



Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
имени адмирала С.О. МАКАРОВА**

Институт ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

В. И. Шабанов

П. А. Гарибин

Г. Л. Гладков

ВОДНЫЕ ПУТИ И ПОРТЫ

Учебное пособие

*Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова в качестве учебного пособия
по направлениям подготовки 26.05.05 «Судовождение»*

Санкт-Петербург

Издательство ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

2016

ББК 627 (28)

УДК 39. 41

Ш 12

Ш 12 Шабанов В. И. Водные пути и порты: учеб. пособие / В. И. Шабанов, П. А. Гарибин, Г. Л. Гладков. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2016. — 202 с.

ISBN 978-5-9509-0230-7

Пособие содержит актуальные сведения о внутренних водных путях и гидротехнических сооружениях на них. Предназначено для студентов 2-го и 3-го курсов специальностей 180402 и 180403.65 «Судовождение» специализации «Судовождение на морских и внутренних водных путях» в качестве основной литературы при изучении курса «Внутренние водные пути и гидротехнические сооружения».

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова в качестве учебного пособия по направлениям подготовки 26.05.05 «Судовождение».

Рецензенты:

Ребковец А. В., проф., канд. техн. наук, ген. директор ЗАО «Ленгипроречтранс»;

Сикарев А. А., проф., д-р техн. наук, зав. каф. инфокоммуникационных систем морского и речного флота

ISBN 978-5-9509-0230-7

© ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», 2016

© В. И. Шабанов, П. А. Гарибин, Г. Л. Гладков, 2016

Введение

Гидротехника — отрасль науки и техники, занимающаяся изучением водных ресурсов и их использованием для нужд людей и борьбы с разрушительным действием вод с помощью специальных (гидротехнических) сооружений устройств и оборудования.

Гидротехнические сооружения (ГТС) неразрывно связаны с мореплаванием и являются частью обеспечивающей инфраструктуры флота.

Исторически так сложилось, что практически все крупные населенные пункты России располагаются на водных артериях (коммуникациях), естественных или искусственных. По оценкам специалистов свыше 500 тыс. км рек и озер может быть освоено для судоходства. Россия является страной с развитой сетью водотоков, которая включает в себя около 100 тыс. рек, имеющих названия и нанесенных на карты, общей протяженностью около 4 млн км. По количеству водных путей России есть чем гордиться, например, по протяженности внутригородских водотоков Санкт-Петербург более чем вдвое превосходит Венецию и Амстердам вместе взятые.

В России существует и развивается крупнейшая в мире единая система морских портов и водных путей, имеющая стратегическое значение. Функциональная ценность ГТС заключается в том, что они являются подсистемой водно-транспортной системы, которая в свою очередь входит в единую транспортную систему страны.

При перевозке грузов водным транспортом обеспечение безопасности движения достигается за счет реализации мероприятий, направленных на уменьшение или исключение вероятности отказов, которые могут происходить в системе «судно – водный путь».

При движении судов по водному пути аварийные события (отказы) в основном определяются надежностью:

- судового состава (судно);
- водного пути (габариты в мостовых пролетах и шлюзах, габариты водного пути), а также условиями транспортировки (волны, ветер, наличие встречных судов).

Знание элементарных сведений о водных путях, естественных условиях рек и озер, воднотранспортных ГТС позволит будущему судоводителю более адекватно оценивать возникающие условия движения и маневрирования и избежать возникновения аварийных ситуаций.

Раздел 1. Общие сведения о водном транспорте

1.1. Роль транспорта в экономике страны

Транспорт (от лат. *transporto* — перемещаю) — отрасль материального производства, осуществляющая перемещение людей и грузов. С помощью транспорта обеспечиваются движение товаров, начиная от сырья с места добычи и заканчивая готовым к потреблению продуктом.

Транспорт не создает материальных ценностей, но активно участвует в процессе их производства, оказывая транспортную услугу, и тем самым обеспечивает продолжение процесса производства в пределах процесса обращения.

При налаженной работе всего транспорта нормально развивается экономика, рационально размещаются производительные силы, осваиваются природные ресурсы, налаживаются внешние экономические и культурные связи, укрепляется обороноспособность страны. При организации транспортной системы необходимо учитывать экономию трудовых ресурсов, материалов, энергии и условия охраны природы.

В зависимости от среды, в которой транспорт выполняет свои функции он может быть: *воздушным* (самолеты, вертолеты, воздушные шары, дирижабли и т. п.), *наземным*, в том числе: подземным (метро, трубопроводы и т. п.), рельсовым (железная дорога, трамвай и т. п.) и безрельсовым (автомобили, мотоциклы, автобусы, троллейбусы и т. п.), *водным* (суда, яхты и т. п.), в том числе подводным (подводные лодки), *космическим* (ракеты).

Водный транспорт — самый древний вид транспорта. До появления железных дорог (вторая половина XIX в.) он оставался важнейшим видом транспорта. Даже самое примитивное парусное судно за сутки преодолевало в четыре-пять раз большее расстояние, чем караван вьючных животных. Перевозимый груз был большим, расходы на эксплуатацию — меньше.

На сегодняшний день в экономике большинства стран лидирующее положение по объему перевозок занимают такие виды транспорта как железнодорожный, автомобильный, воздушный, трубопроводный. Однако до сих пор водный транспорт сохраняет свою важную роль. Водный

транспорт — самый дешёвый после трубопроводного. В перевозках через моря и океаны у водного транспорта конкурентов нет (авиаперевозки очень дороги), морские суда перевозят самые разные виды товаров, но большую часть грузов составляют нефть и нефтепродукты, сжиженный газ, уголь, руда.

Объем грузов, перевозимых средствами морского транспорта во всем мире за год, превышает годовой суммарный объем грузов, перемещаемых всеми остальными видами транспорта.

По внутренним водным путям (ВВП) перевозят в основном массовые грузы — строительные материалы, уголь, руду — перевозка которых не требует высокой скорости (здесь сказывается конкуренция с более быстрым автомобильным и железнодорожным транспортом).

Транспорт — это энергозатратная и материалоемкая отрасль производства. На водном транспорте на единицу грузоподъемности приходится в 5 – 7 раз меньше металла на создание подвижного состава, чем на автотранспорте и на железной дороге. Много металлоконструкций и других строительных материалов расходуется при прокладке автомобильных и железных дорог, строительстве трубопроводов. Исходя из конкретных природных и экономических условий региона, преимущественное развитие в разной мере получает наземный, водный или воздушный транспорт.

Железнодорожный транспорт занимает первое место в России по грузообороту с учетом дальности перевозок. На огромной территории России железные дороги имеют важное экономическое и социальное значение. Средняя интенсивность движения по железным дорогам общего пользования в России в 5 раз выше, чем в США, и в 7 – 10 раз выше, чем в развитых странах Западной Европы. Железнодорожный транспорт уступает автомобильному по количеству перевозимых грузов, но опережает его по средней дальности доставки, а морскому транспорту уступает только по объему внешнеторговых перевозок.

Воздушный транспорт имеет большую скорость, значительную дальность передвижения, высокую мобильность, простоту в организации транспортных коридоров по сравнению со всеми другими видами транс-

порта. Он наиболее удобен для дальних пассажирских перевозок и для доставки срочных грузов, где большие затраты топлива оправданы.

Относительно низкая скорость передвижения вертолетов компенсируется отсутствием требований, предъявляемых к местам их посадки и взлета. В настоящее время возрождается интерес к дирижаблям так как, они имеют преимущества вертолетов по взлету-посадке, теоретически их грузоподъемность выше, чем у самолетов, при этом сохраняется преимущество по организации воздушных транспортных коридоров в зоне полного бездорожья на земле. По расходу топлива дирижабль экономичнее всех видов транспорта. Теперь главное в их развитии — это скорость и безопасность перемещения грузов.

Автомобильный транспорт в настоящее время стал мировым лидером по перевозке грузов, перехватив при этом первое место по загрязнению окружающей среды у промышленности. Каждый год в автомобильных авариях в мире гибнет больше людей, чем в вооруженных конфликтах. Снегопад, гололед, туман парализуют движение автомобилей, на дорогах увеличивается число катастроф. На единицу груза, перевозимого на автомобиле, затрачивается в 3 раза больше топлива (рис. 1.1), чем на водном транспорте.

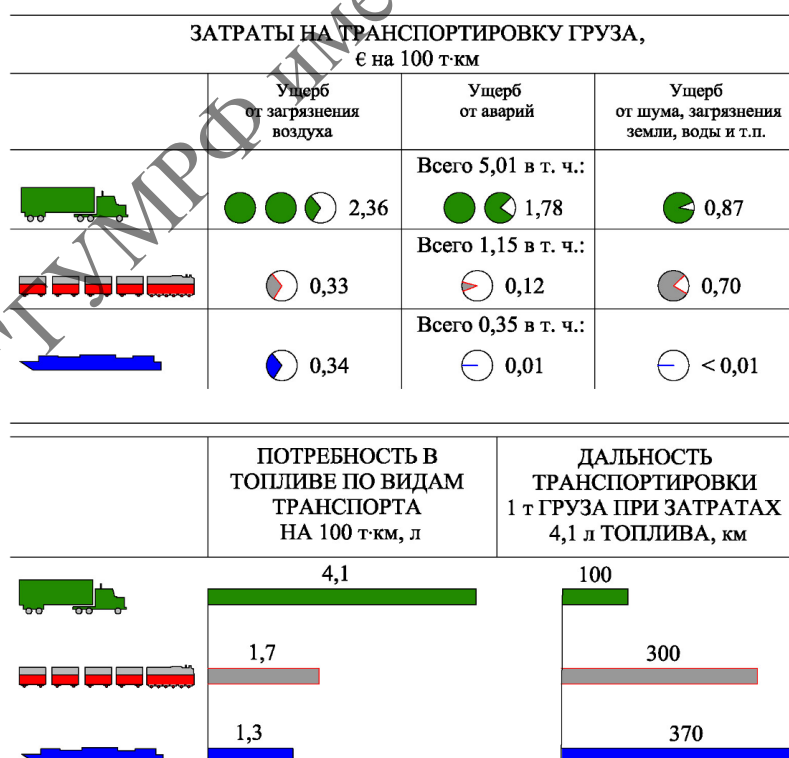


Рис. 1.1. Сравнительные показатели эффективности работы разных видов транспорта

Для автотранспорта требуется много металла на создание подвижного состава (рис. 1.2), дорожных мостов и транспортных развязок, хранилищ топлива на АЗС, авторемонтных предприятий. Велика трудоемкость перевозок, а их себестоимость в 20 раз превышает таковую на железнодорожном и речном транспорте. Преимущества автотранспорта — доставка «от двери к двери», высокая мобильность, хорошая проходимость, автономность, универсальность использования на «коротком плече». Однако увеличение количества личного автотранспорта затрудняет движение в городах, снижает скорость движения по шоссе, провоцирует аварии, парализующие движение и случающиеся все чаще.

