимальной очередности разработки прорезей на закрепленном участке водного пути по срокам и объемам землечерпательных работ. Календарный план разрабатывается с учетом прогнозируемых дат открытия навигации, времени лимитирования перекатов по глубинам. При этом учитываются объемы землечерпательных работ, род грунта, производительность земснарядов. Для составления календарного графика используют расчетные данные о времени хода технических средств, продолжительности разработки прорезей или других элементов участка реки. Календарный график отражает следующую информацию (рисунок 11.3): наименования объектов работ; километры водного пути, где производятся работы; тип земснаряда, направляемого для выполнения путевых работ; календарные сроки выполнения работ на том или ином объекте; последовательность выполнения работ отдельными земснарядами.

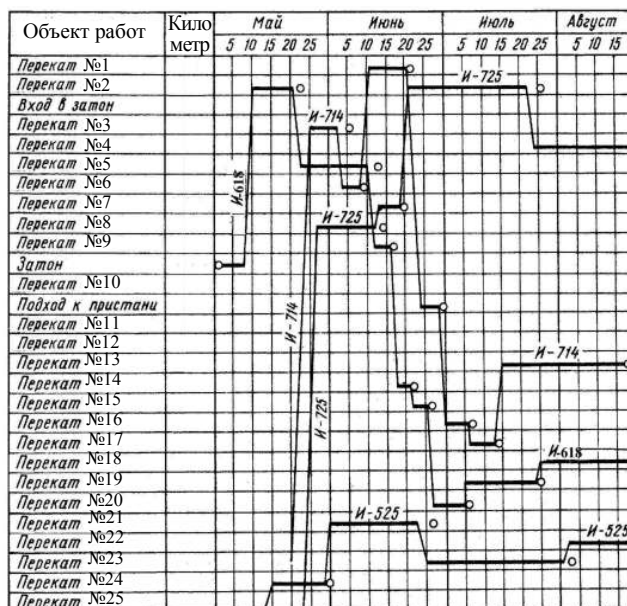


Рисунок 11.3 – Календарный график разработки перекатов земснарядами в границах прорабского участка на подготовительный период

11.5 Наряд-здание на выполнение путевых работ

Нормативным документом на разработку землечерпательной прорези является наряд-здание, выдаваемый прорабом путевых работ. Наряд-здание составляется на основе плана переката, плана прорези, таблиц объемов извлекаемого грунта (таблица 11.1). К наряду прилагается план переката или участка реки, на котором запроектирована прорезь (рисунок 11.4). На плане указывают наименование реки и переката, дату съемки и промера глубин, срезы уровней, местонахождение и отметки реперов. На плане наносят также оси отвалов грунта, намываемых сооружений и контуры прорези.

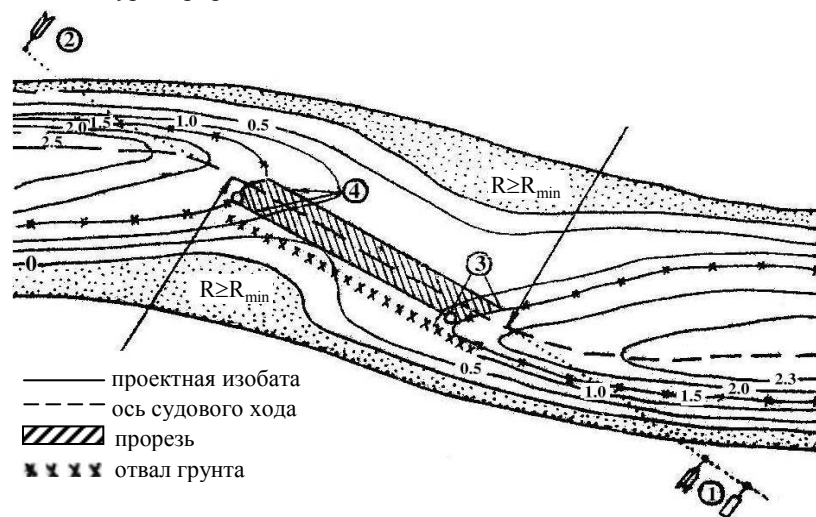
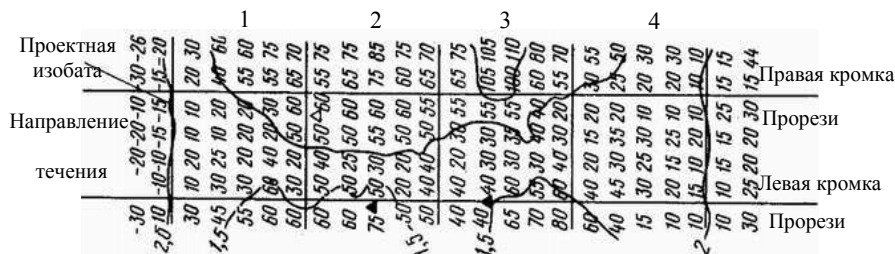


Рисунок 11.4 – План участка реки

Таблица 11.1 – Объем дноуглубительных работ

Расчетные параметры	Номер серии			
	1	2	3	4
Длина участка, м				
Ширина прорези, м				
Площадь участка, м ²				
Площадь, проходимая без дноуглубления, м ²				
Средняя толщина снимаемого слоя, м				
Объем выемки грунта, м ³				
Объем на неровность выемки, м ³				
Объем на оползание откосов, м ³				
Общий объем, м ³				

Контуры прорези обозначаются продольными и поперечными створами. Для определения объема выемки грунта составляют укрупненный план прорези в масштабе 1:1000 – 1:2000 (рисунок 11.5). Это основной документ наряда-задания. План прорези вычерчивают в изобатах относительно перекаточного уровня воды. Продольные промерные профили располагают через 10 – 15 м и обязательно по кромкам и оси прорези. На плане записываются толщины слоя грунта над проектным дном, подлежащего удалению. Кроме этого на плане указывается дата съемки, расположение обстановочных знаков, лимитирующий по глубине участок судового хода, глубину на перекате на день промеров.



Номера серий	1	2	3	4	По всей прорези
Длина участка, м	100	100	100	100	400
Ширина прорези, м	80	80	80	80	80
Площадь участка, подлежащая углублению, м ²	8000	8000	8000	8000	32000
Площадь, проходимая земснарядом без углубления, м ²	-	-	-	-	-
Средняя толщина снимаемого слоя, м	0,30	0,49	0,42	0,21	0,35
Объем выемки грунта, м ³	2400	3920	3360	1680	11360
Объем на неровность выработки, м ³	800	800	800	800	3200
Объем на оползание откосов крайних траншей, м ³	-	-	30	-	30
Полный объем, м ³	3200	4720	4160	2480	14590

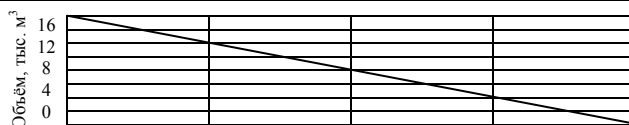


Рисунок 11.5 – Укрупненный план прорези и интегральная кривая объемов выемки грунта

По длине прорезь разбивают на участки по 50 – 100 м. По каждому участку подсчитывают площадь, среднюю толщину снимаемого слоя (опреде-

ляется как среднее арифметическое из всех толщин, получаемых промерами), объем выемки грунта с учетом обеспечения запаса на неровность. Результаты расчетов заносят в таблицу 11.1.

Данные о параметрах прорези, средней толщине снимаемого слоя, объеме грунта заносятся в соответствующую графу наряда - задания. В задании указываются сроки выполнения работ, валовое время, расчетная производительность земснаряда, время на производственно – технические остановки (перекладка якорей, смена грузозаборных устройств), очередность ведения работ и другие данные. Наряд - задание составляется обычно на весь объем работ (перекат, вход в порт, затон и так далее). Иногда, в зависимости от продолжительности работ и неустойчивости русла, они выполняются в несколько этапов и при этом составляется новое задание.

11.6 Пути повышения эффективности путевых работ

На реках с интенсивным землечерпанием, забором песка и гравия для нужд строительства значительно снижается меженный уровень воды. Это влечет за собой уменьшение глубин в районах подводных переходов, у причалов портов, усложняется работа гидротехнических водозаборных сооружений, т.е. наступают негативные последствия. В связи с этим работы по добыче минерально-строительных материалов должны вестись *по проектам*. Проекты должны быть согласованы с соответствующими органами. В проектах отражаются мероприятия по предотвращению снижения уровня воды. Это один из путей повышения эффективности путевых работ. Второй путь – проведение работ по коренному улучшению судоходных условий. Эти работы должны выполняться также по проекту, в котором прорабатываются необходимые мероприятия по предупреждению снижения меженных уровней воды и дается их технико-экономическое обоснование. Такие работы следует проводить в тех случаях, когда очевидна экономическая эффективность увеличения пропускной способности водного пути. В условиях приближения гарантированных глубин к гидравлическому пределу целесообразно проведение комплекса работ по улучшению судоходных условий, например, таких, как землечерпание и выправление.

Следующим важным направлением повышения эффективности производства путевых работ является *совершенствование планирования и организации путевых работ*. Здесь прежде всего необходим рациональный подбор технических средств и их расстановка. Календарный план расстановки земснарядов, который составляется на основе расчетного графика спада уровней, не учитывает реальной ситуации и всегда требует корректировки. На повышение эффективности производства путевых работ влияет совершенствование технологии их производства и, прежде всего, сокращение производ-

ственно-технических остановок по причине пропуска судов, ожидания шаланд, перестановки грузозаборных устройств и др.

Немаловажную роль в повышении эффективности путевых работ играет построение дифференцированных кривых габаритных размеров водного пути (дифференцированных глубины и ширины). Суть этих кривых рассмотрим на примере дифференцированных глубин. Известно, что имеются водные пути с гарантированными габаритными размерами и без гарантии. Для установления гарантированных глубин используют данные о наименьших глубинах на участке реки, наблюдавшихся на спаде уровней в течение нескольких последних лет. При этом строят кривые связи между глубинами и уровнями за 3 – 5 последних навигаций. Строят их отдельно за каждый год. Точки с наименьшими глубинами, обусловленными случайными причинами (неточность расстановки знаков навигационного оборудования, несвоевременность выполнения работ на прорези и т. д.), исключаются. На основании этих кривых, а также интегральных кривых объемов землечерпания, кривых спада уровней, кривых приращиваемых глубин получают кривые эффективности дноуглубительных работ. По ним определяют периоды, когда эти работы можно увеличить и когда их можно ограничить, т.е. устанавливают периоды, когда выполнением сравнительно небольшого объема дноуглубления можно достичь достаточного прироста глубин.

11.7 Перспективы развития и совершенствования путевых работ

Основными перспективными направлениями развития и совершенствования путевых работ являются:

- Создание устойчивых, постоянных по своему положению судовых ходов. В связи с этим необходимо повысить роль выправительных работ, которая в общем объеме путевых работ незаслуженно мала. На некоторых участках рек без строительства выправительных сооружений нельзя компенсировать понижение уровня воды и достичь судоходных глубин. Одной из причин сдерживания этих работ является их строительная трудоемкость. В связи с этим просматривается другая проблема: создание специальных машин и широкое использование дешевых сборочных материалов и конструкций для крепления поверхности сооружений (из асфальта, синтетических материалов и др.).

- Повторное дноуглубление, скалоуборка и др. наносят ущерб природе. Поэтому в связи с возросшими требованиями к охране окружающей среды, и в частности рек, встает задача проведения разовых работ за период навигации по разработке перекатов.

- Модернизация и создание новых типов землечерпательного флота. В основу таких конструкций должны быть заложены принципы энергосбере-

жения, новые принципы рыхления, извлечения и удаления грунта, повышение надежности оборудования и автоматизации процесса дноуглубления. Например, за рубежом считают наиболее эффективным секционный земснаряд, не имеющий обычного корпуса. Конструкция состоит из понтонов, связанных между собой системой ферм и балок. Все энергетическое оборудование монтируется на одном понтоне. Такая конструкция легко монтируется, позволяет получить любую длину и меньшую осадку, упрощается её эксплуатация. Дальнейшее развитие должны получить земснаряды с транспортным отводом грунта и с подвесными грунтоотводами, которые необходимы для работы на реках с глубинами, близкими к гидравлически предельным.

- Механизация и автоматизация тральных и дноочистительных работ, включая такие системы, как лазерные тралы, эхотралы и др.

- В области навигационного оборудования водных путей: дальнейшее совершенствование конструкции навигационных знаков и светосигнальных приборов (применение разборных, капитальных, непотопляемых конструкций), с целью экономии древесины расширять применение стеклопластика для изготовления щитов, вех, буев. Совершенствование светосигнальных приборов включает также применение малогабаритных источников питания, резервирование источников питания и энерголамп, дистанционное управление и др.

12 СУДОХОДНЫЕ ШЛЮЗЫ И СИСТЕМЫ ИХ ПИТАНИЯ

12.1 Типы судоходных шлюзов, составные части и их назначение

Судоходные шлюзы предназначены для преодоления судами разницы уровней при переходе из одного бьефа в другой. Тип шлюза определяется числом и взаимным расположением камер, посредством которых суда преодолевают перепад уровней. Пропуск судов и составов через шлюз называется шлюзованием.

По числу камер последовательного шлюзования судов шлюзы могут быть *однокамерными* или *многокамерными* (многоступенчатыми). В однокамерном шлюзе суда преодолевают сразу весь перепад уровней верхнего и нижнего бьефов. В многокамерном этот перепад разделен между камерами с промежуточными уровнями. Строят такие шлюзы, когда в них появляется необходимость (по геологическим, водохозяйственным и другим условиям).

По числу камер параллельного шлюзования (одновременного) шлюзы могут быть *однониточными*, *двухниточными* и *многониточными*. На реках со значительным грузооборотом камеры строят с двумя и более нитями шлюзования.

Основными частями шлюзов являются камеры, головы и причально-направляющие устройства. *Камеры* шлюзов представляют собой отрезки каналов, ограниченные по концам головами, в поперечном сечении – стенами и днищем и обеспечивающие быстрое изменение уровня воды. Процесс повышения уровня воды в камере от уровня нижнего бьефа (НБ) до верхнего (ВБ) или смежной камеры называется наполнением, обратный – опорожнением. В камерах располагают причальные устройства, обеспечивающие безопасное вертикальное перемещение судов.

Головы шлюзов являются напорными сооружениями, позволяющими поддерживать в камерах необходимые уровни воды и пропуск судов в камеру. Судопропускные отверстия перекрываются затворами, которые называются воротами шлюза. В головах шлюза располагаются водонапорные уст-

ройства и системы управления шлюзом. Голова шлюза между верхним бьефом и камерой называется верхней, а между камерой и нижним бьефом –

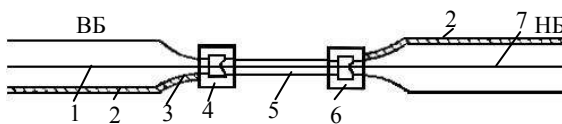


Рисунок 12.1 – Однокамерный шлюз с подходными каналами:

1 – верхний подходный канал; 2 – причальная линия; 3 – направляющая пала; 4 – верхняя голова; 5 – камера; 6 – нижняя голова; 7 – нижний подходный канал

нижней. Схема однокамерного шлюза с подходными каналами приведена на рисунке 12.1.