Для транспорта основные показатели — энергосбережение и степень воздействия на природную среду, при этом речной и морской транспорт выбрасывает загрязняющих веществ в 2,5 раза меньше, чем железная дорога, и почти в 150 раз меньше, чем автомобильный транспорт [1], [2].

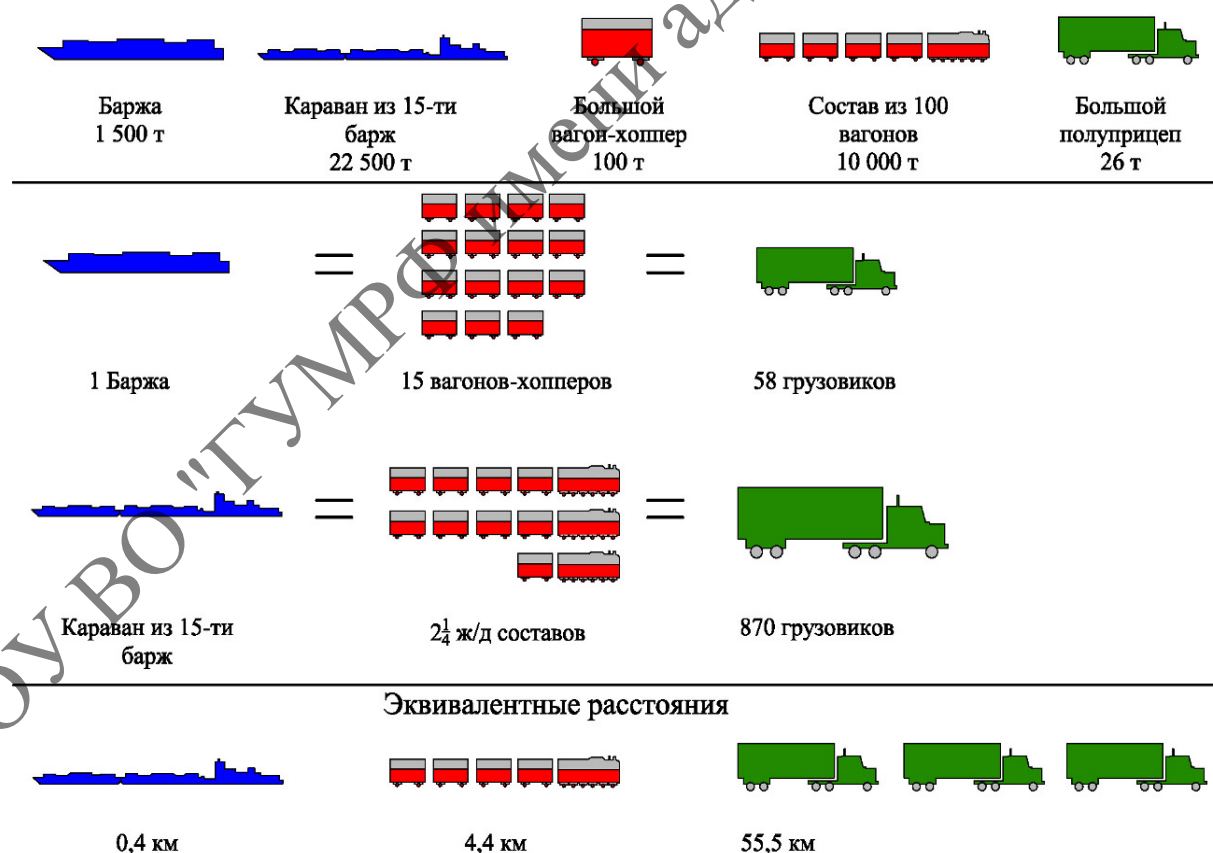


Рис. 1.2. Сравнение с альтернативными способами транспортировки (данные US Army Corp of Engineers)

Трубопроводный транспорт сейчас используется для доставки основной части добываемого топлива (нефти, газа) к местам потребления или перегрузки на морской транспорт. Трубопроводы также применяются для транспортировки аммиака, этилена, соляного раствора и угля, концентратов руды, строительных материалов.

Перекачка нефти по трубопроводам обходится в 3 раза дешевле, а газа — в 7 – 8, чем их перевозка по железной дороге. Трубопроводы надежны в работе; при их герметичности практически сводятся к минимуму потери транспортируемой жидкости и ущерб для экологии. Преимущество трубопровода заключается в его пропускной способности, когда массовая доставка одного вида жидкого или газообразного продукта в одном фиксированном направлении осуществляется в течение относительно короткого срока службы.

В последние годы происходит перераспределение объемов перевозок между видами транспорта с повышением доли трубопроводного. Трубопроводы стали уже прокладывать по дну морей в обход транзитных государств.

Однако трубопроводы также имеют свои недостатки:

- вырубка больших площадей лесных угодий;
- значительные материальные и финансовые затраты на строительство;
- невысокая степень защищенности от несанкционированного подключения потребителей;
- отсутствие возможности переориентирования трубопроводов на другие грузы в случае исчерпания ресурсов;
- зависимость скорости транспортировки от свойств перекачиваемого продукта (например, вязкости).

Таким образом, морской транспорт — это основа экономики стран, окруженных морями и океанами (Англия, Япония и др.). Он характеризуется относительно низкой себестоимостью перевозок, высокой производительностью труда. У него низкие показатели массы подвижного состава на 1 т перевозимого груза и удельного расхода топлива при высоком уровне рентабельности (см. рис. 1.1. и 1.2).

Основным видом деятельности морских транспортных компаний являются заграничные перевозки, существенным препятствием для которых стали действия стран, расположенных на берегах проливов и меж океанских соединительных каналов, работа которых регламентируется международными правилами судоходства [3].

Одним из основных преимуществ внутреннего водного транспорта является экономичность перевозок сыпучих массовых и наливных грузов, лесоматериалов, а также крупногабаритных грузов. Одним из элементов экономичности является малый удельный вес подвижного состава.

Например, на водном транспорте отношение массы подвижного состава к перевозимому грузу составляет 18 %, а на железнодорожном транспорте — 30 % и более.

Экономичность перевозок связана также с малыми затратами энергии (топлива) на перевозимую тонну груза. Себестоимость путевых работ на реках ниже, чем на других видах транспорта. На создание одного километра водного пути на реках требуется затратить средств в 3 – 5 раз меньше, чем на железных дорогах и в 6 раз меньше, чем на автомобильных.

Основной недостаток ВВП состоит в сезонности перевозок. Причем, продолжительность перевозок сокращается по мере приближения водного пути к северным районам. Например, продолжительность перевозок на р. Северная Двина составляет 5,5 месяцев, а в районе р. Маныч — 10,5 месяцев.

Длительность межнавигационных перерывов заставляет создавать складские портовые территории и помещения, что вызывает дополнительные капитальные и эксплуатационные затраты и, в конечном счете, повышают себестоимость перевозок водным транспортом.

Отмечая малое сопротивление движению судов, как преимущество водного транспорта, следует заметить, что это преимущество имеет место при движении судов в спокойной воде со скоростью около 25 км/ч. При таких скоростях сопротивление движению судна в несколько раз меньше, чем железнодорожных вагонов или автомобильного транспорта. С целью снижения затрат большое распространение получили в настоящее время смешанные водно-железнодорожные и водно-автомобильные перевозки.

1.2. Внутренние водные пути России.

Этапы развития, существующее состояние

ВВП России являются частью транспортной инфраструктуры государства и находятся в федеральной собственности. ВВП обеспечивают перевозки грузов и пассажиров для 68 субъектов РФ, а также экспортно-импортные перевозки в 670 портов 45 зарубежных стран. Из используемых для судоходства 101,7 тыс. км ВВП России 42 тыс. км имеют гарантированные габариты судового хода, а 16,7 тыс. км составляют искусственные ВВП с более чем 700 ГТС.

Наиболее эффективным использованием ВВП оказывается при шлюзовании рек со строительством водоподпорных сооружений (плотин) для комплексного использования водных ресурсов, когда создаются межбассейновые воднотранспортные соединения и судоходные обходные каналы.

В течение XVIII – XX вв. в России были реализованы уникальные проекты по шлюзованию таких значимых для страны рек, как Волга, Днепр, Дон, Кама, а также менее крупных рек Оки, Свири, Волхова, Северского Донца, Кубани и др.

Жизнь на Руси проходила в поселениях, расположенных вдоль водных путей, на берегах рек, у озер. Реки-притоки в верховьях бассейнов соединялись волоками через водоразделы, благодаря чему осваивались все новые и новые территории, налаживались экономические связи с соседями. В районе нахождения волока в дальнейшем многие населенные пункты имели в своем названии слово волок, например, г. Вышний Волочек.

Одним из самых оживленных был путь «из варяг в греки», который проходил от Балтийского моря по р. Неве в Ладожское озеро, по р. Волхову к озеру Ильмень, а затем по р. Ловати до ее верховьев, откуда волоком суда перетаскивались в верховья Днепра и спускались до Черного моря.

Мощный толчок развитию ВВП России дала реформаторская деятельность Петра I по возвращению выхода в Балтийское море, по становлению российского морского флота, по освоению всего Северо-Западного региона. В исторически кратчайшие сроки были созданы три внутренних водных пути (рис. 1.3) с обходными каналами вокруг крупных озер,

что обеспечило массовую доставку грузов из Центральной России для строительства новой столицы — города Санкт-Петербурга [4].

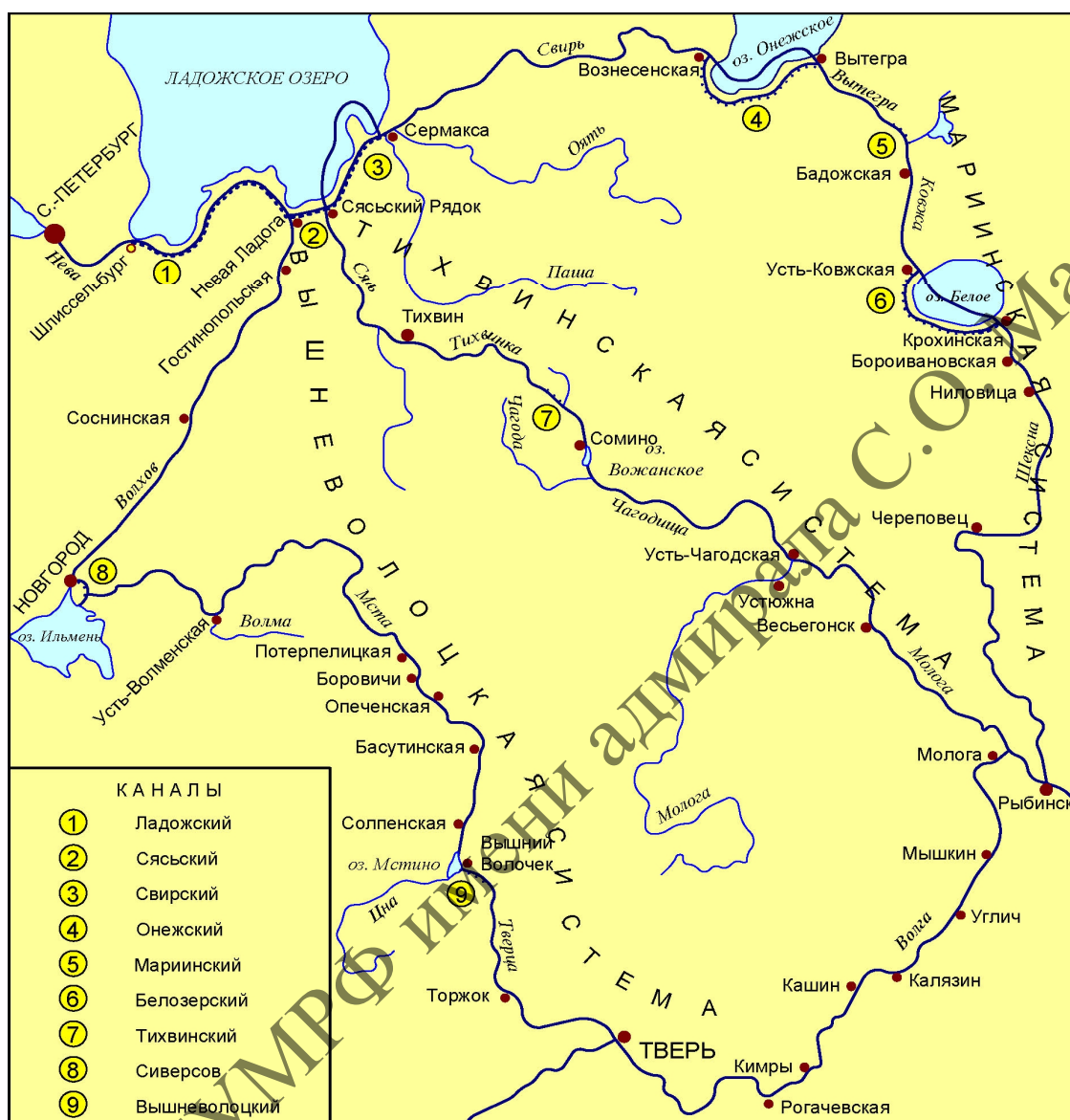


Рис. 1.3. Карта-схема межбассейновых воднотранспортных систем России для выхода из Центральной России в Балтийское море: Мариинская, Тихвинская, Вышневолоцкая и обходные каналы в их составе

Впоследствии с конца XIX и до середины XX вв. было возведено множество сооружений, часть из которых утратила свою значимость в связи с вводом дублирующих железных дорог. К ним относятся и вышеупомянутые Вышневолоцкая и Тихвинская системы.

Наиболее интенсивное развитие ВВП России произошло в XX в. сразу после революции 1917 г. [5]. Осуществление плана ГОЭЛРО СССР уже в 1926 г. позволило ввести в эксплуатацию Волховский гидроузел (напо-

ром $H_d = 14,5$ м, шлюз габаритами $149 \times 17,07 \times 3,0$ м), ставший значимым событием, как для энергетики, так и для водного транспорта.

В 1933 г. на р. Свири был построен Нижне-Сви́рский гидроузел ($H_d = 15,5$ м, шлюз габаритами $200 \times 21,5 \times 6,4$ м), а в 1952 г. — Верхне-Сви́рский ($H_d = 17,0$ м, шлюз габаритами $290 \times 21,5 \times 4,0$ м).

С 1933 г. начал действовать Беломорско-Балтийский канал (ББК) с 19 шлюзами габаритами $135,0 \times 14,5 \times 4,0(4,2)$ м, с $H_d = 4,85 - 5,76$ м (двухкамерные $H_d = 8,05 - 15,90$ м) для пропуска судов грузоподъемностью до 3000 т.

С 1937 г. вступил в строй канал им. Москвы (КИМ), соединивший р. Волгу с р. Москвой, предназначенный для судоходства и снабжения водой г. Москвы. На канале построены 11 шлюзов: 10 шлюзов $H_d = 8 - 13$ м, габаритами $290,0 \times 30,0 \times 5,3$ м и один для малых судов $55,0 \times 15,0 \times 2,5$ м.

С 1952 г. эксплуатируется Волго-Донской судоходный канал (ВДСК) с 13 шлюзами габаритами $145,0 \times 18,0 \times 4,0$ м, $H_d = 9,25 - 10,60$ м. Они пропускают суда грузоподъемностью до 5300 т. Питание канала водой обеспечивается насосными станциями из р. Дон.

В Сибири в 1961 г. на р. Оби (г. Новосибирск) был построен трехкамерный шлюз габаритами $145 \times 18 \times 2,5$ м, с $H_d = 20,0$ м.

В верховьях р. Иртыш в 1953 и 1967 гг. построили два гидроузла со шлюзами с габаритами камеры $100 \times 18,0 \times 5,0(2,5)$ м, с $H_d = 42$ и $H_d = 67,5$ м, соответственно. В среднем течении р. Иртыш достраивается Шульбинская ГЭС, имеющая в своем составе шлюз.

На р. Волге в период с 1941 по 1981 г. было построено семь гидроузлов.

На р. Каме с 1954 по 1987 г. было построено три гидроузла, имеющих в своем составе двухниточные шлюзы с габаритами камер $290 \times 30 \times (4,0 - 5,5)$ м.

На притоке Камы р. Уфы в 1961 г. был построен Павловский шлюз габаритами $115 \times 15 \times 2,1$ м, $H_d = 32,6$ м.

С окончанием реконструкции в 1964 г. Мариинской системы и переименования практически нового межбассейнового соединения в Волго-

Балтийский водный путь (ВБВП) с семью шлюзами габаритами $270(264) \times 17,8 \times 3,75(4,10)$ м, $H_d = 12,0 - 17,2$ м, завершил очередной этап создания Единой глубоководной системы (ЕГС) Европейской части СССР — России.

Строительство вторых ниток шлюзов ВБВП началось в 1991 г. со шлюза № 8 габаритами $310,0 \times 21,5 \times 5,3$ м, построенного рядом со шлюзом № 7 в составе Шекснинского гидроузла.



Рис. 1.4. Карта-схема трасс обходных водных путей вокруг г. Санкт-Петербург:

- 1 — «Северная трасса»: Ладожское оз. – р. Вуокса – Выборг, $L = 150$ км (здесь и далее L – протяженность водного пути);
- 2 — «Короткая трасса»: мыс Морье – г. Сестрорецк, $L = 65$ км;
- 3 — «Южная трасса»: р. Волхов – р. Тигода – р. Равань – водораздельный канал – р. Луга, $L = 320$ км;
- 4 — «Южная трасса»: р. Волхов – оз. Ильмень – р. Шелонь – р. Мшага – р. Киба – водораздельный канал – р. Луга, $L = 560$ км;
- 5 — «Южная трасса»: р. Волхов – оз. Ильмень – р. Шелонь – р. Уза – водораздельный канал – р. Череха – р. Великая – Псковское оз. – Чудское оз. – р. Нарва, $L = 680$ км

Наряду с недостроенными вторыми нитками, ограничения движения судов на ВБВП также связаны с затрудненным выходом в Балтийское море из-за низководных мостов на р. Неве, которые разводятся только ночью на 2 – 3 ч. Потери от простоя судов в ожидании разводки мостов и многочисленные аварии при их проводке под мостами требуют решения данной проблемы в ближайшее время.

В 90-е гг. XX в. [6] рассматривалось несколько вариантов альтернативных водных трасс — обходных каналов вокруг г. Санкт-Петербурга (рис. 1.4). Короткие «северные» варианты пути позволяют при минимальных объемах капиталовложений обеспечить безопасное прохождение судов. «Южные» варианты обходных трасс нацелены также на развитие регионов, где водный транспорт являлся исторически традиционным и необходимым.



Рис. 1.5. Карта-схема существующей ЕГС водных путей Европейской части России

На основе крупных рек, озер и водохранилищ в Европейской части России создана ЕГС (рис. 1.5), включающая в себя Беломорско-Балтийский канал, Волго-Донской канал, канал им. Москвы и Волго-Балтийский водный путь [7], [8].

Используя ЕГС России, суда типа «река-море» имеют выход в пять морей, доставляют грузы в морские порты Средиземного, Балтийского морей, ходят вокруг Европы. В ЕГС России связующим звеном между бассейнами северных рек и бассейнами рек, текущими на юг, стал Волго-Балтийский водный путь.

Библиографический список к разделу 1

1. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 февраля 2016 г. № 327-р [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://government.ru/docs/22004/> (дата обращения: 05.05.2016).

2. Беляков А. А. Транспортно-энергетическая водная сеть (ТЭВС) России / А. А. Беляков [и др.] // Гидротехническое строительство. — 1995. — № 5.

3. Кацман Ф. М. Международные транспортные коридоры. Отдельные проблемы и пути их решения / Ф. М. Кацман, Е. А. Королева. — СПб.: РАТ, 2003. — 154 с.

4. Гапеев А. М. Шлюзованные водные пути и судоходные каналы: учеб. пособие / А. М. Гапеев, В. В. Кононов, М. А. Колосов. — СПб.: СПГУВК, 2004. — 192 с.

5. Тоняев В. И. География ВВП СССР / В. И. Тоняев. — М.: Транспорт, 1990. — 240 с.