Работает шлюз следующим образом. Камера шлюза через водоводы или из-под затвора в верхней голове запол-

няется водой. Когда уровень воды в камере сравнивается с уровнем воды в верхнем бьефе, ворота верхней головы открываются. Судно заходит в камеру и ворота верхней головы закрываются. Камера опорожняется в нижний бьеф через галерею в нижней голове или через отверстия в нижних воротах. Когда уровень воды в камере и нижнем бьефе выравнивается, открываются ворота в нижнем бьефе и судно выходит в нижний бьеф.

12.2 Параметры судоходных шлюзов

Основными параметрами шлюза являются длина и ширина камеры шлюза и глубина на пороге. Размеры камеры шлюза зависят от параметров плавающих судов и определяются по следующим формулам:

длина камеры

$$L_k = \sum_1^n L_c + \sum_1^{n+1} \Delta l, \quad (12.1)$$

где L_c – длина расчетных судов, шлюзуемых одновременно, м;

n – число одновременно шлюзуемых судов;

Δl – запас по длине между судами и до голов шлюза, м;

$$\Delta l_c = 2 + 0,03L_c; \quad (12.2)$$

ширина камеры

$$B_k = \sum_1^n B_c + \sum_1^{n+1} \Delta b, \quad (12.3)$$

где B_c – ширина одновременно шлюзуемых судов, м;

n – число одновременно шлюзуемых судов;

Δb – запас по ширине камеры с каждой стороны от группы шлюзуемых судов и между ними, м; принимается $\Delta b = (0,04 \dots 0,05)B_c$;

глубина на пороге шлюза

$$h_c = 1,3S, \quad (12.4)$$

где S – осадка расчетного судна, м.

В СНГ применяют типы шлюзов, приведенные в таблице 12.1.

Т а б л и ц а 12.1 – Основные характеристики шлюзов

Полезные размеры камеры		Наименьшая глубина на пороге
длина	ширина	
290	30	4; 5,5
270	18	4; 5,5
150	18	3; 4; 5,5
150	15	2; 2,5
80	15	1,5; 2
80	11	1,5; 2
50	7,5	1,3
35	6	1; 1,2

Наибольшее распространение на водных путях I и II категории получили камеры размерами 290x30 и 150x18 м.

Габаритные размеры камер шлюзов на некоторых новых зарубежных внутренних водных путях приведены в приложении Д.

12.3 Типы и конструкция камер шлюзов

Камеры шлюзов различают по типам стен, днищ и обратных засыпок. По типу **стен** камеры подразделяются на откосные и вертикальные. *Откосные* камеры шлюзов (рисунок 12.2) представляют собой конструкции, изготовленные из древесины, которые широко применяли в прошлом.

В настоящее время откосные камеры применяют редко – только в малонапорных (до 2 – 3 м) гидроузлах и на малых реках с небольшим грузооборотом.

В речных гидроузлах комплексного назначения и на магистральных водных путях шлюзы строят с *вертикальными* стенами. Камеры судоходных шлюзов возводят из железобетона и бетона.

По типам **днищ** применяется два основных вида камер: со сплошным практически водонепроницаемым железобетонным днищем и водопроницаемым днищем.

Первый тип представляет собой замкнутую коробку с монолитными, близкими по профилю к трапеции стенами и неразрезным днищем (рису-

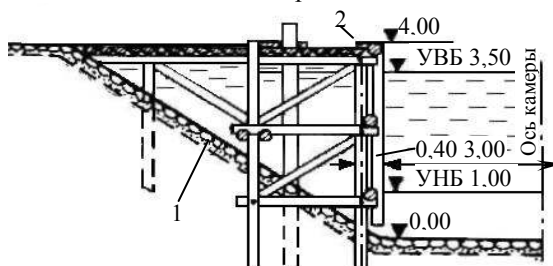


Рисунок 12.2 – Камера судоходного шлюза с откосными стенами и направляющими эстакадами:
1 – стены камеры; 2 – направляющая эстакада

нок 12.3), с монолитными стенами и разрезным дном (рисунок 12.4), с контрфорсными стенами и разрезным дном (рисунок 12.5) и с ячеистыми стенами и разрезным дном (рисунок 12.6).

Камеры с водопроницаемыми днами (рисунок 12.7) применяют при небольших напорах воды (до 6 м). Дно изготавливается из бетонных плит. Стены обычно контрфорсные железобетонные. Такие камеры применяют, когда по стоимости сооружения они заметно отличаются от предыдущего типа.

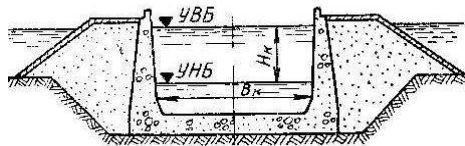


Рисунок 12.3 – Железобетонная камера шлюза без продольных водопроводных галерей с монолитными стенами и неразрезным дном

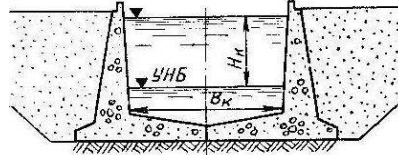


Рисунок 12.4 – Железобетонная камера шлюза без продольных водопроводных галерей с монолитными стенами и разрезным дном

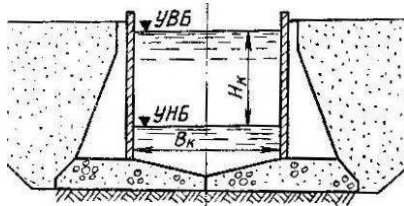


Рисунок 12.5 – Железобетонная камера шлюза без продольных водопроводных галерей с контрфорсными стенами и разрезным дном

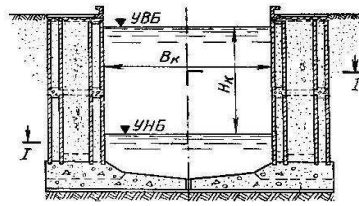


Рисунок 12.6 – Железобетонная камера шлюза без продольных водопроводных галерей с ячеистыми стенами и разрезным дном

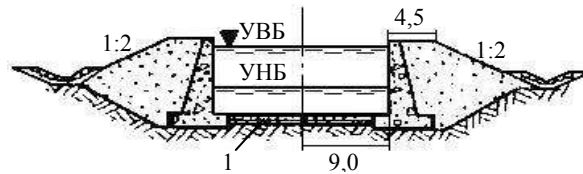


Рисунок 12.7 – Камера судоходного шлюза с отдельно стоящими стенами и водопроницаемым дном:
1 – водопроницаемое дно в виде крепления на обратном фильтре

12.4 Конструкция голов шлюзов

Голова шлюза представляет собой неразрезную армированную бетонную конструкцию и включает два устоя и дно, которые совместно образуют

отверстие, перекрытое затвором (воротами). Размеры и очертания голов шлюзов определяются главным образом схемой водопроводных устройств и типами механического оборудования.

Верхняя голова шлюза (рисунок 12.8) делится на входную, шкафную и упорную части. Во *входной* части располагаются ремонтные заграждения, отделяющие шлюз от бьефа во время ремонта. При открывании двустворчатые ворота вращаются на вертикальных осях, заходя в углубление стен головы. Эти углубления носят название шкафных ниш, а участок головы, в пределах которого располагаются ниши, называется *шкафной* частью. Дно шкафной части ниже дна камеры шлюза, в результате чего образуется вертикальный выступ, к которому примыкает низ створок ворот в закрытом состоянии. Этот выступ называется *порогом* или *королем*. Отметка верха короля самая высокая в шлюзе. По ней определяют судоходную глубину. В закрытом состоянии ворота опираются на стены голов и передают им давление воды. Эта часть верхней головы называется *упорной*.

Нижняя голова (рисунок 12.9) состоит из *шкафной* и *упорной* частей. Ремонтные заграждения нижней головы располагаются в ее упорной части.

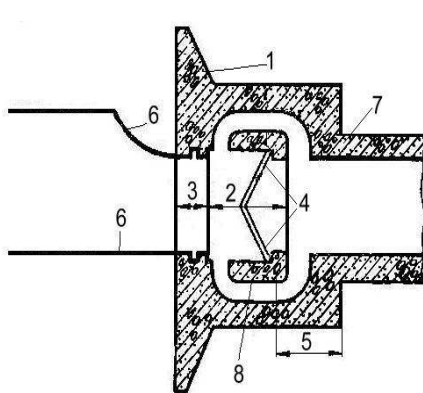


Рисунок 12.8 – Верхняя голова шлюза:
1 – верхняя голова; 2 – шкафная часть верхней головы; 3 – входная часть верхней головы;
4 – ворота; 5 – упорная часть верхней головы;
6 – палы; 7 – стены камеры;
8 – круговые водопроводные галереи

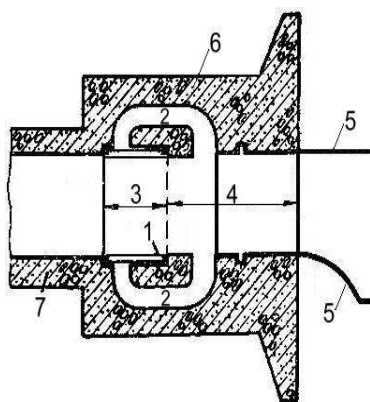


Рисунок 12.9 – Нижняя голова шлюза:
1 – ворота; 2 – круговые водопроводные галереи;
3 – шкафная часть нижней головы; 4 – упорная часть нижней головы; 5 – палы; 6 – нижняя голова;
7 – стены камеры

В головах располагаются водопроводные устройства, соединяющие камеру с верхним и нижним бьефами и служащие для ее наполнения и опорожнения.

12.5 Оборудование шлюзов

По своему назначению и условиям работы оборудование шлюзов подразделяют на основное, вспомогательное и ремонтное.

К *основному* относят оборудование, предназначенное для непосредственного выполнения операций по пропуску судов через шлюз, к *вспомогательному* – оборудование, необходимое для проведения операций по пропуску судов их по нормальной эксплуатационной схеме, к *ремонтному* – оборудование, необходимое для ремонта основного оборудования.

Перечисленное выше оборудование подразделяется по условиям его приведения в действие на гидромеханическое и электротехническое.

Основное гидромеханическое оборудование – это ворота, перекрывающие судоходные отверстия в головах шлюза, водопроводные затворы и приводные механизмы. К основному электротехническому оборудованию относят двигатели механизмов ворот и водопроводных затворов вместе с их кабельным хозяйством, вплоть до понизительной электрической подстанции шлюза.

Вспомогательное гидромеханическое оборудование шлюза – это подвижные и неподвижные причальные приспособления. К вспомогательному электротехническому оборудованию относят аппаратуру и приборы сигнализации централизованного автоматического управления основным оборудованием вместе с кабельным хозяйством и приборы эксплуатационного освещения.

Гидромеханическое ремонтное оборудование шлюзов – это ремонтные и аварийные заграждения верхних голов, ремонтные заграждения нижних голов, ремонтные затворы водопроводных галерей, насосные агрегаты для откачки воды из камер и отдельных частей шлюза, механизмы и приспособления для установки и подъема всего этого оборудования, а также различные устройства, связанные с ремонтными работами на шлюзах, как, например, тали, кран-балки, монорельсовые тележки, автомобильные краны и т.п. К ремонтному электрическому оборудованию относят электродвигатели и кабельное хозяйство водоотливных насосов, электрифицированных механизмов ремонтных и аварийных заграждений, а также других ремонтных устройств.

Условия работы основного, вспомогательного и ремонтного оборудования и эксплуатационные требования к нему весьма различны и определены соответствующими нормативными документами.

12.6 Направляющие и причальные устройства шлюзов

Подход судов к шлюзу осуществляется по подходным каналам, искусственно созданным в пойме и отделенным от русла направляющими дамбами. Для удобства захода судов в шлюз устраивают специальные направляющие сооружения – палы (подпорная стенка или эстакада, воспринимающая нагрузку от судов). Палы представляют собой свайные кусты, поставленные на определенном расстоянии друг от друга. Могут быть использованы железобетонные или деревянные эстакады, стенки или понтоны, удерживаемые цепями.

Причальные устройства шлюзов бывают неподвижными и подвижными. К *неподвижным* относят причальные тумбы, устанавливаемые на площадках камерных стен и причальных стенках в подходных каналах, и рымы-крюки (подвижные и неподвижные), устанавливаемые в углублении на лицевой поверхности камерной стены (рисунок 12.10).

Причальные тумбы размещаются на стенах камеры, паллах и по причальной линии на расстоянии не более 20 – 30 м одна от другой. Их должно быть 3 – 4 на длину расчетного судна. Швартовка за тумбы в камере шлюза при изменении уровня воды требует постоянного наблюдения и подтравливания или подбирания причального троса.

Неподвижные рымы устанавливаются по концам камеры шлюза для швартовки мелких судов, а по высоте – через 1 – 2 м. Швартовка крупных судов на неподвижные рымы не допускается.

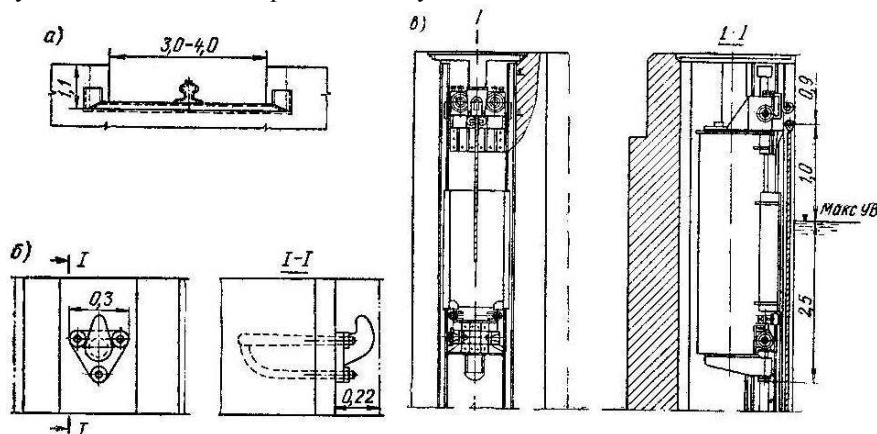


Рисунок 12.10 – Причальные устройства шлюзов:

а – причальная тумба; б – крюк; в – плавающий рым

Для швартовки больших судов в камере с напором более 6 м применяют *подвижные рымы* (см. рисунок 12.10). Это причальные крюки, укреплен-

ные на тележке, жестко соединенные с поплавком, синхронно следующим за изменением уровня воды. Тележка перемещается по вертикальным рельсовым путям, заложенным в нише стен камеры.

12.7 Основные системы питания шлюзов

Под системой питания шлюзов понимается совокупность водопроводных устройств, служащих для наполнения и опорожнения камер шлюза. Системы питания должны удовлетворять следующим требованиям:

- наполнение и опорожнение камер должно происходить в течение определенного времени, соответствующего требуемой судопропускной способности;
- при наполнении и опорожнении камер должен быть спокойный гидравлический режим на подходах и в камере (исключить рывки, обрывы троса, перемещения и др.).

Различают две основные системы питания шлюзов: головную (сосредоточенную) и распределительную.

В *головной* системе выпуск воды в камеру осуществляется в районе верхней головы шлюза. Существуют две системы для выпуска воды: с обходными галереями в голове шлюза и через отверстия в днище головы. Пример одной из систем наполнения шлюза с истечением воды из-под затвора показан на рисунке 12.11. Поступление воды со стороны головы приводит к появлению уклонов поверхности и движению потока воды вдоль камеры, что влияет на отстой судов и надежность их швартовки.

Распределительные системы питания обеспечивают равномерное поступление воды по всей площади камеры. Достигается это устройством галерей в днище (донными галереями и выпусками) или в стенах шлюза и расположением водопусков по всей площади камеры (боковыми галереями и выпусками). Примеры таких систем приведены соответственно на рисунках 12.12 и 12.13. При функционировании данных систем действие воды на судно значительно меньше. Однако их сооружение требует больших затрат.

Управление работой шлюза осуществляется с центрального пункта, расположенного в одной из голов. Для облегчения судопропуска каналы оборудуются средствами световой сигнализации и звукового оповещения. Для контроля за проводкой судов через камеру применяется телевидение.

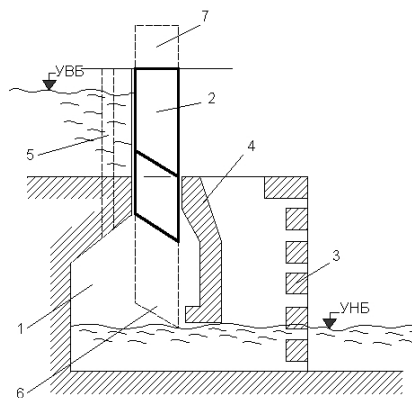


Рисунок 12.11 – Камера головы шлюза:
 1 – камера гашения энергии потока; 2 – затвор;
 3 – решетка; 4 – экран-гаситель; 5 – аэрационные трубы; 6 – положение затвора при пропуске судна;
 7 – положение затвора при наполнении шлюза

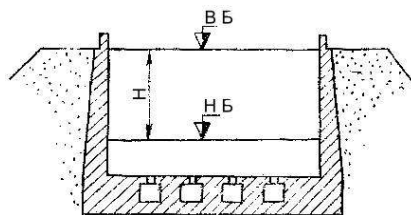


Рисунок 12.12 – Продольная галерея с донными выпусками

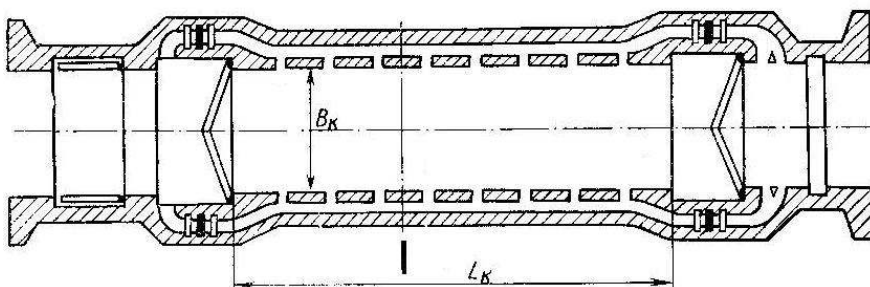


Рисунок 12.13 – Продольная галерея с боковыми выпусками

12.8 Схемы и время шлюзования

Процесс пропуска судов, составов или их групп через шлюз включает ряд операций, часть из которых выполняется шлюзом, а часть – шлюзующимися судами. Возможны следующие схемы шлюзования:

- двустороннее движение судов через однокамерный шлюз;
- одностороннее движение судов через однокамерный шлюз;
- двустороннее движение судов через многокамерный шлюз;
- одностороннее движение судов через многокамерный шлюз.

Последовательность операций при двустороннем движении судов через однокамерный шлюз представлена на схеме (рисунок 12.14). При данной схеме шлюзования выполняются два цикла последовательных операций:

первый включает операции, связанные с пропуском судна через шлюз в одном направлении, второй – в обратном.

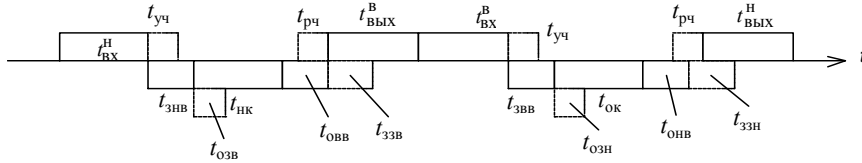


Рисунок 12.14 – Двустороннее движение судов в однокамерном шлюзе:

$t_{вх}^H$ – время входа судов в камеру из нижнего подходного канала; $t_{уч}$ – время учаливания судов; $t_{звнв}$ – время закрытия ворот нижней головы; $t_{ззв}$ – время открытия водопроводных затворов верхней головы; $t_{нк}$ – время наполнения камеры; $t_{овв}$ – время открытия ворот верхней головы; $t_{рч}$ – время расчаливания судов; $t_{вых}^B$ – время выхода судов в верхний подходный канал; $t_{ззв}$ – время закрытия водопропускных затворов верхней головы; $t_{вх}^B$ – время входа судна в камеру из верхнего бьефа; $t_{звв}$ – время закрытия ворот верхней головы; $t_{онв}$ – время открытия водопропускных затворов нижней головы; $t_{ок}$ – время опорожнения камеры; $t_{онв}$ – время открытия нижних ворот; $t_{ззв}$ – время закрытия водопропускных затворов нижней головы; $t_{вых}^H$ – время выхода судов из камеры шлюза в нижний подходный канал

Общая продолжительность шлюзования при этом будет следующая:

$$t_{шл.дв} = 2t_{вх}'' + 2t_{н} + 4t_{в} + 2t_{вых}'' \quad (12.5)$$

при условии, что $t_{вх}^H = t_{вх}^B = t_{вх}''$;

$$t_{звнв} = t_{овв} = t_{звв} = t_{онв} = t_{в} ;$$

$$t_{вых}^B = t_{вых}^H = t_{вых}'' ;$$

$$t_{нк} = t_{ок} = t_{н} ,$$

где $t_{вх}''$ – время входа судов в камеру при двустороннем движении;

$t_{вых}''$ – время выхода судов из камеры шлюза;

$t_{в}$ – время открытия (закрытия) ворот шлюза;

$t_{н}$ – время наполнения (опорожнения) камеры.

Последовательность операций при одностороннем движении судов через однокамерный шлюз показана на схеме (рисунок 12.15). При такой схеме движения выполняются следующие два цикла: первый – операции, связанные с пропуском судна в одном из направлений, вторая – подготовка шлюза для пропуска судна в этом же направлении.

Тогда

$$t_{шл.од} = t_{вх}' + 2t_{н} + 4t_{в} + t_{вых}' \quad (12.6)$$

а среднее расчетное время $t_{шл} = t_{шл.од} \bar{\delta}_{од} + t_{шл.дв} \bar{\delta}_{дв}$,

где $\alpha_{од}$, $\alpha_{дв}$ – доля односторонних и двусторонних шлюзований в рассматриваемом периоде.

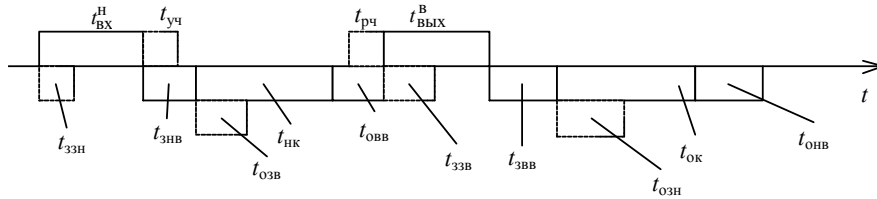


Рисунок 12.15 – Одностороннее движение судов в однокамерном шлюзе

$t_{вх}^H$ – время входа судов в камеру из нижнего подходного канала; $t_{уч}$ – время учаливания судов; $t_{ззВ}$ – время закрытия ворот нижней головы; $t_{ззН}$ – время открытия водопроводных затворов верхней головы; $t_{нк}$ – время наполнения камеры; $t_{оов}$ – время открытия ворот верхней головы; $t_{рч}$ – время расчаливания судов; $t_{ззВ}$ – время закрытия водопропускных затворов верхней головы; $t_{вых}^B$ – время выхода судов в верхний подходный канал; $t_{звВ}$ – время закрытия ворот верхней головы; $t_{звН}$ – время открытия водопропускных затворов нижней головы; $t_{оон}$ – время опорожнения камеры; $t_{онв}$ – время открытия нижних ворот; $t_{ззН}$ – время закрытия водопропускных затворов нижней головы

Для многокамерного шлюза время шлюзования при одностороннем движении определяется по следующей формуле:

$$t_{шл.од}^M = t'_{вх} + 2t_n + 4t_b + t'_{вых} + t_{пер}(n-1), \quad (12.7)$$

где $t_{вых}$ – время перехода судов в смежную камеру;
 n – число промежуточных камер.

При двустороннем движении через многокамерный шлюз:

$$t_{шл.дв}^M = 2t''_{вх} + 2t_n + 4t_b + 2t''_{вых} + \sum \Delta t_{шл.ср}; \quad (12.8)$$

$$\sum \Delta t_{шл.ср} = (n_k - 1)(t_{н.ср} + 2t_b + t_{пер}),$$

где n_k – число камер последовательного шлюзования;

$t_{н.ср}$ – время наполнения и опорожнения средних камер.

В связи с увеличением числа перемен направления движения при двустороннем шлюзовании часто переходят на пропуск через многокамерный шлюз последовательных серий судов (составов) в одном направлении (m_c). Это резко сокращает число перемен направления движения и приводит к уменьшению среднего времени шлюзования:

$$t_{шл.мн} = \frac{(t_{шл.од}^M m_c + t_{шл.дв}^M)}{m_c + 1}. \quad (12.9)$$

Продолжительность отдельных операций при различных схемах шлюзования определяется следующим образом:

Время движения судов и составов на участке

$$t_i = \frac{l_i}{v_{cp,i}}, \quad (12.10)$$

где l_i – расстояние, в пределах которого рассматривается эта продолжительность времени;

$v_{cp,i}$ – средняя скорость движения судов на участке.

Значения средних скоростей для различных типов судов приведены в таблице 12.2.

Т а б л и ц а 12.2 – Средняя скорость движения судов различных типов

Объект шлюзования	Средняя скорость движения, м/с		
	Вход	Выход	Переход из камеры в камеру
Самоходное судно	1,0	1,7	0,9
Состав	0,8	1,3	0,7
Плот	0,6	0,6	0,5

Длину пути входа в камеру и выхода из нее допускается принимать:

- при одностороннем шлюзовании:

$$L_{вх(вых)} = L_{пк}(1 + \bar{\alpha}_п); \quad (12.11)$$

- при двустороннем шлюзовании:

$$L_{вх(вых)} = L_{пк}\bar{\alpha}_пк + L_п, \quad (12.12)$$

где $L_{пк}$ – полезная длина камеры;

$\bar{\alpha}_п$ – коэффициент, который принимают равным: при входе судов в камеру – 0,4, при выходе и переходе из камеры в камеру – 0,1;

$L_п$ – длина участка разминования.

Участок разминования (рисунок 12.16) – это прямолинейный участок, в пределах которого происходит отстой судов и составов, ожидающих шлюзования и разминования их с выходящими судами и составами из камеры.

Минимальная длина этого участка

$$L_n = l_1 + l_2 + l_3 = 0,5l_{ст} + \sqrt{l_{ст}^2 + (4R - C)C} + l_{ст}, \quad (12.13)$$

где $l_{ст}$ – длина наибольшего судна или группы шлюзуемых судов;

R – радиус проекции движения центра тяжести судна; $R = 3 l_{ст}$;

C – расстояние между осью камеры и осью судового хода выходящего из камеры судна (состава);

$$C = B_{ст} + 0,5\Delta B_0'' + a_{пр},$$

$B_{ст}$ – ширина наибольшего расчетного судна (состава);

$\Delta B_0''$ – величина уширения судового хода на криволинейном участке;

$$\Delta B_0'' = 2 \cdot 0,35 \frac{l_{ст}^2}{R};$$

$a_{пр}$ – смещение судов у причальной линии при отстое; $a_{пр} \geq (0,15...0,20)b_{ст}$.

Время наполнения и опорожнения камер шлюза

$$t_n = k^3 \sqrt{L_{пк} B_{пк} H}, \quad (12.14)$$

где k – коэффициент, принимаемый равным: для головной системы – 0,27, для распределительной – 0,19;

$L_{пк}, B_{пк}$ – полезные габариты камеры, м;

H – расчетный напор воды на камеру, м.

Время открывания и закрывания ворот шлюза принимается для шлюзов: с камерой шириной до 18 м – 1,0–1,5 мин, более 18 м – 2,0 мин.

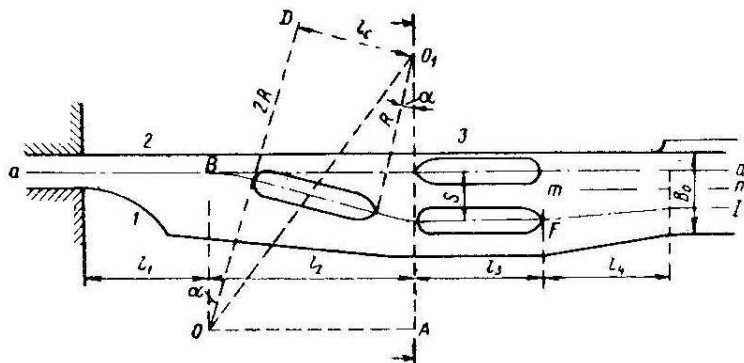


Рисунок 12.16 – Схема участка разминования подходного канала:

$abFI$ – ось судового хода для выходящего состава; $a-a$ – ось судового хода для входящего состава; 1 – неходовой пал; 2 – ходовой пал; 3 – причальное сооружение; $m-m$ – ось канала

Время швартовки судна в камере шлюза примерно равно 3 минутам.

Время открывания (закрывания) затворов можно принимать:

$$t_{3(0)} = k_3 t_n, \quad (12.15)$$

где k_3 – коэффициент, который для головной системы принимается 0,7 – 0,8, для распределительной системы – 0,4 – 0,5 и при опорожнении камер шлюза в подходные каналы – 0,6.

12.9 Судопропускная способность шлюзов

Судопропускная способность шлюза определяется количеством шлюзуемых судов в сутки, месяц, за навигацию. Величина судопропускной способности $N_{ном}$ должна быть больше потребного судопропуска $N_{потр}$ – числа

судов, составов, плотов, которые должны проходить по шлюзу за рассматриваемый период времени: $N_{\text{ном}} \geq N_{\text{потр}}$.

Величина судопропускной способности

$$N = n \frac{\beta_{\text{шл}} T_p 60}{\varphi t_{\text{шл}}}, \quad (12.16)$$

где n – число судов, проходящих камеру за период шлюзования;

$\beta_{\text{шл}}$ – коэффициент использования шлюза по времени; $\beta_{\text{шл}} \approx 0,95$;

$$\epsilon_{\text{шл}} \approx \frac{T_{\text{ф}}}{T_p},$$

$T_{\text{ф}}$ – фактическое время работы шлюза, связанное с пропуском судов;

T_p – период работы судопропускного сооружения;

φ – коэффициент, учитывающий неравномерность подхода судов к шлюзу; обычно принимается равным 1,2;

$t_{\text{шл}}$ – затраты времени на одно шлюзование.