6. Гарибин П. А. Обходные водные пути на Северо-Западе России / П. А. Гарибин, В. В. Ключев, Ю. И. Кононов [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГТУ. — 2006. — №1 (43).

7. Ключев В. В. Волго-Балтийский водный путь — история и реальность транспортной гидротехники России // Внутренние водные пути России. История. Современность. Перспективы... Региональная научно-техническая конференция, посвященная 200-летию государственного управления водными коммуникациями России. Материалы конференции и тезисы докладов. — СПб.: СПГУВК, 1998. — С. 14–28.

8. Колосов М. А. Развитие шлюзованных водных путей России / М. А. Колосов // Внутренние водные пути России. История. Современность. Перспективы... Региональная научно-техническая конференция, посвященная 200-летию государственного управления водными коммуникациями России. Материалы конференции и тезисы докладов. — СПб.: СПГУВК, 1998. — С. 73–83.

Раздел 2. Естественные внутренние водные пути

2.1. Река в естественном состоянии, водохранилища

Основные сведения о реке

Река — поток воды, который под действием своей силы тяжести передвигается с более высоких мест земной поверхности к более низким, по продольному углублению в земной поверхности, называемому *долиной реки*. *Бровка* и *склон* долины определяют границу сопряжения с поверхностью, прилегающей к ней местности.

Часть речной долины, заливаемая во время половодья, называется *поймой*. *Меженное русло* — выработанная потоком пониженная часть дна долины, по которой происходит пропуск стока воды в период низкой водности называемый — *межень*. *Террасы* — уступы со ступенями на склонах долины. Они хранят следы колебаний водности в период отступления ледника. По мере уменьшения водности, выработанные русла заносились и в результате речные долины заполнились окатанным и перемытым обломочным материалом — *аллювием*. Современным рекам приходится прокладывать себе путь в его толще. Под толщей *аллювия* залегают коренные породы, поверхность которых является подошвой аллювия (рис. 2.1).

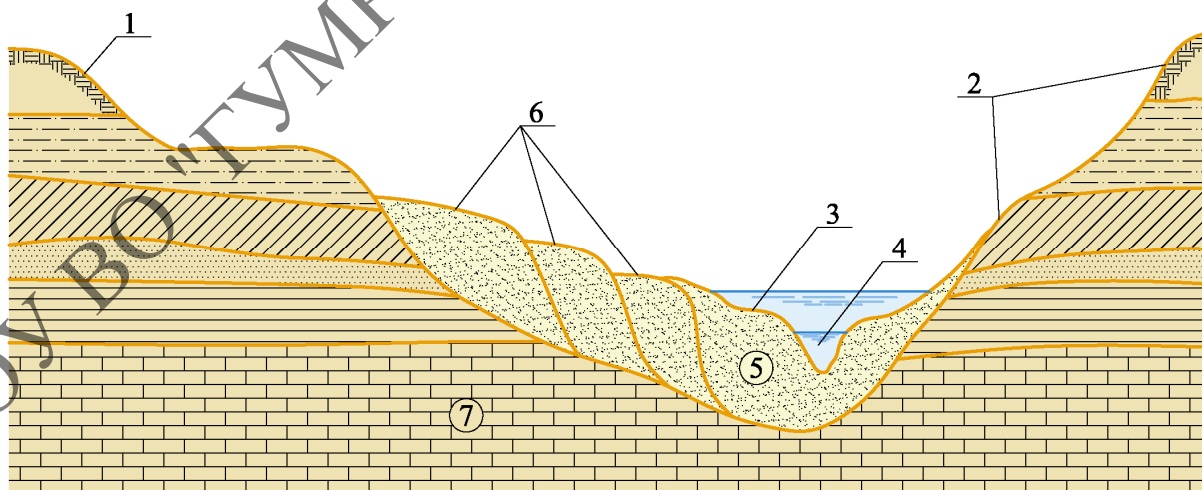


Рис. 2.1. Поперечный разрез речной долины:

- 1 — бровка долины; 2 — склон долины; 3 — пойма;
4 — меженное русло; 5 — наносный материал (аллювий); 6 — террасы;
7 — подошва аллювия

Вода из атмосферных осадков и подземные воды из родников и источников стекают по склонам долины в *русло реки* — самую низкую извилистую часть долины, по которой постоянно течет вода. Площадь земной поверхности, с которой собираются в данную реку поверхностные и подземные воды, называется *бассейном реки* (рис. 2.2).

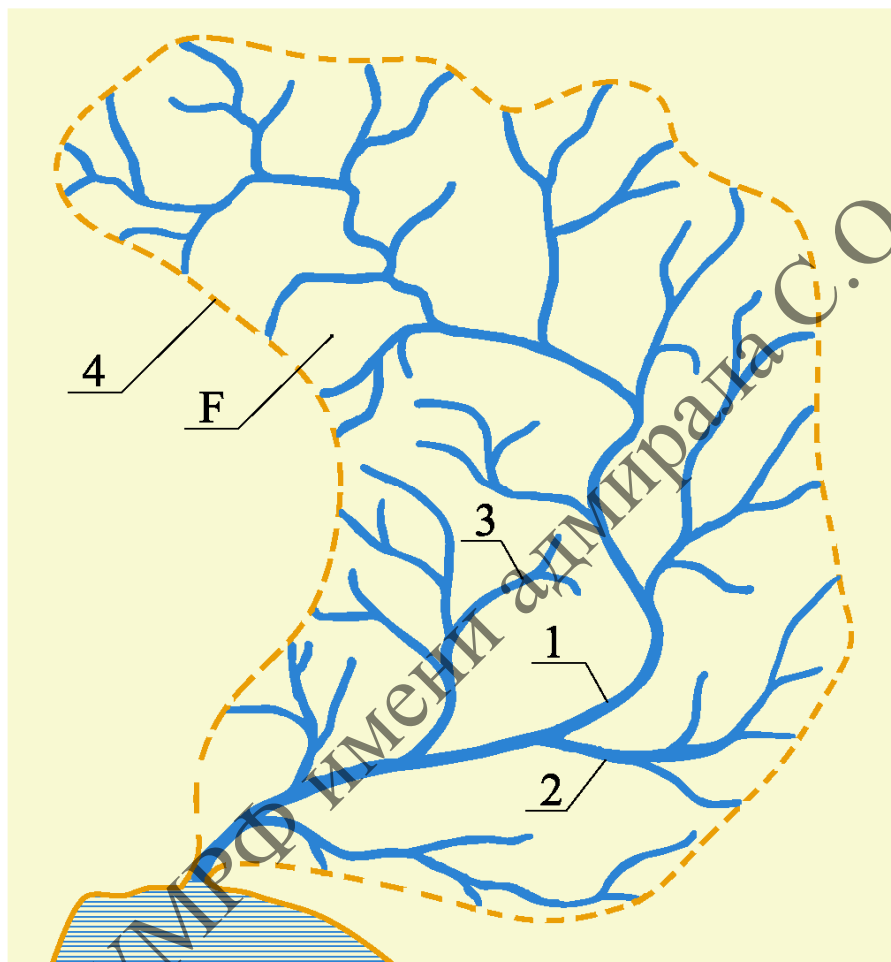


Рис. 2.2. Речная система:

1 — главная река; 2 — приток первого порядка; 3 — приток второго порядка;
4 — водораздел; F — водосборная площадь

Бассейны рек обычно ограничены возвышенностями — *водоразделами*. На одном водоразделе могут начинаться сразу две или более реки. Например, Среднерусская возвышенность является водоразделом нескольких рек: Волги, Днепра, Западной Двины, впадающих в разные моря.

Каждая река имеет начало — *исток*, который может быть озером, болотом, ледником, ключом и т. д., и *устье* — место окончания реки и впадения ее в море, озеро или другую реку.

Горизонт воды, или уровень воды в реке, колеблется от максимального — в *половодье*, когда заливаются часть долины (пойма), до минимального в *межень* — маловодное состояние реки. Максимальный и минимальный горизонты воды в реке почти ежегодно меняются в зависимости от питания реки (рис. 2.3).

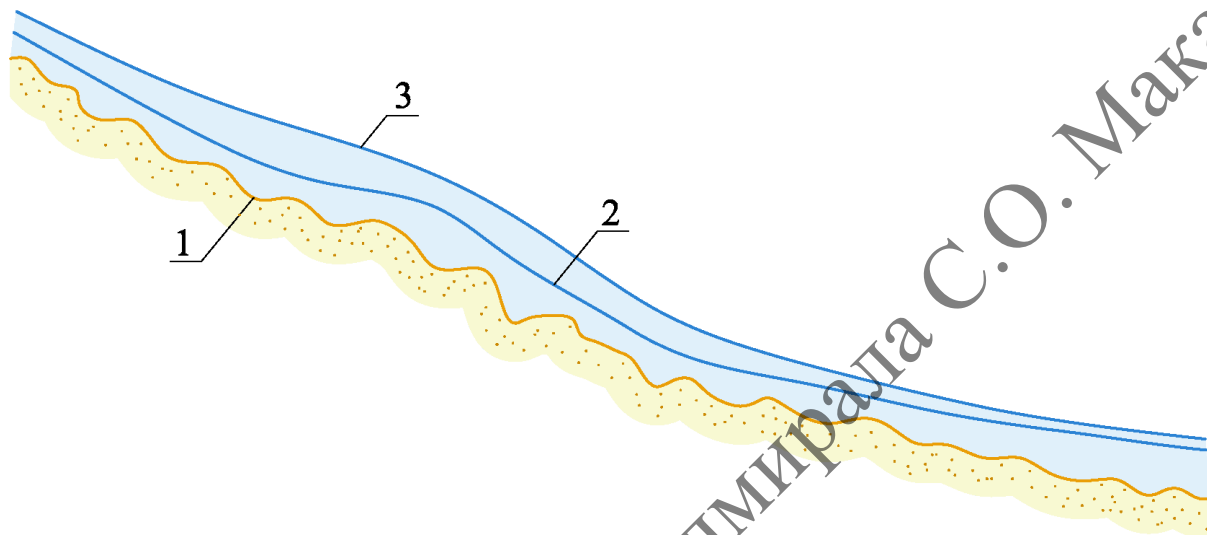


Рис. 2.3. Продольный профиль участка равнинной реки:
1 — дно; 2 — меженный уровень; 3 — уровень половодья

Уровень воды в реке зависит от наличия гидротехнических сооружений, сгонно-нагонных явлений под действием ветра, а также приливов и отливов в устьях рек.