Грузопропускная способность – это количество тонн груза, пропускаемого через шлюз за рассматриваемый период времени:

$$P = N \sigma \delta,$$

где σ – средняя грузоподъемность шлюзуемого судна;

δ – коэффициент использования грузоподъемности судов.

13 СУДОХОДНЫЕ КАНАЛЫ

13.1 Классификация судоходных каналов

Каналом называется искусственное русло правильной формы, устроенное в выемке или насыпи из грунта. По назначению каналы бывают (рисунок 13.1): энергетические – подводят воду к гидроустановкам; водопроводные – для подачи воды к местам потребления; обводнительные – обеспечение водой безводных и маловодных районов путем освоения местных ресурсов и переброски воды по каналам, трубопроводам; осушительные – отводят из районов избыточную воду; оросительные – для подвода воды в районы, испытывающие недостаток влаги; лесосплавные – для сплава леса и вывода на основные магистрали; рыбоводные – для пропуска рыбы с заводов в водоемы или в обход гидротехнических сооружений (шлюзов); судоходные – для движения судов и плотов; комбинированные – составляют одно из сочетаний перечисленных выше каналов. Назначение канала определяет его параметры и режим работы.

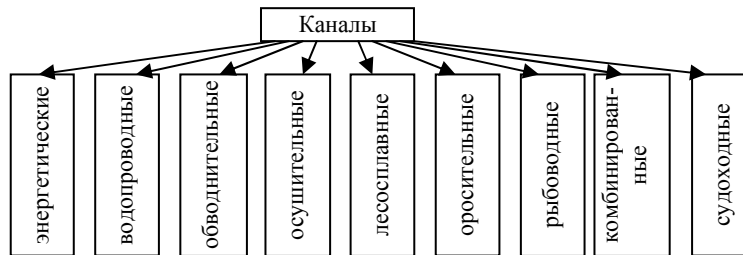


Рисунок 13.1 – Виды каналов по назначению

Судоходные каналы по форме и размерам должны быть приспособлены для плавания судов и плотов. Судоходные каналы подразделяются на морские и внутреннего плавания. Отличаются они друг от друга размерами. Су-

доходные каналы внутреннего плавания, в свою очередь, различаются по назначению и конструкции (рисунок 13.2).

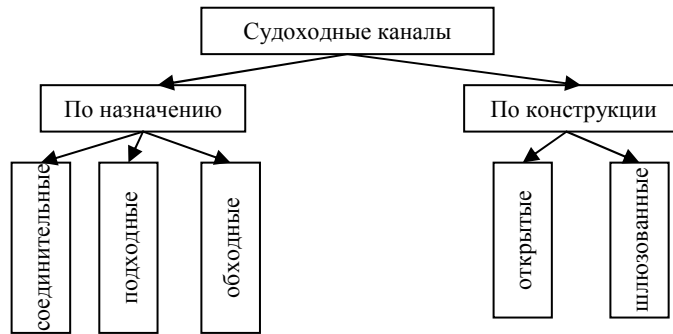


Рисунок 13.2 – Классификация судоходных каналов

По конструкции каналы могут быть шлюзованными или открытыми.

Шлюзованные каналы сооружаются для соединения водных путей, которые имеют различные горизонты уровней воды. Шлюзованными могут быть соединительные, подходные и обходные каналы. Шлюзованные судоходные каналы включают в себя искусственные бьефы определенного профиля, обеспечивающие нормальное расхождение судов, и водохранилища, образованные в результате постройки плотин. Шлюзованные каналы могут быть односклонными и двухсклонными в зависимости от топографических условий их трассы.

Соединительные судоходные каналы возводят для соединения морей или рек смежных бассейнов и обычно проходят через водораздел между ними. Соединительными являются каналы им. Москвы (соединяет Волгу и реку Москву), Беломоро-Балтийский, Волго-Донской, Днепро-Бугский и др.

Подходные судоходные каналы устраивают для удобного и безопасного подхода судов к шлюзам, для входа в устья рек, для подхода в порт. Большинство подходных каналов являются морскими. Примерами подходных каналов являются: каналы к Санкт-Петербургскому, Калининградскому морским портам, Волго-Каспийский для входа с моря в устье Волги и Микашевичский для подхода с реки Припять к речному порту.

Обходные судоходные каналы устраивают для обхода какого-либо препятствия для судоходства. Такими являются Приладожский, Онежский и Белозерские каналы, построенные в обход озер с неблагоприятным ветроволновым режимом.

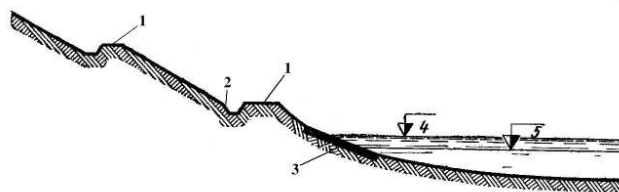
Открытые каналы не имеют шлюзов и сооружаются для соединения двух водных бассейнов с одинаковыми горизонтами уровней воды.

13.2 Поперечные и продольные профили судоходных каналов

Поперечное сечение каналов определяется параметрами расчетных судов. Ширина канала устанавливается исходя из условия двустороннего движения судов, при этом учитывается ветровой дрейф судна, угол дрейфа. Рекомендуется минимальную ширину канала принимать не менее четырехкратной ширины расходящихся судов ($B_k^{\min} \geq 4 B_{p.c}$). Глубина судоходного канала определяется в зависимости от наинизшего уровня воды, в зависимости от осадки расчетного судна ($T_{p.c}$) с учетом норм запаса на осадку судна ($T_k^{\min} \geq 1,3 T_{p.c}$).

Наиболее целесообразной формой поперечного сечения канала считается форма с уменьшающимся к его оси углом откоса (рисунок 13.3).

Рисунок 13.3 – Поперечное сечение канала: 1 – бермы; 2 – кювет; 3 – береговое укрепление; 4 – наивысший судоходный уровень воды; 5 – наименьший судоходный уровень воды



По отношению к поверхности земли каналы могут устраиваться в выемке (глубокой, мелкой), в насыпи или полунасыпи. Для защиты от поверхностных и грунтовых вод каналы, в зависимости от конструкции, оборудуются бермами, кюветами, береговыми укреплениями.

Трасса канала должна иметь преимущественно прямолинейное направление. В плане обычно ось канала представляет собой ломаную линию, закругления должны быть возможно большего радиуса, минимальная величина которого должна составлять не менее $R_k^{\min} = 3,5 l_{p.c}$.

Продольный профиль канала может представлять собой горизонтальную прямую, если он соединяет два водоема с одинаковыми горизонтами уровней воды. Если соединяемые водоемы имеют разные горизонты уровней, то продольный профиль канала будет иметь ступенчатый вид (рисунок 13.4).

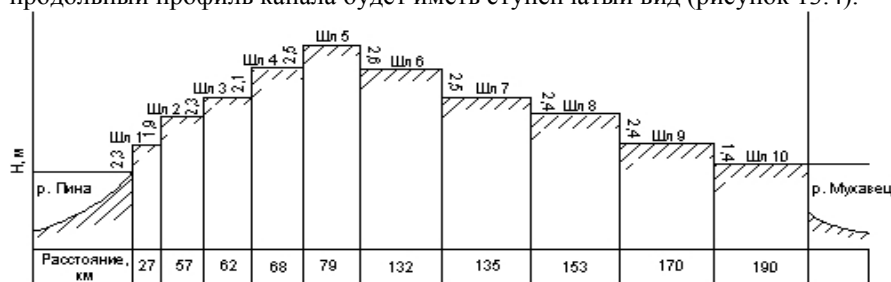


Рисунок 13.4 – Продольный профиль Днепро-Бугского канала

13.3 Инженерные сооружения на каналах

По назначению инженерные сооружения на каналах делятся на гидротехнические (напорные земляные дамбы, водосборные сооружения, насосные станции, водозаборы, дренажные системы), транспортные (мосты, тоннели для наземных видов транспорта, мосты-каналы, судоходные тоннели, паромные переправы), аварийные и заградительные сооружения (разборные судоходные плотины с подъемными формами, откатные ворота и др.).

Гидротехнические сооружения предназначены для берегоукрепления, маневрирования количеством воды, питания бьефов судоходных каналов и др. Транспортные сооружения (мосты) предназначены для пересечения каналов с железными и автомобильными дорогами. В случаях, когда каналы проходят на высоких насыпях для дорог (чаще автомобильных), под каналом устраивается тоннель. Главным требованием в данном случае к судоходному каналу является изоляция его наружного смоченного периметра. Каналы-мосты сооружаются при необходимости пересечения каналом реки или глубокого оврага. Такое сооружение чаще представляет собой виадук с малыми или нулевыми скоростями в его лотке. Судоходные тоннели сооружают при пересечении судоходным каналом высокого скального водораздела (фракция шириной 18 м). Паромные переправы сооружают в тех случаях, когда для сооружения мостов требуются значительные капитальные вложения и их строительство нецелесообразно. Аварийные и заградительные сооружения предназначены для перекрытия пролетов каналов. Схема размещения инженерных сооружений на каналах представлена на рисунке 13.5.

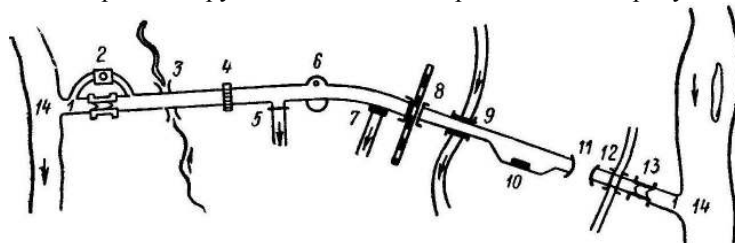


Рисунок 13.5 – Сооружения на каналах:

- 1 – судоходный канал; 2 – шлюз и насосная станция в обводном канале; 3 – труба (дюкер) под каналом;
- 4 – заградительные ворота; 5 – водосброс из канала; 6 – паромная переправа; 7 – водозабор для орошения и обводнения; 8 – железнодорожный мост; 9 – мост-канал; 10 – пристань; 11 – тоннель, через который проходит канал (может быть и тоннель под каналом); 12 – автомобильный мост; 13 – шлюз;
- 14 – соединяемые каналом реки

13.4 Особенности движения судов на каналах

Наиболее устойчивое положение на курсе судно будет иметь при движении по оси канала. При этом скорости течения встречного потока у бортов

судов будут одинаковыми, одинаковым будет и гидродинамическое давление с обоих бортов. При больших размерах движения судно часто будет сходиться с оси канала для разминования и обгона других судов. При этом суда взаимно будут значительно влиять друг на друга. Уровень воды перед судном и в носовой его части со стороны берега канала будет повышаться, а вдоль борта и кормы – понижаться. В результате наличия разностей уровней будут возникать силы присасывания судна к берегу в районе кормы и отталкивания от берега в районе носа, поэтому маневр расхождения безопаснее выполняется при пониженных скоростях. При обгоне судно, движущееся по оси канала, должно уклониться к берегу. Когда обгоняющее судно входит в кормовую зону обгоняемого судна, возникают силы, которые отклоняют нос обгоняющего судна в сторону обгоняемого (в зоне пониженного давления). Если в этом случае суда движутся близко от берега, то этот процесс усиливается. В связи с этим разрешение на обгон дается только после гашения скорости обгоняемым судном.

13.5 Пропускная способность канала

Судопропускная способность канала определяется при условии двустороннего движения судов с установленным интервалом:

$$n_{\text{сутк}} = 2 \frac{60 t_p}{t_{\text{инт}}},$$

где t_p – суточное время работы канала, связанное с пропуском судов;
 $t_{\text{инт}}$ – интервал следования судов.

При наличии на каналах судопропускных сооружений пропускная способность канала будет определяться по ограничивающему элементу.

14 СПОСОБЫ ПРОДЛЕНИЯ НАВИГАЦИИ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ

14.1 Причины, вызывающие необходимость продления навигации

Большая часть внутренних водных путей СНГ находится в зоне с суровыми климатическими условиями. Сюда входят: восточный бассейн рек (реки Сибири), реки севера европейской части. Из-за климатических условий суровой зимы на реках прекращается судоходство до полугода и более. Сезонность работы флота приводит к недостаточному его использованию по времени, а следовательно, снижается уровень эффективности капитальных вложений, вкладываемых в эту отрасль. В районах, где речной транспорт является единственным средством связи, в зимний период лишаются этой связи.

В центральных районах СНГ (Россия, Украина, Беларусь), где наряду с речным функционируют другие виды транспорта, сезонность работы приводит к неравномерной загрузке других видов транспорта, в частности железнодорожного и автомобильного, в летние и зимние периоды года. В связи с этим на водных путях предусматривается продление навигации, а тем самым и сроков работы транспортного флота.

14.2 Основные способы поддержания судоходства на внутренних водных путях

Продление навигации может осуществляться применением ледоколов и ледокольных приставок. В отличие от транспортных судов ледоколы имеют более прочный корпус, способный выдерживать удары о лед. Главной их особенностью является наличие наклонного форштевня (бруса по контуру носового заострения судна, который в нижней части соединен с килем). Благодаря этому ледокол наползает на льдину и разрушает ее. Здесь решающее значение имеет инерция судна. При движении ледокола образуются за ним

канал, по которому следуют транспортные суда. В канале остаются льдины, которые затрудняют движение и замерзают быстрее и прочнее. Поэтому используют гидроомывающие устройства, которые создают циркуляцию течения, и битый лед увлекается под ледовый покров за пределы канала.

Эффективно используются ледокольные приставки. Одна из них – понтон санного типа с наклонной носовой частью. Под днищем пантона устроены ножи, которые облегчают разрушение льда. Боковые ножи делают канал шире корпуса понтона. Под днищем конструкции имеется также ледоразводящий выступ, расталкивающий лед за кромки канала. Ледокольную приставку толкают один или два теплохода.

За рубежом (Канада) для ломки льда используются суда на воздушной подушке. Разрушение льда происходит в результате проникновения воздуха под лед.

Иногда применяется предварительное бороздование льда. Трактором или вездеходом роторно-винтового типа по трассе будущего канала в ледяном покрове прорезывают три борозды глубиной 0,3 м. Это ослабляет лед, позволяет увеличить скорость движения ледокола или приставки до 40 %.

Очень редко для разрушения льда используется такой эффективный способ, как взрывные работы. Ограничение применения взрывных работ вызвано их вредным воздействием на окружающую среду.

Кроме этого, для разрушения льда могут быть использованы его свойства. Известно, что отражающая способность льдом энергии солнца составляет 90 %. Если лед покрыть темным материалом, то резко увеличивается его поглощающая способность тепла, и он тает. Распыляют эти материалы из самолетов, санных тракторов. В ряде случаев этот способ давал весьма положительные результаты, вплоть до образования во льду открытого канала.

Как известно, в зимний период при малых скоростях течения или его отсутствии в водоемах создается устойчивая тепловая стратификация с возрастанием температуры от нуля на поверхности до +4 °С у дна. Это свойство, если создать условия циркуляции воды, может быть использовано для таяния льда. На больших водохранилищах и озерах, обладающих запасами тепла, для подъема глубинных вод к ледяному покрову используются пневматические установки или потокообразователи.