Продольный профиль дна реки имеет зубчатую форму, он все время меняется. Глубоководные участки — *плесы* — располагаются между песчано-мелководными участками — *перекатами*. Каждая река имеет свой продольный профиль и уклон, поэтому уровень воды в реке на разных участках различен. Обычно верхняя часть ее — верхний плес имеет большой уклон, поток режет породу, скорость течения большая, а глубина невелика. Судоходство на такой реке затруднено. Такова, например, Волга в верхнем плесе. В нижнем плесе реки уклон чаще всего незначителен, скорость течения резко снижается, что способствует отложению наносов в русле.

Движущийся речной поток размывает в первую очередь те места, где грунт слабый, и откладывает наносы в других местах в виде *осередков*, *островов* и, чаще всего, в виде *кос*. Так образуются изгибы русла реки, размыв которого усиливается с увеличением скорости течения на поворотах. Особенно интенсивны размывы берегов и отложения наносов в период ледохода.

Изгибы русла рек имеют различную длину и форму (рис. 2.4). Длинные изгибы меженного русла вместе с долиной называются *извилинами*. Очень длинная извилина реки с расстоянием между началом и концом значительно меньше, чем длина извилины, называется *лукой*. Длинный изгиб русла внутри долины называется *излучиной*, крутая короткая излучина — *коленом*. С увеличением размыва русла, начало и конец излучины в половодье могут быть соединены речным потоком. Такое естественное спрямление русла называется *прорвой*. По ней в половодье, а затем и в межень может осуществляться судоходство. Со временем прорва становится глубже, шире и может превратиться в коренное русло. В самой же излучине откладываются наносы, постепенно она мелеет, превращаясь в *старшу* или *староречье*.

Изучение речного потока и его свойств необходимо судоводителю для правильного определения направления и скорости течения, горизонтов и уклонов потока, внутренних течений в потоке, действия их на судно и т. д.

Если мысленно разрезать реку поперек течения вертикальной плоскостью, перпендикулярной к плоскости поверхности воды, то площадь сечения, ограниченная дном, берегом и поверхностью воды, называется *живым сечением*. Количество воды, проходящее через живое сечение в течение одной секунды, называется *расходом воды*. Скорость течения зависит от глубины и формы русла и распределяется по живому сечению неравномерно. Так, например, характер течения на прямых участках отличается от течения в закруглениях, а течение на перекатах — от течения на плесе и т. д.

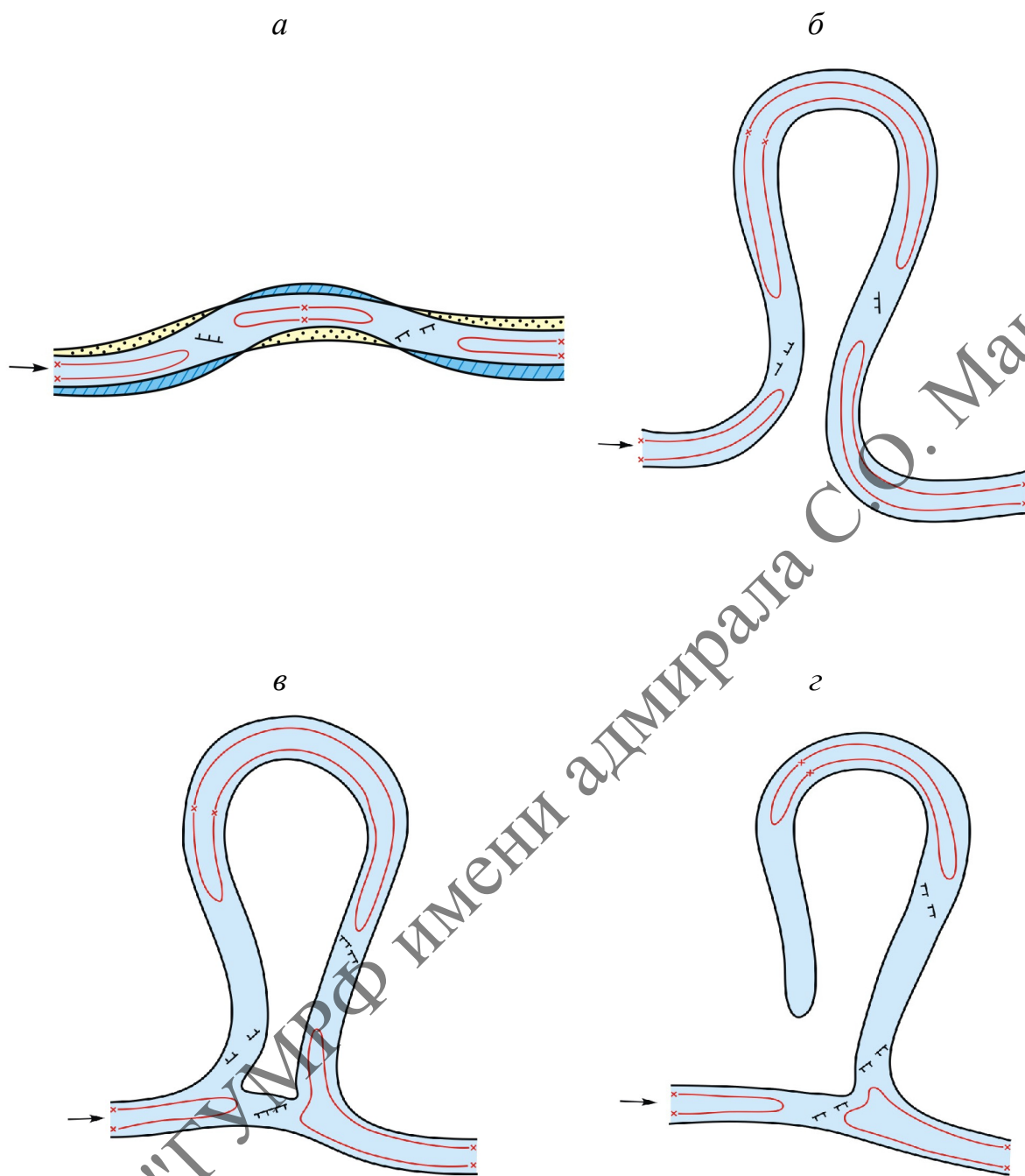


Рис. 2.4. Извилистость русла реки:

а, б — стадии деформаций извилины; *в* — образование прорвы;
г — образование старицы

Речной поток

В разных местах живого сечения скорость течения различна (рис. 2.5). В любом живом сечении *максимальная скорость* течения находится над самым глубоким местом около поверхности воды или несколько ниже ее, примерно до одной трети глубины от поверхности воды. От точки

живого сечения, отстоящей на одну треть от поверхности воды, скорость течения уменьшается ко дну реки и от середины реки к берегам.

Таким образом, наибольшая скорость течения в прямых руслах находится в середине симметричного русла, а на криволинейных участках — ближе к вогнутому берегу.

Если на отрезке реки, состоящем из криволинейных и прямых участков, мысленно сделать некоторое количество живых сечений, а точки максимальных скоростей течения каждого живого сечения соединить линией, то получим динамическую ось потока — *стрежень*, который близко подходит к вогнутости берегов (если они вогнуты) и идет посередине в прямых участках.

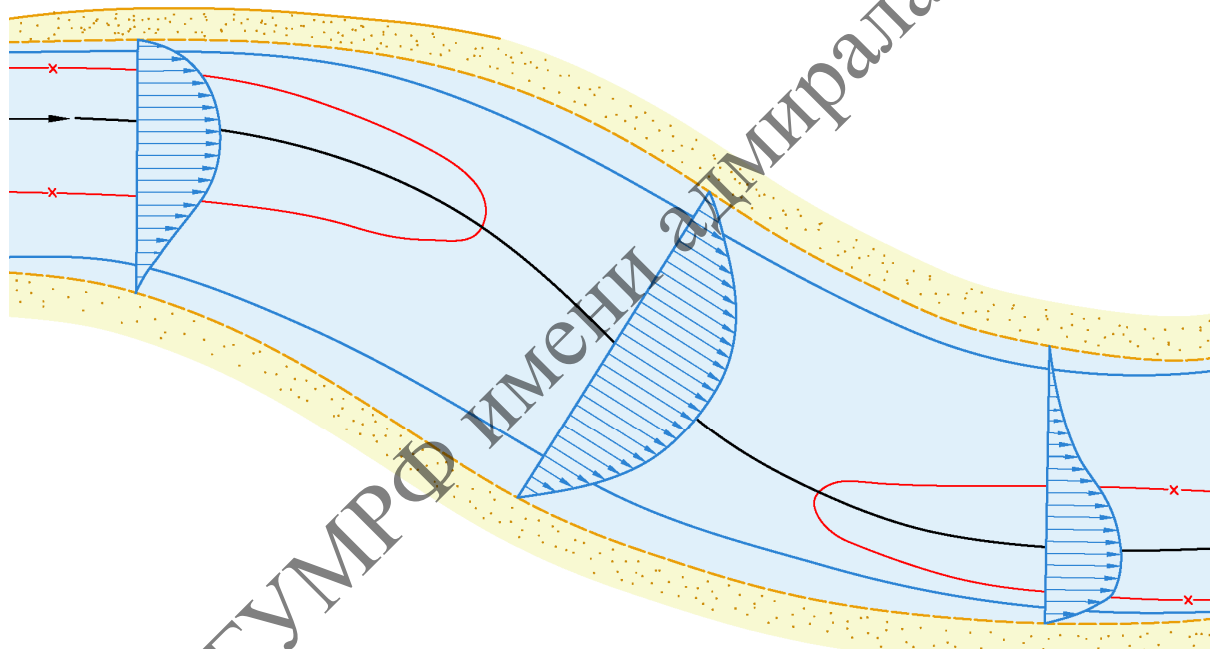


Рис. 2.5. Распределение поверхностных скоростей течения в плане

В живом сечении изгибов русла под действием центробежной силы внутреннее течение направлено по наклонному дну к мелкому выпуклому берегу, а на поверхности течения — к вогнутому глубокому берегу (рис. 2.6). Поэтому лед в половодье и течение постоянно размывают вогнутые берега, течение увлекает наносы к выпуклым берегам, где они и оседают. Кроме того, внутреннее течение влияет на повышение уровня воды у вогнутого берега.

Внутреннее течение смежных живых сечений на изгибах русла реки образует винтообразное течение в потоке, направленное к берегу, поверхностное течение которого называется *прижимным течением*. Оно сносит судно с курса в сторону вогнутого берега.

При переходе от кривизны одного направления к другой (обращенной в другую сторону) винтообразное течение в изгибе русла меняет направление. На прямолинейном участке, соединяющем эти два изгиба, винтообразное течение сначала рассеивается, а затем при новом изгибе снова сходится.

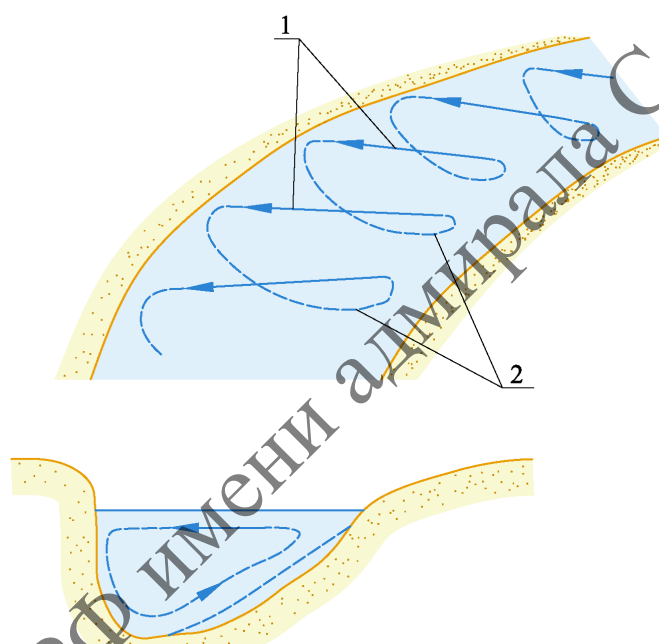


Рис. 2.6. Внутреннее течение на изгибе русла:
1 — направление течения на поверхности (прижимное течение);
2 — направление течения на дне (донное течение)

К неправильностям течения относятся: *майданы, суводы, толчеи, свальные течения, тиховоды*.

Майдан — беспорядочное возмущенное течение на поверхности воды, возникающее от подводного препятствия, нарушающего нормальное донное течение воды в русле. Таким подводным препятствием может быть камень-одинец, карча, затонувшее судно. Майдан обычно образуется несколько ниже подводного препятствия, так как вызванное им возмущение сносится течением. Майдан может быть и в месте столкновения течений двух рек (рис. 2.7).

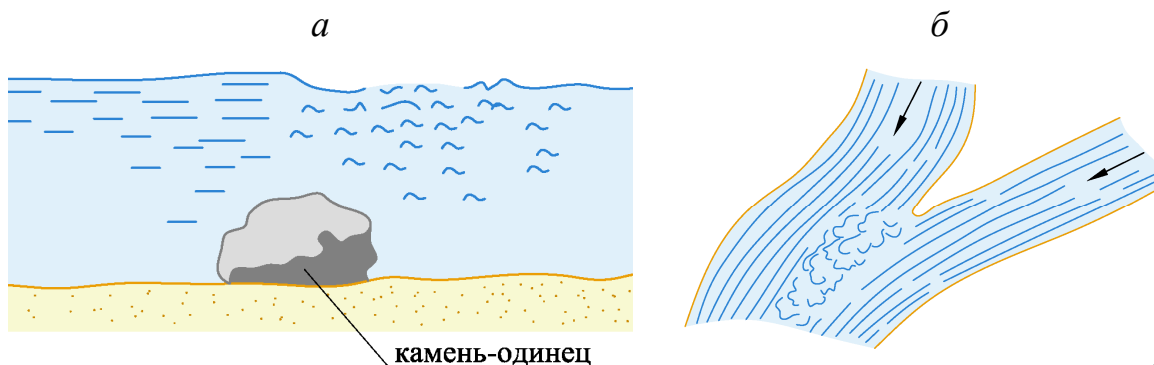


Рис. 2.7. Майданы:
a — над подводным препятствием; *б* — при слиянии потоков

Суводь — вращательное движение воды (водоворот) за подводным или надводным выступом в яру. У левого берега вода в суводи вращается против часовой стрелки, у правого — наоборот.

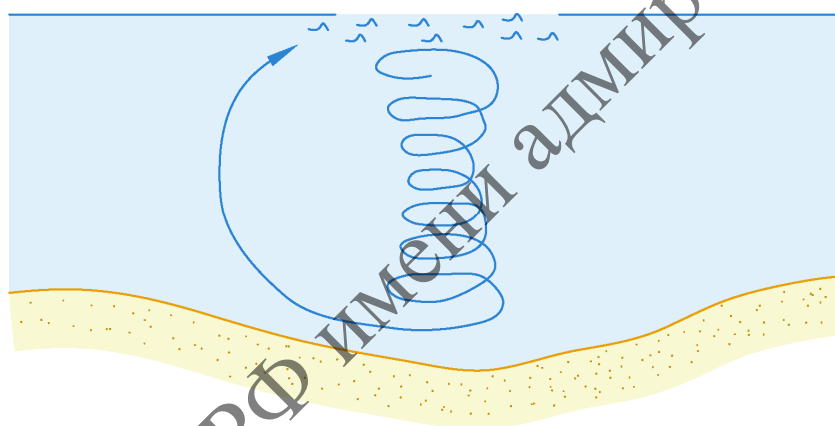


Рис. 2.8. Суводь

В таком водовороте-суводи две водные струи часто сильно различаются по скорости или направлению течения. Вдоль вертикальной поверхности, направленной по течению и разделяющей эти струи, появляются завихрения (воронки), в центре которых вращающаяся вода силой направляется ко дну реки. Частицы воды, спускающиеся в глубину, задерживаются речным дном. Отсюда они могут двигаться только в направлении наименьшего сопротивления, т. е. в сторону струи с меньшей скоростью. Вследствие этого водовороты размывают речное дно и могут вырыть в нем ямы глубиной 20 м и более. Суводи образуются также у различных гидротехнических сооружений: устоев мостов, плотин, дамб и т. д. Особенно

много больших суводей с сильным вращательным движением воды бывает во время половодья.

Толчея — скопление беспорядочных коротких и довольно высоких волн, находящихся все время на одном месте. Причина образования толчеи — отражение волн от берегов, причалов. В устьях рек толчея возникает от перебоя поверхностного течения встречным ветром с моря.

Свальное (косое) течение — поперечное или направленное под углом отклонение течения от своего нормального положения в реке по стрежню. Свальное течение бывает на перекатах, когда направление слива воды не совпадает с корытом переката у мостов, дамб, в порожистых местах и т. п. Разновидностью свального течения следует считать *затяжное течение*, направленное из главного русла в сторону промыва или второго русла реки.

Берега и русловые образования

Тиховоды — участки рек со слабым течением, а иногда и вовсе без него, образуются за отлогими наносами, характерны для выпуклых берегов. Границы тиховодов различают по пенящейся полоске воды.

Пойменный вогнутый берег, обрывистый из-за постоянного подмыва его прижимным течением, называется *яром*. У яра глубина всегда больше, чем у противоположного выпуклого берега. Это дает возможность судоводителям проводить транспортные суда с большой осадкой по яру, т. е. около вогнутого берега. Яр начинается (и кончается) в том месте, где вогнутый берег переходит в прямой участок реки или в выпуклый берег. Начало яра называется *верхним плечом яра*, а окончание, находящееся ниже по течению — *нижним плечом*.

Линия перехода поверхности земли в обрывистый берег называется *бровкой яра*. В яру могут быть препятствия для судоходства, которые уменьшают гарантированную глубину. К таким препятствиям относится *печина* — трудно поддающаяся размыву часть породы (обычно глина), которая вдаётся в русло. Возле печины, как вообще у яра, быстрое течение и большая глубина. Печина может быть надводной и подводной. Выше печины создается подпор воды, а ниже — круговорот (суводь). По суводи судят о месте нахождения подводной печины.

Если на берегу у яра находится лес, значит, в воде могут быть *карчи*, образуемые от падения в воду деревьев и пней в результате разрушения подмываемого берега.

Серьезными препятствиями для судоходства, которые почти невозможно определить по внешним признакам рельефа местности и потока, являются палица и побочень.

Палицей называют горизонтальную площадку из неразмываемого грунта в яру под водой. Местонахождение палицы должно быть известно судоводителю, на ней меняется горизонт воды.

Побочни — наносы песка у яра — образуются от слива воды во время половодья из затопленной поймы в коренное русло через яр. По образовавшейся в берегах выемке от слива воды из поймы можно определить место нахождения побочни сразу же после его образования. Побочней особенно много в ярах после половодья, когда река входит в свои берега. Чаще всего побочни размываются совсем или частично водой меженного русла. На шлюзованной реке побочни размываются медленнее, чем на свободной. Как правило, ниже суводей из-за ослабления течения откладываются наносы, т. е. образуются небольшие побочни.

Нечистым яром называется яр, возле которого у берега имеются различные препятствия для судоходства: печины, палицы, карчи, побочни, одинцы и т. д. Движение судов возле такого берега опасно.

Если у яра нет никаких препятствий для судоходства, его называют *чистым яром*.

Наносы — твердые частицы, переносимые водным потоком. Наносы в речном потоке под действием течения перемещаются по прямой, проходящей через выпуклые берега на изгибах русла и по всей ширине русла на относительно прямых участках.

У выпуклых берегов, где течение замедленно, наносы откладываются. Значительное отложение наносов образует низкий отлогий песчаный берег без растительности, называемый *песком*. Форма песка обычно соответствует очертанию противоположного яра.

Одним из наиболее распространенных видов отложения наносов является *коса*, которая имеет значительные размеры, треугольную форму,

основанием примыкает к выпуклому берегу и вершиной постепенно переходит из надводного состояния в подводное. Подводная коса больших размеров, вдающаяся далеко в русло реки, называется *заманихой*. Песок или коса под действием течения могут быть сильно размыты и стать обрывистыми около «верховой» (верхней) по течению части, ввиду чего обычно здесь по глубокому месту проходит фарватер. Такой песок или косу называют *обрезными*. Группа подводных кос, незначительных по своим размерам, называется *застругами*. Заструги примыкают к косам, закосам и могут располагаться отдельно в русле.

Затониной называется небольшой залив в реке за косой. Наносные образования выпуклого берега, косы, закосы и т. д. ввиду постоянной работы потока изменяют свои размеры, подвергаются размыву или, наоборот, увеличиваются.

Кроме наносов возле выпуклого берега и побочней в яру, в русле реки имеются и другие наносные образования, окруженные водой, как подводные, так и надводные. К ним относятся осередки, острова, высыпки, шалыги.