Применение пневматической установки основано на использовании сжатого воздуха для создания циркуляции воды. Практически это решается следующим образом. На дне водоема или некоторой его глубине укладывается перфорированный трубопровод, к которому от компрессора подается сжатый воздух. Под действием давления из трубопровода выходят пузырьки воздуха, которые увлекают за собой глубинную, более теплую, воду вверх, создавая таким образом циркуляционное течение. Под действием теплой воды, подведенной к ледяному покрову, лед тает.

Такой метод часто применяется для поддержания полыньи на акваториях портов, в затомах судоремонтных предприятий, в районах зимних паромных переправ, на определенных участках рек, эксплуатируемых в зимний период. За рубежом этот способ используется на отдельных участках водного пути в Канаде и на некоторых озерах Швеции.

Для поддержания полыньи в целях продления местного судоходства, а также перед затворами водосливных плотин может применяться плавучий потокообразователь. Он представляет собой несложную конструкцию, состоящую из гидравлического насоса, смонтированного на понтоне. С помощью гидравлического насоса вода засасывается из глубины и забрасывается в поверхностные слои. Этот процесс препятствует замерзанию полыньи. Такой способ применяется в Финляндии для поддержания полыней в местах формирования плотов.

Имеется практический опыт поддержания местного судоходства за счет сброса в водоемы теплых промышленных вод.

Определенную роль в условиях продленной навигации играет оборудование судов специальными навигационными приборами, а водных путей – ледовым навигационным ограждением.

Опыт показывает, что в условиях продленной навигации плавучие навигационные знаки не обеспечивают нормальный режим судоходства, а иногда создают угрозу для безопасного плавания. Снятые с места и перенесенные льдом знаки могут послужить причиной аварии с судами транспортного флота.

В качестве ледового ограждения могут использоваться специальные ледовые буи, а для закрепления судовых ходов – береговые знаки-ориентиры, русловые маяки (на водохранилищах и озерах).

Большая роль в условиях продленной навигации должна быть отведена радиолокационным методам ориентирования судов, в том числе обеспечению радиолокационной связи «судно – берег» и «судно – знак». За рубежом, в частности в Канаде, для ориентирования судов при проводке во льдах через особо трудные участки водного пути применяется ведущий кабель, проложенный по дну и указывающий ось судового хода, а также лазерно-радарные навигационные системы.

Хорошо себя зарекомендовало в условиях продольной навигации устройство боновых заграждений, в частности, постановка плавучих бонов по кромкам судового хода в уширениях русла в целях ускорения образования устойчивого ледового покрова за пределами фарватера, уменьшения шугообразования и предупреждения шлейфа ледяных полей. Эффективны боновые заграждения, направляющие шугу и плавающий лед в несудоходные протоки, полезны и на многоорукавных участках рек. Применяются и другие способы продления навигации.

Особые условия требуется создать для обеспечения работы при низких температурах гидротехнических сооружений, шлюзов и каналов. На шлюзованных реках для удаления плавающего льда в межшлюзовых бьефах и из подходных каналов используют изменение режимов сброса воды через гидроэлектростанции и судопропускные сооружения. Режим их работы в этих условиях рассматривается в курсе «Гидротехнические сооружения» [2, 4 и др].

Изменение или преодоление всех факторов, влияющих на характер и сроки ледостава и затрудняющих работу флота в зимних условиях, очевидно, не может быть достигнуто каким-то одним универсальным средством или мероприятием. Для успешного проведения и осуществления продленной навигации надо иметь соответствующие многолетние гидрометеорологические характеристики. Кроме того, надо знать современные методы борьбы с ледовыми затруднениями и ледовым покровом, а также иметь данные о результатах практического применения этих средств в аналогичных условиях.

Окончательное решение о целесообразности продления навигации, о том или другом методе ее обеспечения должно приниматься на основе технико-экономических расчетов. В результате такого расчета устанавливается объем затрат, связанных с осуществлением продленной навигации, а также та реальная выгода, которую получит речной флот от продления навигации.

Основным принципом обеспечения благоприятных условий для работы речного транспорта в условиях продленной навигации является системный подход к решению этой задачи. Совместно должна решаться задача не только продления навигации как таковой, но и обеспечения работы портов, обеспечения судоходства соответствующим навигационным ограждением, а в необходимых случаях – выполнения дноуглубительных работ.

15 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

15.1 Основные источники загрязнения окружающей среды

Основными источниками неблагоприятного воздействия на окружающую среду являются: выбросы вредных веществ в атмосферу, шум, загрязнение водной среды, сельскохозяйственных земель и др.

Больше всего загрязняют окружающую среду топливно-энергетическая, нефтехимическая, целлюлозно-бумажная и металлургическая отрасли промышленности, а также транспорт. Значительный вред окружающей среде из всех видов наносит автомобильный транспорт. Немалое негативное воздействие на окружающую среду оказывает речной транспорт в процессе его производственной деятельности, особенно в районах речных портов. Виды воздействия производственной деятельности речного транспорта на окружающую среду представлены на рисунке 15.1. Основными источниками загрязнения водной среды являются:

- Подсланевые воды, которые образуются в машинных отделениях судов и отличаются высоким содержанием нефтепродуктов. Сточные воды судов, содержащие хозяйственно-бытовые отходы (мочные, масляные растворы и др.), отработанные газы судовых двигателей, производственная пыль и сухой мусор, поступающие с судов.
- Хозяйственно-бытовые и сточные воды, твердый мусор, нефтепродукты, отработанные газы и др., образующиеся в процессе производственной деятельности судоремонтных и судостроительных предприятий.
- Нефть, мусор, жидкие и твердые отходы, поступающие в акватории с территории портов. Нефть и нефтепродукты, поступающие в водную среду вследствие недостаточной герметичности корпусов нефтеналивных судов.
- Пыль от выветривания сыпучих грузов и их остатки, испарения жидких и газообразных, особенно токсичных, грузов и др., образующиеся в процессе их хранения и выполнения грузовых операций.

- Бытовые стоки и отходы городов и промышленных предприятий.

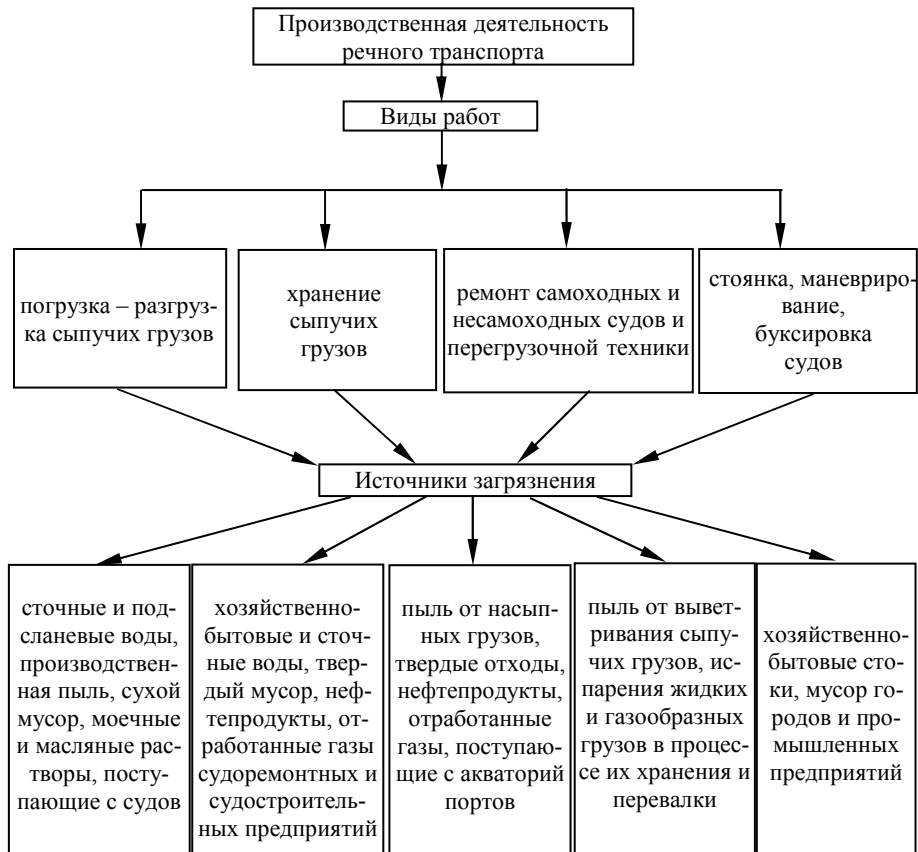


Рисунок 15.1 – Процессы производственной деятельности речного транспорта, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду

Относительно в меньшей степени по сравнению с другими видами транспорта речной транспорт следует отнести к источникам шума и загрязнения воздушной среды.

Шум – это также своеобразная форма воздушного загрязнения. Он является также биологическим и экономическим фактором, так как наносит определенный ущерб флоре и фауне, обитающей в районе функционирования объектов речного транспорта, воздействует на человека (экипаж, пассажиры, отдыхающие на берегу и др.), его центральную нервную систему, что ведет к нарушению ее регулятивной функции и отрицательно сказывается на деятельности внутренних органов и кровообращении, а это в конечном

итоге сказывается на производственной деятельности человека.

Загрязнение воздушной среды происходит в результате выбросов отработанных газов, образования пыли и испарений в процессе выполнения грузовых операций и при хранении грузов.

Атмосферный воздух выступает посредником загрязнения всех других объектов природы, содействует распространению вредных выбросов на большие расстояния. Промышленными выбросами, переносимыми по воздуху, загрязняется почва и вода. Высокая концентрация в воздухе промышленных выбросов, содержащих соединения серы и азота, является причиной кислотных дождей.

С целью регламентации загрязнения атмосферного воздуха установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) в нем вредных веществ.

15.2 Основные мероприятия по охране водных ресурсов Республики Беларусь

Мероприятия, направленные на охрану окружающей среды в Республике Беларусь, рассматриваются как часть глобальных экономических и социальных задач. Принятые в стране и вступившие в силу с 1 января 1998 года Кодекс Республики Беларусь о недрах [11] и Водный кодекс Республики Беларусь [5] являются законодательной основой и гарантом бережного и рационального использования недр и природных ресурсов. Вопросы охраны природы и рационального использования природных ресурсов включаются в планы экономического и социального развития нашей страны, при этом из государственного бюджета выделяются значительные ассигнования на природоохранные цели.

Рациональное использование водных ресурсов и сохранение чистоты природных водоемов – один из важных аспектов проблемы охраны окружающей среды. В настоящее время и в будущем в республике предусматривается проведение мероприятий, обеспечивающих рациональное использование и охрану водных ресурсов как от загрязнения, так и от истощения.

Управление охраной природы и регулирование использования природных ресурсов возложено на Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Для определения стратегии управления использованием водных ресурсов и контроля состояния водных объектов в нашей стране систематизируются данные о степени удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения в воде, а также о количестве и качестве используемых и сбрасываемых вод. Такая информация сосредотачивается в Центральном научно-исследовательском институте комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР) Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

На основании этих данных анализируются факторы использования и охраны водных ресурсов в целом по стране и по отдельным ее регионам. В результате анализа определяются:

- водообеспеченность (запасы водных ресурсов, степень их использования, количественные и качественные характеристики водных объектов, возможности водообеспечения народного хозяйства и населения);
- оценка деятельности водопользователей (соблюдение норм водопользования, влияние деятельности на качество воды в водных объектах);
- разработка рекомендаций по сокращению безвозвратных потерь воды;
- разработка первоочередных водоохраных мероприятий.

Внутренний водный транспорт самым тесным образом связан с комплексным освоением водных ресурсов и также относится к числу отраслей, играющих важную роль в проведении природоохранных мероприятий, и в первую очередь – по охране водных ресурсов и их рациональному использованию.

Комплекс мероприятий, направленных на полное предотвращение загрязнения водоемов объектами речного транспорта, включает в себя: запрет на спуск за борт сточных вод, нечистот, а также сброс разного рода твердых отходов и мусора с судов, плавающих на реках, озерах и водохранилищах, а также в речных портах и их акваториях; создание специальных очистных судовых установок, плавучих очистительных станций, включающих системы обезвреживания и обеззараживания сточных вод; сооружение береговых сетей канализации в портах и на промышленных предприятиях; строительство отстойников для осветления стоков от гидромеханизированной выгрузки минерально-строительных материалов; соблюдение необходимых требований при выполнении дноуглубительных работ; строительство танкеров с двойной обшивкой и др.

15.3 Природоохранные требования к инженерно-хозяйственной деятельности при проведении дноуглубительных работ и добыче нерудных строительных материалов

Проведение дноуглубительных работ по улучшению судоходных условий и добыча нерудных строительных материалов (НСМ) оказывает определенное влияние на русловый процесс рек. В частности, дноуглубление русла может существенно влиять на гидравлический и русловый режимы речного потока, иметь негативные последствия как для самой реки, так и находящихся на ней инженерных сооружений (мосты, трубопроводы, водозаборы), но может способствовать улучшению условий использования реки на участках с повышенным стоком наносов и заилениями русла.

В общем случае дноуглубление приводит к изменениям гидрологического и руслового режимов реки, обнаруживаемых на значительных расстояниях от выработок.

Влияние на реку оказывает не только объем изымаемого безвозвратно или временно из русла материала, но и места расположения разработок, что обусловлено особенностями русло-пойменных течений и факторами, определяющими интенсивность размывов, транспорта и отложения наносов на прямолинейных и меандрирующих участках реки.

При этом проявляет себя ряд негативных экологических последствий:

- понижение уровней воды в руслах рек и на прилегающих территориях;
- изменение уклонов и скоростей течения воды, активизация деформаций русла выше и ниже участка дноуглублений;
- нарушение баланса наносов в пределах и ниже участка дноуглублений;
- активизация оползневых процессов берегов;
- возможное развитие однонаправленных размывов, смещение планового положения русла;
- возможная смена типа руслового процесса (прорыв излучин, многоруканность);
- изменение качества донных отложений.

Наряду с этим возникает ухудшение условий для других видов деятельности на реках: водозаборов из-за понижения уровней воды в руслах рек; нерестилищ рыб из-за повышения мутности воды при добыче НСМ; появляется опасность подмыва опор мостовых переходов и трубопроводов в руслах рек; увеличивается экологическая напряженность для населенных пунктов, лесных и сельскохозяйственных угодий на берегах рек вследствие их подмыва и др.

С увеличением добычи материала из русел рек и на их поймах одновременно возрастают объемы дноуглубительных работ для обеспечения судходных глубин.

В целях минимизации негативных последствий инженерно-хозяйственной деятельности на русловый процесс ЦНИИКИВРом были проведены исследования и дана оценка негативного влияния инженерно-хозяйственной деятельности на русловый процесс рек, на основе которого разработаны Рекомендации по экологическому лимитированию добычи нерудных материалов на реках Беларуси [18]. Данные рекомендации обеспечивают:

- экспертно-прогностические оценки влияния на русловый процесс добычи нерудных материалов на реках;
- экологические требования с позиций руслового процесса к проектам реализации указанных видов деятельности при их согласовании.

Для экологического лимитирования объемов годовой добычи нерудных материалов из русел рек Беларуси в привязке к основным пунктам добычи в

Рекомендациях даются лимитные данные об их допустимых объемах и сформированы требования к дноуглублению при ведении работ по улучшению судоходных условий, добыче НСМ и др.