Осередок — надводная отмель, окруженная со всех сторон водой и не имеющая никакой растительности. От размыва подводной части косы может образоваться *и подводный осередок*; он может возникнуть также ниже мыса стрелки, образующейся от слияния двух рек, в тиховоде, за рынком гор, на шалыге и различных подводных препятствиях. Осередки ограничивают ширину судового хода, изменяют направление течения воды.

Остров — надводный осередок, имеющий растительность. Остров может образоваться из осередка, поймы, за счет спрямления излучины, разделения русла на два рукава, образования прорана — узкого рукава, делящего остров на два отдельных острова. Верхняя по течению часть острова и осередка, размываемая течением, называется *приверхом*, нижняя часть, где откладываются наносы, — *ухвостьем*.

Шалыга — подводное наносное отложение у борта корпуса судна, ставшего на мель поперек корыта переката, т. е. *взамет*.

После снятия судна с мели течение обходит шалыгу, размывая ее. Постепенно шалыга может сноситься течением ближе к подвалю переката и изменить его, образуя затруднительный для судоходства перекат с вы-

пуклым подвалем. Шалыга может также задерживать наносы, увеличиваясь по форме и превращаясь в осередок.

Высыпка — отложение наносов, выносимых из притока в устье или ниже его. Высыпка состоит из гравия, песка, гальки, а иногда камней.

Если приток впадает в вогнутом берегу, то высыпка, находящаяся в яру около устья этого притока, является одновременно и побочнем. Если приток впадает в выпуклом берегу, то отложение наносов у этого берега усиливается. Площадь высыпки обычно больше, если она находится ниже притока, и меньше, если она образовалась у стрелки.

Дельта — место впадения реки в озеро или море. Река в дельте обычно разветвляется на несколько мелких протоков, рукавов. Дельта имеет вид треугольника, напоминающего греческую букву дельту. Треугольник своим основанием направлен к морю. Образуется дельта из-за отложения наносов.

Лиман — сеть проранов, из которых образуется дельта реки. Лиманом обычно называют протоки в дельтах Днепра, Днестра. На Волге их называют ериками, на Дунае — гирлами, на Северной Двине — рукавами. Иногда протоки в дельте бывают очень широкими, тогда их называют ильменями (на Волге), плавнями (на других реках).

Урез воды — линия пересечения поверхности воды с берегом.

Заплеск — узкая, обычно отлогая береговая полоса, заплескиваемая при волнении, примыкающая к урезу воды.

Воложка — второе русло реки, отделенное от коренного (основного) русла островом. Воложка со временем может стать основным судовым ходом.

Неразмываемые препятствия

В реке может быть большое количество неразмываемых препятствий. К ним относятся:

Одинец — отдельно лежащий в реке камень значительных размеров. Одинец, вмерзший в лед, может вместе со льдом перемещаться во время ледохода на большие расстояния.

Огрудки (каменистый осередок) — вытянутое вдоль берегов скопление камней или подводная часть монолитного скального массива в русле.

Гряда — подводное скопление камней в русле поперек реки.

Порог — подводное и надводное скопление крупных камней по всей ширине русла, создающее подпор воды выше порога и быстрое течение в пороге. Фарватер реки у порога обычно неглубок, извилист и проходит между подводными и надводными камнями.

Шивера — разновидность порога на сибирских реках — образуется группами камней, разбросанных на отдельных участках по всей ширине русла. Фарватер извивается между ними.

Перекааты

Наносы в реке часто располагаются по прямой их перемещения, соединяющей выпуклые берега, образуя косой поперечный вал в русле. Этот наносный вал, над которым глубина воды меньше, чем в смежных участках русла, затрудняет своим мелководьем судоходство и образует перекааты (рис. 2.9). Между перекаатами располагаются глубоководные участки реки — плесы.

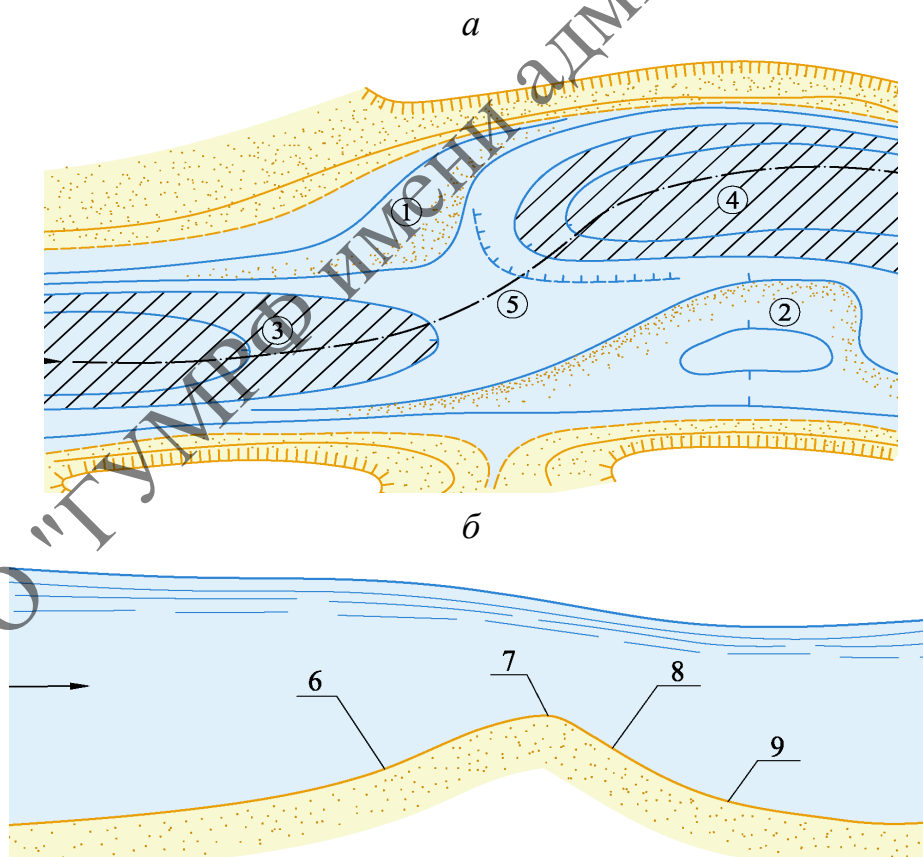


Рис. 2.9. План (а) и продольный профиль (б) перекаата

1, 2 — верхний и нижний побочни; 3, 4 — верхняя и нижняя плесовые лощины;
5 — корыто перекаата; 6 — напорный скат перекаата; 7 — гребень перекаата;
8 — тыловой скат; 9 — подвалье перекаата

Вал, или седловина переката, при пересечении со стрежнем размывается и в нем получается углубление, называемое корытом переката, где находятся самые большие на перекате глубины. По корыту переката проходит судовой ход.

Верхняя по течению пологая часть седловины переката называется *напорным скатом*. Нижняя по течению часть седловины обрывиста и называется *подвальем*. Над подвальем находится наименьшая на перекате глубина. Самая верхняя часть подвалья называется *гребнем*. От формы подвалья, глубины, направления и скорости течения на перекате зависит степень трудности проводки судов по перекату.

Глубоководный участок реки, прилегающий к перекату, называется *плесовой ложиной* и является началом или окончанием очередного плеса.

Верхняя и нижняя косы перекатов (или пески) располагаются выше и ниже корыта переката. На перекатах судовой ход, как правило, переходит или, как говорят, переваливает от одного берега к другому. Эти места называются *перевалами*.

Перекаты очень разнообразны, они отличаются один от другого расположением в русле, элементами в плане и профиле, гидрологическим режимом. Степень трудности судовождения по перекатам зависит от их свойств.

Существует несколько судоводительских классификаций перекатов, поэтому остановимся на характерных особенностях некоторых перекатов, знание которых необходимо судоводителю.

Перекатом-перевалом называется такой перекат, вал которого расположен поперек фарватера по всей ширине корыта по прямой, от верхней косы переката к нижней. Течение одинаково равномерно по всей ширине корыта переката. Судоходные качества переката благоприятные. Суда, идущие снизу, должны вводиться на подвалье переката так, чтобы диаметральной плоскость судна совпадала с направлением течения, для чего выход судна на прямой курс к следованию по корыту переката нужно осуществлять как можно раньше.

Перекат с затонской частью по той же классификации образуется чаще всего там, где водой переносится много наносов, где происходит

размыв русла и особенно яров. Отложение наносов в средней части подваля приводит к его выпуклости в плане и профиле. Выпуклость подваля происходит за счет более или менее значительного подвального осередка в центре подваля, где обычно находятся самые малые глубины. Поэтому течение на перекате веерообразное и нет ярко выраженной главной струи — стржня (рис. 2.10). Судоводные качества такого переката плохие, так как судоводитель может менять свое направление то с одной, то с другой стороны выпуклости подваля. Веерообразное течение сбивает суда с курса к границам фарватера (к берегам).