При работах по дноуглублению судового хода и улучшению судоходных условий, при прокладке трубопроводов грунт, извлекаемый со дна водотока, не забирается безвозвратно из русла, а лишь перемещается из границ трассы за ее пределы.

Срезка перекатов при дноуглублении всегда сопровождается снижением уровней воды на вышележащих участках (просадки уровней). При этом величины просадок зависят от степени срезки переката, типа руслового процесса на участке и местных особенностей морфологии русла.

Прорезь должна быть расположена так, чтобы обеспечивать лучшие условия для транспорта наносов (отвод их из прорези) и обеспечивать меньшую повторную заносимость прорези и, как следствие, меньшие деформации русла.

Отвалы грунта следует устраивать сплошными, без разрывов. Не рекомендуется перекрывать отвалами входы в старицы, затоны, заливы и т.д., а также укладывать грунт в местах понижения берегов, где поток в половодье выходит на пойму. Отметки гребней отвалов не должны превышать высоты пойменных берегов или островов, к которым они примыкают.

Трубопроводы в руслах рек следует прокладывать поперек устойчивых плесовых лощин.

Добыча НСМ должна предшествовать разработке проекта с детальной проработкой вопросов, включающих: характеристику районов, имеющих промышленные запасы нерудных строительных материалов; глубину залегания коренных пород и их состав (если они залегают неглубоко от дна и являются карстующимися, разработку карьеров производить запрещается); объем грунта, который можно извлечь, и схема размещения карьеров для избежания заметных снижений уровней; перечень компенсирующих сооружений и место их возведения для предотвращения снижения уровней; сроки разработки карьеров, чтобы не помешать нересту рыб.

В случаях необходимости неоднократного расположения карьеров и дноуглубления на одних и тех же участках реки обязательным в каждом проекте должен быть раздел по стабилизации уровня режима реки и обоснование компенсационных мероприятий.

Как правило, мероприятиям по стабилизации режима реки должны предшествовать работы по дноуглублению или проводиться одновременно с ними.

В качестве инженерных способов стабилизации режима реки могут служить: возведение на участках дноуглубления береговых шпор, ограждающих дамб; строительство ниже проектируемого дноуглубления низконапорных плотин, затопленных запруд или донных порогов; отсыпка в рус-

ло крупнозернистых материалов; создание искусственных зон обитания фауны и т.д.

15.4 Влияние маломерного флота на экологическую обстановку водоемов

Маломерный флот является значительным источником загрязнения водоемов нефтепродуктами. Эксплуатационные потери топлива, приходящиеся на один двигатель в день, составляют около 200 г. Количество единиц маломерного флота непрерывно возрастает.

Осуществляемые в нашей стране водоохранные мероприятия только в малой степени коснулись маломерного флота, целенаправленный плановый учет загрязнений от которого практически не ведется. В то же время год от года увеличивается мощность двигателей, и по водоемам буквально летают моторные лодки, оставляя за собой буруны воды, перемешанные с водорослями, мальками, донным грунтом.

Между моторизацией флота как достижением технического прогресса и заботой о безопасности и здоровье человека, охраной природы, включая рыбные ресурсы, никакого противоречия нет. Все дело в установлении разумных пределов развития моторного флота.

Среди причин, повлиявших на сокращение рыбных запасов, в первую очередь следует назвать увеличение количества моторных лодок. В обмелевшем озере нерест происходит на более мелких участках, поэтому отпугивающее действие лодок на рыб стало сказываться сильнее.

Сейчас, как бы ни были осторожны владельцы моторных лодок, утечка горючесмазочных материалов все равно происходит. Береговые заправочные пункты имеют несовершенное оборудование, и жирные масляные пятна расползаются от них по всей акватории, что нарушает нормальный газообмен, препятствует насыщению воды кислородом. Для химического распада образовавшейся на поверхности воды пленки также требуется кислород. Дефицит его отрицательно действует на живые организмы.

При работе самых распространенных лодочных двигателей «Ветерок», «Вихрь», «Нептун» выделяются бензапирен (БП) и другие канцерогенные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). За час работы двигателя в режиме среднего хода в воду поступает от 191 до 615 мкг/л БП.

Особенно опасный «букет» указанных веществ – в местах скопления моторных лодок, расположения баз маломерного флота. Здесь содержа-

ние БП в пробах воды в 4,5 раза, а в пробах донных отложений – в 10 раз больше, чем на участках, расположенных выше баз.

Попавшие в воду нефтепродукты частично растекаются по поверхности, частично поглощаются планктоном, водорослями, живыми организмами и в значительной мере откладываются на дно, откуда начинается их постоянная циркуляция по водоему. Под действием кислорода, света, микроорганизмов нефтепродукты постепенно разрушаются, но этот процесс длится до одного года, а при дефиците кислорода – еще дольше.

Исследования показывают, что есть самые серьезные основания судить о пагубном влиянии маломерного флота на реки и водоемы. Там, где стало обычным интенсивное движение моторных лодок, содержание нефтепродуктов в водоемах в несколько раз превышает допустимые концентрации. И это в местах, где отсутствуют какие-либо источники промышленного загрязнения.

Курсирование лодок мешает нормальному выклеву и подрастанию молоди промысловых рыб. Шумовые и волновые удары убивают личинок на стадии прикрепления их к растительности, а личинки, доросшие до мальков, часто гибнут у береговой линии. Массовое движение моторных лодок нарушает условия естественного воспроизводства рыбы, пути ее миграций, отражается на кормовой базе водоемов.

Уровень шума наиболее широко применяемых лодочных двигателей составляет в среднем 83 дБА при работе двигателя без капота и 80 дБА при работе с капотом. Самым шумным является двигатель «Привет-22» (выше 100 дБА). При увеличении частоты вращения или нагрузки шум двигателя возрастает.

Шум моторных лодок беспокоит обитателей водоемов. Птицы взлетают при их приближении, причем чем менее интенсивно движение лодок на данном участке, тем более чутко реагируют птицы на воздействие шума.

Шум от двигателей маломерного флота раздражает слух человека. Страдают от этого шума не только хозяева моторизованных плавучих средств, но и тишайшие байдарочники, люди, отдыхающие на берегу.

В целях уменьшения негативного влияния маломерного флота на окружающую среду целесообразно ограничить использование моторных лодок. В частности, следует запретить размещение новых стоянок и баз маломерного флота на водоемах в пределах населенных пунктов, организованных пляжей и лечебно-оздоровительных учреждений, а существующие стоянки и базы вывести с указанных территорий. Требуется строгая регламентация их размещения на территории зон санитарной охраны источников централизованного водоснабжения. Места размещения стоянок и баз маломерного флота необходимо согласовать

вать с органами санитарно-эпидемиологической службы водоохраны, рыбоохраны и другими заинтересованными ведомствами и организациями.

Строительство баз и стоянок маломерного флота должно осуществляться только по типовым проектам, предусматривающим комплекс мероприятий по предотвращению загрязнения окружающей среды. Следует запретить сброс нефтесодержащих вод в водоемы, предусмотрев на территории баз и стоянок организацию централизованного сбора их и удаления.

Комплекс технических и организационных мероприятий может значительно снизить неблагоприятные последствия, которые возникают в результате эксплуатации маломерного флота на водоемах страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Богословский М.А.* Водные пути. – М.: Речиздат, 1940. – 392 с.
- 2 *Богославчик П.М., Круглов Г.Г.* Проектирование и расчёт гидротехнических сооружений: Учеб. пособие. – Мн.: БНТУ, 2003. – 363 с.
- 3 *Бородкин Б.С., Селезнёв В.М.* Оборудование водных путей и портов. – М.: Транспорт, 1975. – 176 с.
- 4 *Быков Л.С., Боцаров В.В.* Гидротехнические сооружения на внутренних водных путях: Учебник для гидротехнических специальностей речных училищ и техникумов. – М.: Транспорт, 1976. – 296 с.
- 5 Водный кодекс Республики Беларусь/ Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 1999. – 36 с.
- 6 *Говоровский Б.* Проекты модернизации воднотранспортных соединений бассейна реки Днепр// Компас экспедитора и перевозчика. – 2001. – № 1. – С. 21 – 23.
- 7 *Голубев И.Р., Новиков Ю.В.* Окружающая среда и транспорт. – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.
- 8 *Гришанин К.В.* Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 312 с.
- 9 *Гришанин К.В., Дегтярёв В.В., Селезнёв В.М.* Водные пути: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1986. – 400 с.
- 10 *Земляновский Д.К.* Лоция внутренних судоходных путей: Учебник для учащихся ПТУ. – М.: Транспорт, 1979. – 172 с.
- 11 *Земляновский Д.К.* Общая лоция внутренних водных путей: Учебник речных училищ и техникумов. – М.: Транспорт, 1988. – 221 с.
- 12 Кодекс Республики Беларусь о недрах/ Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 1999. – 64 с.
- 13 *Колосов М.А.* Оборудование водных путей и портов. – Л.: ЛИВТ, 1988. – 53 с.
- 14 *Михайлов А.В.* Внутренние водные пути: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1973. – 328 с.
- 15 Нацыянальны атлас Беларусі. – Мн.: Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь, 2002. – 292 с.

- 16 *Никольский И.В., Тоняев В.И., Ляхов К.С.* География водного транспорта СССР: Учебник для институтов водного транспорта. – М.: Транспорт, 1983. – 216 с.
- 17 Положение о технологических схемах дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта из русел рек и других водоемов. – Минск: Минтранс, 2000 (приказ № 77 – Ц от 2.05.2000 г.).
- 18 Правила плавания по внутренним судоходным путям Белорусской ССР. – Мн.: Полымя, 1987. – 190 с.
- 19 Рекомендации по экологическому лимитированию добычи нерудных материалов на реках Беларуси. – Минск: ЦНИИКИВР, 1995. – 20 с.
- 20 Рекомендации по предупреждению эколого-хозяйственного ущерба от изменения руслового процесса рек дноуглублением и обвалованием. – Минск: Министерство природных ресурсов и охраны РБ, 1998. – 39 с.
- 21 Санитарные правила для речных судов СССР. – Л.: Транспорт, 1987. – 88 с.
- 22 *Сергеев В.* Речное судоходство в Республике Беларусь// Компас экспедитора и перевозчика.– 2003. – № 3. – С. 38-41.
- 23 *Чекренев А.И.* Дноуглубление: Учебник для вузов водного транспорта. – М.: Транспорт, 1967. – 304 с.
- 24 *Чекренев А.И., Гришанин К.В.* Водные пути. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1975. – 472 с.
- 25 *Щербаков В.А., Борисовец Ю.П., Александров В.Д.* и др. Справочник по водному транспорту леса. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 384 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Вопросы для самостоятельной подготовки студентов

Раздел 1

- 1 Перечислите основные этапы становления водного транспорта.
- 2 Назовите основные виды водных путей.
- 3 Что входит в состав внутренних водных путей?
- 4 В чем отличие общей протяженности реки от судоходной ее части?
- 5 Перечислите основные виды транспортной классификации водных путей.
- 6 Какие классы внутренних водных путей выделяют в зависимости от параметров судового хода?
- 7 Как подразделяются внутренние водные пути по видам сообщения?
- 8 Как классифицируются внутренние водные пути по условиям ветрового режима?
- 9 Как классифицируются внутренние водные пути по требованиям к навигационному оборудованию?
- 10 Перечислите основные технико-эксплуатационные характеристики водных путей.

Раздел 2

- 1 Для чего необходимо создание искусственных водных путей?
- 2 На какие виды делятся искусственные водные пути?
- 3 Что включает в себя шлюзование рек?
- 4 Перечислите основные структурные элементы гидроузла.
- 5 Назовите основные системы шлюзования, охарактеризуйте каждую из них.
- 6 Чем вызвана необходимость сооружения обходных каналов? Приведите примеры.
- 7 Для чего предназначены подходные каналы?
- 8 Виды подходных каналов (приведите примеры).
- 9 Охарактеризуйте межбассейновые соединения.
- 10 Расскажите о способах питания водораздельного бьефа водой.

Раздел 3

- 1 Какие виды круговоротов воды на Земле Вы знаете?

- 2 Какие процессы включает в себя малый круговорот воды над Мировым океаном?
- 3 В чём заключается малый круговорот воды над сушей?
- 4 Что включает в себя большой круговорот воды на Земле?
- 5 Напишите уравнения водного баланса воды на земном шаре и водного баланса суши.
- 6 В чём отличие водного баланса речного водосбора и отдельного замкнутого бассейна?
- 7 Виды питания рек.
- 8 Что включает в себя поверхностное питание рек?
- 9 Что включает в себя грунтовое питание рек?
- 10 Перечислите основные характеристики водного режима реки.
- 11 Назовите фазы водного режима реки.

Раздел 4

- 1 Назовите основные параметры, характеризующие суда.
- 2 Перечислите основные габаритные размеры судов, охарактеризуйте их и покажите на рисунке.
- 3 Что понимается под водоизмещением и грузоподъемностью судна? Приведите расчётные формулы.
- 4 Что понимается под судовым ходом?
- 5 Перечислите основные параметры судового хода, которые лимитируют движение судов по водному пути.
- 6 Из каких составляющих складывается судоходная глубина?
- 7 Какие требования предъявляются к судовому ходу на криволинейных участках водного пути?
- 8 Приведите расчётные формулы ширины судового хода при одностороннем и двустороннем движении.
- 9 Для чего и в каких случаях необходимо уширение судового хода?
- 10 Что необходимо обеспечить для организации судоходства на вновь осваиваемых реках или участках рек?
- 11 Чем характеризуется поверхность речного потока от истока к устью?
- 12 Что представляет собой продольный профиль дна реки?
- 13 Для чего необходимо построение поперечного профиля реки?
- 14 Приведите пример очертания живого сечения реки.

Раздел 5

- 1 Какие процессы происходят с руслом с течением времени?
- 2 Что понимается под неустановившимся движением и какими уравнениями оно выражается?

- 3 Когда движение речного потока считается установившимся?
- 4 Перечислите виды сопротивлений, оказываемых речным руслом движению потока.
- 5 Какие факторы влияют на изменение скорости движения воды на отдельных участках реки?
- 6 Изобразите эпюры скоростей течения на вертикалях (годографах) русла реки при отсутствии ветра, наличии препятствий, ледяном покрове. Где в этих случаях скорость будет достигать максимальных значений?
- 7 Что такое паводок и как он влияет на параметры потока?
- 8 Охарактеризуйте особенности движения речного потока на изгибах речного русла.
- 9 Когда происходит перемещение наносов на участке реки?
- 10 Какие виды грунтов, из которых сложено русло реки, Вы знаете?
- 11 От каких параметров зависит гидравлическая крупность частиц? Приведите их характеристику.
- 12 В чем разница между влекомыми и взвешенными наносами?
- 13 Охарактеризуйте виды русел рек, встречающихся в природе.
- 14 Что называется перекатом?
- 15 Изобразите схему переката и приведите основные его элементы.
- 16 В силу каких причин происходит меандрирование?
- 17 Перечислите основные виды меандрирования. В чем суть каждого из них?
- 18 Назовите основные типы перекатов и охарактеризуйте положение судового хода на каждом из них.

Раздел 6

- 1 Охарактеризуйте роль водохранилищ в народном хозяйстве.
- 2 Назовите виды водохранилищ и дайте им характеристику.
- 3 Перечислите основные характеристики водохранилищ и проиллюстрируйте на примере.
- 4 Назовите основные фазы годичного цикла водохранилищ, охарактеризуйте каждую из них.
- 5 Раскройте суть основных русловых режимов водохранилищ.
- 6 В чем суть годичного и многолетнего регулирования водохранилищем режима стока?
- 7 В чем суть суточных колебаний расхода воды, вызываемых регулированием режима стока?
- 8 Какие воздействия на русло оказывает сброс воды через плотину водохранилища при различных видах регулирования стока?
- 9 Какое воздействие оказывает работа водохранилищ на русло реки с точки зрения судоходства?

10 Как согласовывается режим работы водохранилищ с потребностями различных отраслей народного хозяйства?

11 Чем характеризуется ледовый режим водохранилищ?

Раздел 7

1 Чем характеризуется изменение уровня воды в створе реки?

2 Раскройте понятие «обеспеченность минимального навигационного уровня воды».

3 Что означает «нормирующий пережат»?

4 Что включают в себя методы улучшения и поддержания судоходных условий?

5 Что входит в состав комплекса путевых работ?

6 В чем суть различных видов регулирования речного стока?

7 Что включает в себя комплекс дноуглубительных работ? Охарактеризуйте каждый вид этих работ.

8 Что понимают под коренным улучшением судоходных условий?

9 Какие задачи решаются разработкой перспективной схемы улучшения и поддержания судоходных условий?

10 Какие разделы включает в себя перспективная схема улучшения и поддержания судоходных условий?

Раздел 8

1 Назовите область применения дноуглубительных работ.

2 Что входит в состав транзитного дноуглубления?

3 Изложите содержание внетранзитного дноуглубления.

4 Приведите классификацию судоходных прорезей и ее краткую характеристику.

5 Перечислите общие требования, предъявляемые к судоходным прорезям.

6 Перечислите требования, предъявляемые к прорезям с точки зрения судоходства.

7 Назовите исходные данные, требуемые для разработки эксплуатационных судоходных прорезей.

8 Дайте сравнительную оценку разработки эксплуатационных прорезей на различных типах пережатов.

9 Что входит в состав проекта капитальной прорези?

10 Перечислите основные технические средства, применяемые при дноуглублении.

11 В чем отличие черпаковых земснарядов от землесосов?

- 12 Какие применяются схемы разработки судоходных прорезей и область их применения?
- 13 Проиллюстрируйте траншейный способ разработки прорези.
- 14 Проиллюстрируйте способ папильонажной разработки прорези.
- 15 В чем суть траншейно-папильонажного способа разработки прорези?
- 16 Каким образом отводится грунт от земснарядов различных типов?
- 17 Какие условия должны быть соблюдены при выборе места отвала грунта при разработке прорези?

Раздел 9

- 1 Что понимают под тральными и руслоочистительными работами?
- 2 Назовите основные виды препятствий, встречающихся на судовом ходу, и дайте характеристику каждому из них.
- 3 Перечислите основные виды работ по очистке русла реки.
- 4 Какие технические средства применяются для проверки чистоты судового хода?
- 5 Приведите сравнительную оценку тралов различных типов.
- 6 Опишите способ обследования судового хода при помощи гибкого трала.
- 7 Опишите способ обследования судового хода при помощи жесткого трала.
- 8 Дайте характеристику основных видов тральных работ.
- 9 Какие требования предъявляются к проведению тральных работ?
- 10 Назовите технические средства ведения руслоочистительных работ.
- 11 Опишите порядок проведения руслоочистительных работ.

Раздел 10

- 1 В чем состоит суть использования системы выправления русел рек?
- 2 Назовите основные задачи выправления русел рек.
- 3 Какие системы выправления русел рек Вы знаете?
- 4 Приведите классификацию выправительных сооружений.
- 5 Для чего применяются выправительные сооружения активного действия?
- 6 Что представляет собой полузапруда? Проиллюстрируйте на примере.
- 7 Что представляет собой запруда? Приведите пример ее применения.
- 8 В каких случаях применяется струнаправляющая дамба?
- 9 Для чего применяются выправительные сооружения пассивного действия?
- 10 Дайте общую характеристику затруднительных участков.

- 11 Приведите характеристику первой группы затруднительных участков. Покажите на примере.
- 12 Охарактеризуйте вторую группу затруднительных участков. Покажите на рисунке.
- 13 Дайте характеристику третьей группы затруднительных участков. Покажите на примере.
- 14 Какие затруднительные участки относятся к четвертой группе?
- 15 Какие разделы входят в состав проекта выправления затруднительного участка?
- 16 Какие способы используются для расчета ширины выправительной трассы?
- 17 Что такое радиус кривизны выправительной трассы, порядок его расчета?
- 18 Принцип работы запруд и полузапруд, продольных дамб.
- 19 Принцип работы береговых укреплений.
- 20 Какие конструкции выправительных сооружений Вы знаете?
- 21 Приведите основные параметры выправительных сооружений из каменной наброски.

Раздел 11

- 1 Что является основой для разработки плана путевых работ?
- 2 Перечислите периоды, в течение которых выполняются путевые работы на свободных реках.
- 3 Какие виды работ выполняются в каждом из периодов?
- 4 Перечислите периоды проведения путевых работ на реках, не имеющих половодий. Что входит в состав этих работ?
- 5 Какие задачи ставятся производственно-оперативным планом путевых работ?
- 6 Перечислите основные разделы производственно-оперативного плана путевых работ.
- 7 Для чего разрабатывается календарный график расстановки технических средств? Покажите на примере его содержание.
- 8 Какую роль выполняет при проведении путевых работ наряд-задание?
- 9 Какие сведения включает наряд-задание на разработку прорези?
- 10 Проиллюстрируйте на примере порядок составления наряда-задания на разработку прорези.
- 11 Какие пути повышения эффективности путевых работ Вам известны?
- 12 Перечислите основные перспективные направления развития и совершенствования путевых работ.

Раздел 12

- 1 С какой целью сооружаются шлюзы на водных путях?
- 2 Какие типы шлюзов встречаются на ВВП?
- 3 Назовите основные части шлюзов, изобразите на рисунке.
- 4 В чем состоит назначение камер шлюзов?
- 5 Каким образом осуществляется работа шлюза?
- 6 Как определяются габаритные размеры камер шлюза?
- 7 Как классифицируются камеры шлюзов по типам стен, днищ и обратных засыпок?
- 8 Назовите основные конструкционные элементы голов камер шлюза.
- 9 Для чего предназначены направляющие и причальные устройства шлюзов? Как они работают?
- 10 Какие виды системы питания шлюзов Вы знаете и каким требованиям они должны отвечать?
- 11 Дайте отличительную характеристику головной и распределительной систем питания шлюзов.
- 12 Изобразите процесс пропуска судов при различных схемах шлюзования.
- 13 Из каких составляющих складывается время шлюзования при одностороннем движении судов через шлюз?
- 14 Из каких составляющих складывается время шлюзования при двустороннем движении судов через шлюз?
- 15 Как определяется величина судопропускной способности шлюза?
- 16 Что такое грузопропускная способность шлюза? Порядок ее расчета.

Раздел 13

- 1 Что называют каналом? Какие виды каналов Вы знаете?
- 2 Как подразделяются судоходные каналы по назначению? Их краткая характеристика.
- 3 Какими бывают судоходные каналы по конструкции? Их особенности.
- 4 Дайте характеристику основных форм поперечного сечения каналов и его расчетных параметров.
- 5 Какие требования предъявляются к продольному профилю канала?
- 6 Что входит в состав инженерных сооружений на каналах?
- 7 В чем заключаются особенности движения судов на каналах?
- 8 Приведите расчет судопропускной способности канала.

Раздел 14

- 1 Назовите основные причины, вызывающие необходимость продле-

ния навигации на внутренних водных путях.

2 Охарактеризуйте мероприятия, используемые на водных путях для продления навигации.

3 Какие технические средства применяются для продления навигации? Дайте их краткую характеристику.

4 В чем суть термического способа разрушения льда?

5 В чем заключается зарубежный опыт продления навигации?

6 На чем основывается выбор того или иного способа продления навигации?

Раздел 15

1 Какие производственные процессы на водном транспорте оказывают негативное влияние на окружающую среду?

2 Перечислите основные источники загрязнения окружающей среды от производственной деятельности на водном транспорте и дайте их краткую характеристику.

3 Какими законодательными и нормативными документами определены мероприятия бережного и рационального использования недр и природных ресурсов в Республике Беларусь?

4 На какие государственные органы в нашей республике возложены функции охраны и регулирования использования природных ресурсов?

5 Какие задачи решаются Центральным институтом комплексного использования водных ресурсов?

6 Перечислите комплекс мероприятий, направленных на предотвращение загрязнения водоемов объектами водного транспорта.

7 Охарактеризуйте негативное влияние дноуглубления на русловый процесс.

8 К каким негативным экологическим последствиям приводит дноуглубление и добыча НСМ?

9 Какие мероприятия рекомендованы ЦНИИКИВРом в целях минимизации последствий инженерно-хозяйственной деятельности на водоемах Республики Беларусь?

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Классификация внутренних водных путей Республики Беларусь

Реки, границы плесов, бьефов каналов	Протяженность, км	Габариты судового хода			Класс внутреннего водного пути по ГОСТ 26775-97	Подмостовые габариты, м: высота от РСУ h ширина B	Максимальная высота плавающих судов, м	Надводный габарит воздушных переходов от максимального уровня, м	Глубина заложения подводных переходов от ПУ, м, не менее	Опорный гидрологический пост
		гарантированные глубина, см ширина, м	существующие	перспективные						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
р. Днепр										
Гатьковщина (1618) – у.р. Леща (1590)	28	70/20	70/20	105	VI	9,5/60	8	9,5–17	4,0	Орша
у.р. Леща (1590) – Могилев (1508)	82	100/20	110/20	125	VI	9,5/60	10	11,5–19	4,0	Орша
Могилев (1508) – Рогачев (1325)	183	105/25	110/25	135	V	10,5/100	10	11,5–19	4,0	Могилев
Рогачев (1325) – у.р. Березина (1207)	118	105/25	110/25	140	V	10,5/100	10	11,5–19	4,0	Жлобин
у.р. Березина (1207) – Речица (1182)	25	105/25	110/25	140	V	10,5/100	10	11,5–19	4,0	Речица
Речица (1182) – Лоев (1087)	95	110/30	130/30	150	V	10,5/100	10	11,5–19	4,5	Речица
Лоев (1087) – Н. Жары (967)	120	110/40	130/40	170	V	10,5/100	10	11,5–19	4,5	Лоев
р. Сож										
Гроново (350) – Славгород (280)	70	70/15	70/15	95	VII	7/40	10	11,5-19	4,0	Славгород
Славгород (280) – Крысин (120)	160	90/20	90/20	105	VI	9,5/60	10	11,5-19	4,0	Славгород
Крысин (120) – устье (0)	120	125/30	130/30	160	V	10,5/100	10	11,5-19	4,5	Гомель
р. Березина										
Борисов (390) – Бобруйск (171)	221	100/25	115/25	125	VI	10,5/100	10	11,5-19	4,0	Борисов
Бобруйск (171) – устье (0)	171	100/25	110/25	130	V	10,5/100	10	11,5-19	4,0	Светлогорск

Заславское водохранилище	23	150/30	150/30	160	V	10,5/100	4,5	6,0-13,5	1,5м от дна	Гидроузел
Днепр - Бугский канал										
Брест (195)-Пинск (0)	194	200/20	240/40	200	III	13,5/120	10,0	11,5-19	5,5	Отметка бьефа
р. Припять										
Пинск (512) – Воляньские мосты (462)	50	200/40	240/40	240	III	13,5/120	10,0	11,5-19	5,5	Пинск
Воляньские мосты (462) – Нырча (408)	54	145/30	150/30	200	IV	12/120	10,0	11,5-19	5,5	Коробье
Нырча (408) – Балажєвичи (242)	166	140/30	150/30	200	IV	12/120	10,0	11,5-19	5,5	Черничи
Балажєвичи (242) – Пхов (193)	49	140/30	150/30	205	IV	12/120	10,0	11,5-19	5,5	Мозырь
Пхов (193) – Усов (71)	122	155/30	170/30	215	IV	12/120	10,0	11,5-19	5,5	Мозырь
Микашевичский канал	7	145/30	150/30	200	IV	12/120	10,0	11,5-19	5,5	Черничи
р. Западный Буг										
Брест (0) – Немиров (60)	60	-	-	-	VII	7/40	6,0	7,5-15,0	1,5 м от дна	-
р. Горынь										
ст. Горынь (80) – устье (0)	80	80/15	80/15	115	VI	9,5/60	10,0	11,5-19	3,5	ст. Горынь
р. Западная Двина										
у. р. Усвяча (682) – Витебск (613)	69	65/20	65/20	100	VI	9,5/60	10,0	11,5-19	3,5	Сураж
Витебск (613) – Бешєнковичи (554)	59	85/20	85/20	120	VI	9,5/60	10,0	11,5-19	3,5	Витебск
Бешєнковичи (554) – Верхнедвинск (390)	164	85/20	85/20	130	VI	9,5/60	10,0	11,5-19	3,5	Полоцк
р. Неман										
Мосты (598) – Комотово (539)	59	-	-	100	VI	9,5/60	10	11,5-19	3,5	Гродно
Комотово (539) – Перелом (482)	57	110/25	110/25	130	V	10,5/100	10	11,5-19	3,5	Гродно
Перелом (482) – Шандубра (462)	20	-	-	100	VI	9,5/60	10	11,5-19	3,5	Гродно
<i>Примечание</i> – В графе 9 надводный габарит рассчитывается как сумма графы 8 и безопасного расстояния по воздуху, принимаемого из таблицы на с. 154										

Продолжение приложения Б

При напряжении, кВт	1	1 – 20	35 – 110	150 – 220	до 330	до 500	600 кВт. постоянного тока
Расстояние по воздуху от выступающих частей (судна) до ближайшего провода под напряжением, м	1,5	2	4	5	6	9	9

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

Величины неразмывающих скоростей воды

Однородный несвязный грунт	Диаметр частиц грунта, мм	Неразмывающие скорости воды, м/с, при средней глубине потока, м			
		0,4	1,0	2,0	≥3,0
Пыль и ил	0,005 ... 0,05	0,12 ... 0,14	0,15 ... 0,21	0,17 ... 0,24	0,19 ... 0,26
Песок:					
мелкий	0,05 ... 0,25	0,14 ... 0,27	0,21 ... 0,32	0,24 ... 0,37	0,26 ... 0,40
средний	0,25 ... 0,50	0,27 ... 0,47	0,32 ... 0,57	0,37 ... 0,65	0,40 ... 0,70
крупный	0,50 ... 2,0	0,47 ... 0,53	0,57 ... 0,65	0,65 ... 0,75	0,70 ... 0,80
Гравий:					
мелкий	2 ... 5	0,53 ... 0,65	0,65 ... 0,80	0,75 ... 0,90	0,80 ... 0,95
средний	5 ... 10	0,65 ... 0,80	0,80 ... 1,00	0,90 ... 1,10	0,95 ... 1,20
крупный	10 ... 20	0,80 ... 0,95	1,00 ... 1,20	1,10 ... 1,30	1,20 ... 1,40
Галька:					
мелкая	20 ... 25	0,95 ... 1,20	1,20 ... 1,40	1,30 ... 1,60	1,40 ... 1,80
средняя	25 ... 40	1,20 ... 1,50	1,40 ... 1,80	1,60 ... 2,10	1,80 ... 2,20
крупная	40 ... 100	1,50 ... 2,00	1,80 ... 2,40	2,10 ... 2,80	2,20 ... 3,00

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(справочное)

Условия применения различных конструкций выправительных сооружений

Конструкция сооружения	Рисунки Г.1	Область применения			
		тип, категория реки	тип русла	вид регулирования	назначение конструкции
Каменно-набросная на хворостяном тюфяке в основании	<i>a</i>	Всех категорий и типов	Размываемое	Меженное, весеннее	Продольное сооружение, запруда, полузапруда
Каменно-хворостяная с наклонной каменной призмой без тюфяка (Манского типа)	<i>б</i>	Полугорные, горные всех категорий	Трудноразмываемое	Меженное, весеннее	Продольное сооружение
Грунтовая с надводным покрытием и хворостяным тюфяком в основании	<i>в</i>	Равнинные средние, большие	Размываемое	Меженное, весеннее	Запруда, полузапруда, полупродольное сооружение
Грунтовая с наклонной призмой без тюфяка в основании	<i>г</i>	Равнинные средние, большие	Размываемое	Меженное	Запруда
Свайная с хворостяным заполнителем	<i>д</i>	Равнинные средние, большие	Размываемое	Меженное	Запруда, полузапруда, продольное сооружение
Свайная с наклонными каменно-набросными призмами	<i>e</i>	Равнинные средние, большие	Размываемое	Меженное	Запруда, полузапруда, продольное сооружение
Ряжевая с заполнением камнем (галькой)	<i>ж</i>	Полугорные, равнинные всех категорий	Неразмываемое, трудноразмываемое	Меженное, весеннее	Запруда, полузапруда, продольное сооружение
Ряжевая облегченная	<i>з</i>	Полугорные, равнинные всех категорий	Неразмываемое, трудноразмываемое	Меженное, весеннее	Продольное сооружение

Грунтовая намывная с надводным покрытием	<i>и</i>	Равнинные средние, большие	Размываемое	Меженное	Полузапруда, продольное сооружение
Грунтовая насыпная с надводным покрытием	<i>и'</i>	Равнинные средние, большие	Размываемое	Меженное	Полузапруда, продольное сооружение
Козловая каменно-хворостяная	<i>к</i>	Полугорные малые, средние	Размываемое	Весеннее, меженное	Продольное сооружение
Древесно-ветвистая завеса	<i>л</i>	Равнинные, полугорные всех категорий	Размываемое	Весеннее	Запруда
Струнаправляющий бон со щитами	<i>м</i>	Равнинные всех категорий	Размываемое	Весеннее, меженное	Продольное сооружение

Продолжение приложения Г

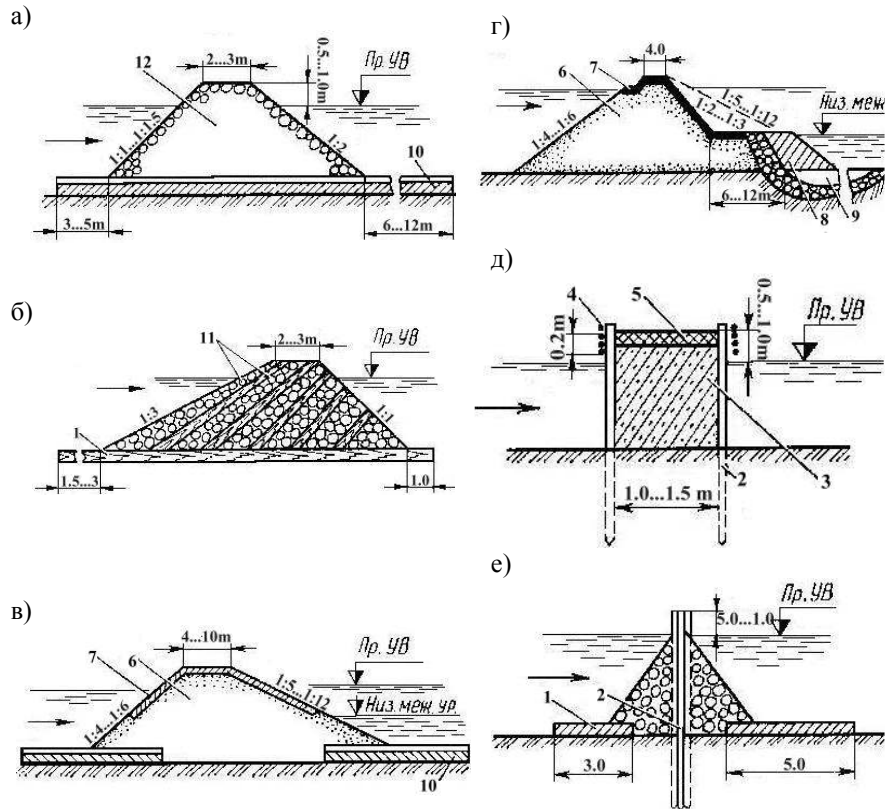
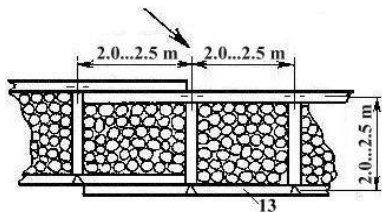


Рисунок Г.1 (начало) – Конструкции русловыправительных сооружений:

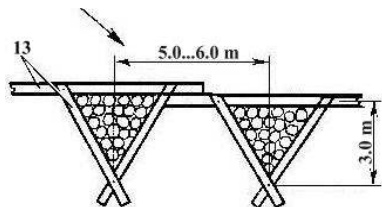
а – из каменной наброски; б – каменно-хворостяная Манского типа; в – грунтовая с надводным покрытием и хворостяным тюфяком в основании; г – грунтовая с наклонной каменной призмой без тюфяка в основании; д – свайная с хворостяным наполнителем; е – свайная с наклонными каменно-набросными призмами; 1 – хворостяная выстилка или хворостяной тюфяк; 2 – сваи $\varnothing 0,18 \dots 0,20$; 3 – заполнение фашинами или хворостом (хвойными деревьями с кронами); 4 – заплетка хворостяная; 5 – пригрузка или стяжка проволокой либо деревянной схваткой; 6 – намывной грунт; 7 – защитное покрытие (цементно-грунтовые и др.); 8 – наклонная призма; 9 – отсыпка воронки размыва; 10 – хворостяной тюфяк толщиной $0,35 \dots 0,5$ м; 11 – послышная укладка хвороста ($0,2 \dots 0,3$ м) и камня ($0,3 \dots 0,4$ м); 12 – наброска из камня

Окончание приложения Г

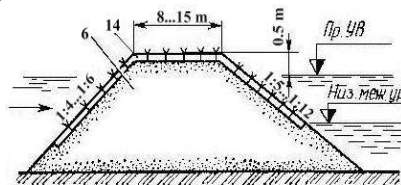
ж)



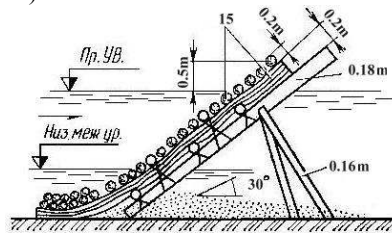
з)



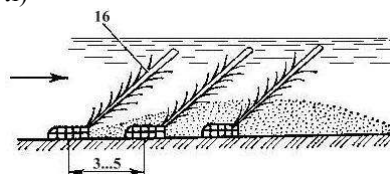
и)



к)



л)



м)

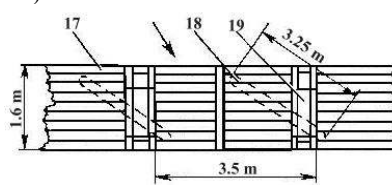


Рисунок Г.1 (окончание) – Конструкции русловыправительных сооружений:
 ж – план ряжевой конструкции с заполнением камнем (галькой); з – план ряжевой конструкции облегченной; и – грунтовая намывная с надводным покрытием; к – козловая каменно-хвостостяная; л – древесно-ветвистая завеса; м – план струнаправляющего бона со щитами;
 6 – намывной грунт; 13 – ряженная рубка; 14 – посадка ивняка или травосеяние; 15 – послойная укладка хвороста и камня толщиной 0,2 м по слегам; 16 – деревья с кронами; 17 – бон;
 18 – деревянный щит; 19 – лебедка

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(*справочное*)
**Основные характеристики шлюзов зарубежных
внутренних водных путей**

Страна	Название шлюзованной реки или водного пути	Полезные размеры камеры, м		Глубина на королях, м
		длина	ширина	
США	Огайо	183	33,4	2,75
	Теннесси	105	18,3	2,75
	Колумбия	250	24,4	3,1
	Водные пути по р. Св. Лаврентия	250	24,4	9,5
Румыния, Югославия	Дунай	310	34	4,5
ФРГ	Канал Везель-Даттельн	220	12	3,5
Франция	Сена	220	17	4,5
Голландия	Канал Твент	140	12	3,25

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Водные пути и их технико-эксплуатационная характеристика	5
1.1 Историческая справка о развитии водных путей	5
1.2 Основные виды водных путей	8
1.3 Транспортная классификация внутренних водных путей	12
1.4 Технико-эксплуатационная характеристика водных путей	13
2 Искусственные водные пути	15
2.1 Основные виды искусственных водных путей	15
2.2 Шлюзование рек	16
2.3 Обходные и подходные каналы	17
2.4 Межбассейновые соединения	18
3 Водный баланс и питание рек	20
3.1 Круговорот воды на Земле	20
3.2 Водный баланс суши и речных бассейнов	21
3.3 Питание рек	22
3.4 Характеристики водного режима реки	23
4 Основные требования судоходства на внутренних водных путях и сооружениях	26
4.1 Основные параметры судов	26
4.2 Габариты водных путей	27
4.3 Судоходные глубины водных путей	28
4.4 Ширина судового хода	30
4.5 Радиусы закругления и уширения судового хода на кривых	31
4.6 Продольный и поперечный профили	31
5 Речной поток и его русло	35
5.1 Общие сведения о речном потоке	35
5.2 Понятие неустановившегося и установившегося движения речного потока	36
5.3 Виды сопротивлений естественных русел	37
5.4 Скорость течения воды	38
5.5 Особенности движения речного потока при прохождении паводка ..	39
5.6 Речные наносы	42
5.7 Виды речных русел. Перекаты	44
6 Водохранилища и реки с зарегулированным стоком	49
6.1 Роль водохранилищ в народном хозяйстве	49
6.2 Классификация и основные характеристики водохранилищ	49
6.3 Уровневый режим водохранилищ	51
6.4 Русловый режим водохранилищ	52
6.5 Водный режим рек с зарегулированным стоком	54
6.6 Влияние регулирования стока на русловый процесс и судоходные глубины	56
6.7 Ледовый режим водохранилищ и нижних бьефов	57
7 Подготовка рек к судоходству	59
7.1 Условия судоходства на свободных реках	59
7.2 Методы улучшения и поддержания судоходных условий	60
7.3 Перспективные схемы улучшения судоходных условий	62

8	Дноуглубительные работы	64
8.1	Область применения дноуглубления	64
8.2	Классификация судоходных прорезей	65
8.3	Требования, предъявляемые к судоходным прорезям	66
8.4	Трассирование судоходных эксплуатационных прорезей	66
8.5	Состав проекта капитальной прорези	68
8.6	Технические средства дноуглубления	69
8.7	Схемы разработки судоходных прорезей	71
9	Тральные и руслоочистительные работы	74
9.1	Основные причины, вызывающие необходимость работ по очистке русла	74
9.2	Виды работ по очистке русла	75
9.3	Технические средства и ведение тральных работ	75
9.3.1	Технические средства проведения тральных работ	75
9.3.2	Ведение тральных работ	78
9.4	Технические средства и порядок ведения руслоочистительных ра- бот	80
10	Выправление русел рек	82
10.1	Основные задачи и системы выправления русел рек	82
10.2	Классификация выправительных сооружений	84
10.3	Классификация затруднительных участков	86
10.4	Составление проекта выправления затруднительного участка	90
10.5	Расчет ширины и кривизны выправительной трассы	94
10.6	Работа выправительных сооружений	95
10.6.1	Работа полузапруд и запруд	95
10.6.2	Продольные сооружения из грунта	97
10.6.3	Береговые укрепления на реках	98
10.7	Возведение выправительных сооружений	98
11	Проектирование путевых работ	102
11.1	Общие положения	102
11.2	Принципы планирования путевых работ	102
11.3	Производственно-оперативный план путевых работ	103
11.4	Календарный график расстановки технических средств	105
11.5	Наряд-задание на выполнение путевых работ	106
11.6	Пути повышения эффективности путевых работ	108
11.7	Перспективы развития и совершенствования путевых работ	109
12	Судоходные шлюзы и системы их питания	111
12.1	Типы судоходных шлюзов, составные части и их назначение	111
12.2	Параметры судоходных шлюзов	112
12.3	Типы и конструкция камер шлюзов	113
12.4	Конструкция голов шлюзов	114
12.5	Оборудование шлюзов	116
12.6	Направляющие и причальные устройства шлюзов	117
12.7	Основные системы питания шлюзов	118
12.8	Схемы и время шлюзования	119
12.9	Судопропускная способность шлюзов	123
13	Судоходные каналы	125

13.1	Классификация судоходных каналов	125
13.2	Поперечные и продольные профили судоходных каналов	127
13.3	Инженерные сооружения на каналах	128
13.4	Особенности движения судов на каналах	128
13.5	Пропускная способность канала	129
14	Способы продления навигации на внутренних водных путях	130
14.1	Причины, вызывающие необходимость продления навигации	130
14.2	Основные способы поддержания судоходства на внутренних водных путях	130
15	Экологические аспекты внутренних водных путей	134
15.1	Основные источники загрязнения окружающей среды	134
15.2	Основные мероприятия по охране водных ресурсов Республики Беларусь	136
15.3	Природоохранные требования к инженерно-хозяйственной деятельности при проведении дноуглубительных работ и добыче нерудных строительных материалов	137
15.4	Влияние маломерного флота на экологическую обстановку водоемов	140
	Список литературы	142
	Приложение А Вопросы для самостоятельной подготовки студентов	144
	Приложение Б Классификация внутренних водных путей Республики Беларусь	152
	Приложение В Величины неразмывающих скоростей воды	155
	Приложение Г Условия применения различных конструкций выправительных сооружений	156
	Приложение Д Основные характеристики шлюзов зарубежных внутренних водных путей	160

Учебное издание

ПОДКОПАЕВ Виталий Алексеевич

Водные транспортные пути

Учебное пособие

Редактор Н.А. Д а ш к е в и ч
Технический редактор В.Н. К у ч е р о в а
Корректор Л.И. П а н ь к о в а

Подписано в печать 06.09.2004 г. Формат бумаги 60x84^{1/16}.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 9,53. Уч.-изд. л. 9,54. Тираж 100 экз.
Зак. № . Изд. № 4133.

Редакционно-издательский отдел БелГУТа, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
Лиц. № 02330/0133394 от 19.07.2004 г.

Типография БелГУТа, 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
Лиц. № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.