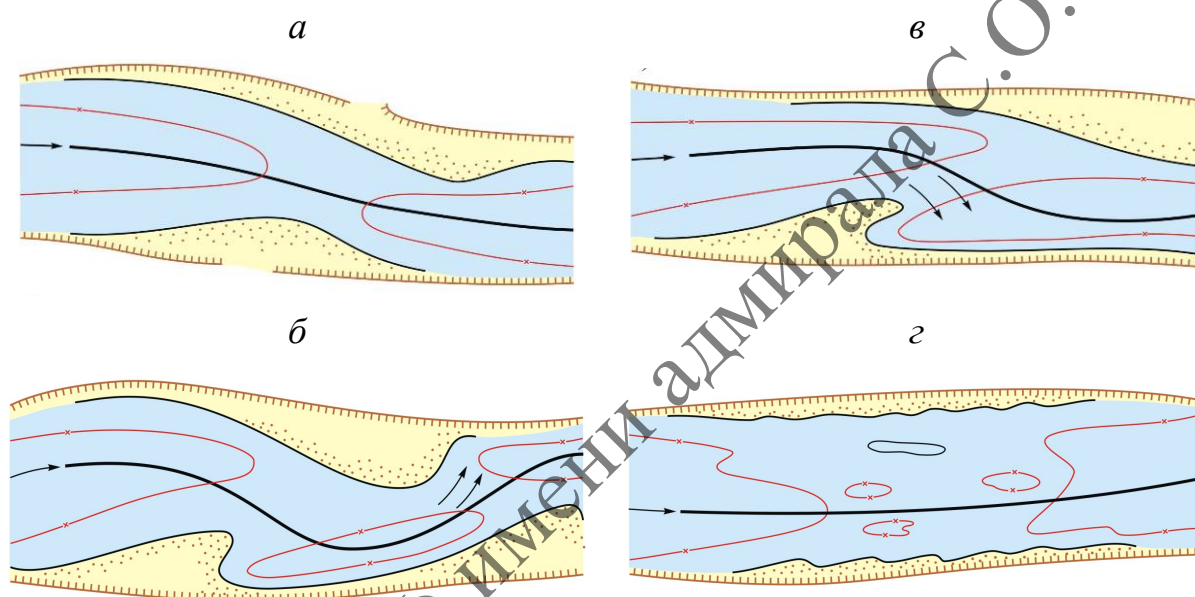


Рис. 2.10. Типы перекатов:

а — перекат-перевал; б — сложный перекат;
в — перекат с затонской частью; г — перекат-россыпь

Сложный перекат имеет несколько гребней и плесовых лощин, расположенных последовательно друг за другом, при этом нижний побочень одного переката является верхним побочнем другого. Аналогично расположены и плесовые лощины. Обычно имеются затонские части. Динамическая ось потока при высоких уровнях направлена вдоль берегов и почти прямолинейна, при низких уровнях — извилиста. Судоводные условия неблагоприятные. Судоводный ход неоднократно переваливает от одного берега к другому. Свальные течения действуют на суда как при прохождении вала переката, так и при прохождении затонских частей. В пределах сложного

переката расхождение судов ограничено, иногда на нем вводится одностороннее движение.

Пережат-россыпь располагается преимущественно в низовьях рек. Образуется застругами кос, лежащих на противоположных берегах, и шалыгами. Подвальев бывает несколько и обычно они имеют неправильную форму. Пережат часто изменяется. Заструги, шалыги, осередки образуют неправильное течение, что вызывает рыскливость судов (отрицательное свойство, выражающееся в том, что судно плохо держится на курсе и произвольно виляет то в одну, то в другую сторону). Из-за нечетко выраженного подвалья проход судов по такому пережату затруднителен.

Колебания уровней воды и течения на водохранилищах и озерах

Нижняя (приплотинная) часть водохранилища имеет небольшую протяженность. Скорости течения в этой зоне повышенные, особенно весной в период сброса в нижний бьеф паводка. Приплотинная часть водохранилища глубоководная при любых уровнях воды. Волнение здесь наибольшее по сравнению с другими частями водохранилища.

Средняя часть водохранилища имеет наибольшую из всех частей протяженность. Течение слабое, глубины большие только при высоких уровнях. При понижении уровня воды глубины над поймой небольшие, распространяющиеся до дна, волнение сильное. При нормальных подпорных уровнях условия плавания здесь такие же, как в нижней зоне.

Верхняя (речная) часть водохранилища при высоких уровнях представляет собой мелкий водоем. При низких уровнях вода входит в меженное русло. Волнение здесь слабое, глубины небольшие и часто меняются из-за колебаний уровня, русло постоянно переформируется.

Зона выклинивания подпора представляет собой устье главной реки со сложным гидрологическим режимом. У пережатов, расположенных в зонах выклинивания подпора, происходит наращивание гребней, так как при высоких уровнях река несет много наносов. При низких уровнях воды происходит размыв пережата, но этот процесс идет медленнее вплоть до следующего половодья.

В зоне выклинивания подпора высота гребней пережатов возрастает на 30 – 35 см по сравнению с их высотой до создания подпора. За счет это-

го уменьшаются и часто меняются глубины, плавание судов становится затруднительным.

Максимальные течения на водохранилищах наблюдаются в период половодья. В центральных зонах водохранилища в половодье скорость течения бывает 0,5 – 0,8 м/с, а у берегов — 0,3 – 0,5 м/с.

Течения на водохранилищах возникают также и при попусках воды. В этом случае в водохранилище, которое является нижним бьефом верхней ГЭС, наблюдаются скорости течения, достигающие нескольких километров в час. В межень попуски, а, следовательно, и скорости течения меньше.

Ветровые течения (дрейфовые) возникают под воздействием трения воздушного потока о поверхность воды и давления ветра на наветренные склоны волн. Скорость дрейфового течения зависит от скорости и продолжительности действия ветра, от глубины, близости берегов и островов. По данным В. К. Давыдова скорости поверхностных течений составляют 1 – 7 % от скорости ветра.

Направления и скорости дрейфовых течений часто меняются, особенно при слабых ветрах. Вблизи берегов на ветровое накладывается течение, возникающее от сгонов и нагонов воды.

Течения на озерах и водохранилищах возникают под влиянием впадающих и вытекающих рек (*стоковые течения*), вследствие неравномерного нагревания и охлаждения масс воды и под влиянием ветра. На судоходство оказывают влияние лишь стоковые течения, вызываемые реками. Однако скорость этих течений невелика и в редких случаях достигает 1 см/с.

Уровни воды в водохранилищах постоянно меняются и зависят во многом от изменения величины естественного притока воды, испарения, сгонов и нагонов под воздействием ветра, сбросов воды в нижний бьеф и потерь ее на фильтрацию.

Для каждого водохранилища путем выполнения водохозяйственных расчетов устанавливаются следующие характерные уровни воды, имеющие постоянные высотные отметки:

ФПУ — форсированный подпорный уровень;

НПУ — нормальный подпорный уровень;

УНС — уровень навигационной сработки;

УМО — уровень мертвого объема.

Уровень навигационной сработки (УНС) — это наинизший уровень воды, допускаемый в водохранилище в период навигации, при этом учитывается необходимость поддержания судоходных глубин.

Уровни воды в верхнем и нижнем бьефах вблизи плотины обозначаются соответственно УВБ и УНБ. Разность УВБ и УНБ называют напором и обозначают (Н). Максимальный уровень верхнего бьефа, который можно держать сколь угодно долго в условиях нормальной эксплуатации, принято обозначать НПУ — нормальный подпорный уровень, а минимальный УМО — уровень мертвого объема. Часть объема водохранилища между НПУ и УМО называют полезным, ниже УМО — мертвым объемом; форсированный подпорный уровень ФПУ — это уровень, до которого временно допускается заполнение водохранилища в период пропуска катастрофических половодий и паводков, что является чрезвычайными условиями эксплуатации ГТС. Годовые колебания уровней воды в водохранилищах при регулировании стока составляют несколько метров.

Колебания уровней воды во многом зависят от вида регулирования стока водохранилища и количества поступающей воды при весеннем половодье. Обычно в весенний период водохранилище наполняется стоком талых вод, и уровень воды повышается. В течение лета и зимы происходит сработка воды и снижение судоходных глубин.

Нагоны-сгоны. Течения перемещают массы воды от подветренного берега к наветренному. В результате этого перемещения у наветренного берега происходит подъем уровня (*нагон*) у подветренного — понижение уровня (*сгон*). В связи с разницей уровней водная поверхность становится наклонной.

В результате разности уровней в глубине водоема образуется обратное — компенсационное течение, встречающее сопротивление дна и поэтому имеющее меньшую скорость, чем поверхностное течение. Нагон происходит до того момента, пока разность в уровнях не усилит компенсационное течение настолько, что между ним и поверхностным течением установится скоростное равновесие, и уровень воды получит определенный уклон.

У глубоких водоемов влияние дна на компенсационное течение меньше, чем у мелких, поэтому компенсационное течение у первых не-

сколько сильнее и быстрее приходит в равновесие с поверхностным. Этим обусловлено то, что у глубоких водоемов величина нагона воды меньше, чем у мелководных. Нагоны особенно велики в узких и мелких заливах, вытянутых по направлению ветра.

Величина нагона зависит от силы ветра и характера берега. Например, на Цимлянском водохранилище нагоны у берегов достигают 20 – 60 см. Нагоны вдоль водохранилища составляют 70 – 100 см.

При ориентировочных расчетах разность уровней ΔZ , м, зеркала водохранилища при стогах и нагонах можно определить по формуле Л. С. Кускова

$$\Delta Z = 452 \cdot 10^{-9} \frac{D}{H} w^2 \cos^2 \alpha, \quad (2.1)$$

где D — длина разгона волн, м; H — средняя глубина водоема в пределах разгона, м; w — скорость ветра на высоте 10 м от поверхности воды, м/с; α — угол между направлением ветра и продольной осью водохранилища.

Опасность для судоходства представляют сгоны, которые могут вызвать посадку судов на грунт. Величина сгонов может приближенно приниматься равной величине нагонов. При плавании вблизи берегов необходимо учитывать влияние на глубину сгонов и нагонов воды.

Колебательные движения всей массы воды в водохранилище или озере называют *сейшми*. Поверхность воды при этом приобретает уклон то в одну, то в другую сторону. Ось, вокруг которой колеблется поверхность водоема, называется узлом сейши. Сейши могут быть одноузловые (рис. 2.11, а), двухузловые (рис. 2.11, б) и т. д.

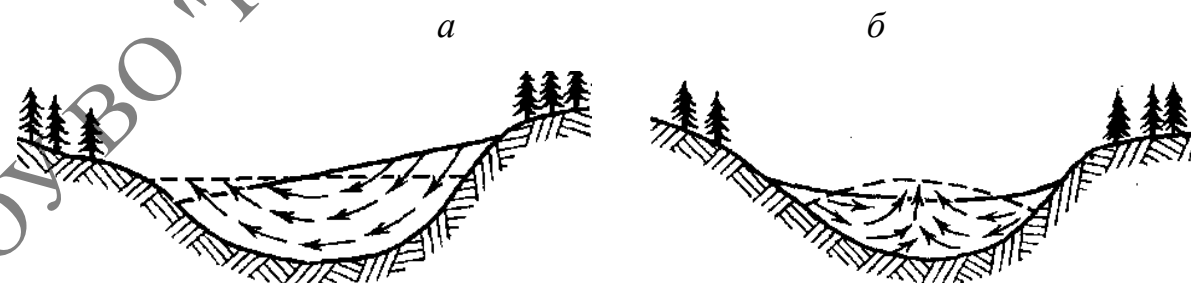


Рис. 2.11. Сейши

Сейши образуются в том случае, когда силы, обусловленные метеорологическими факторами, создают периодические импульсы, которые,

попадая в резонанс с колебаниями водной массы водохранилища, постепенно раскачивают воду.

Сейши возникают при резких изменениях атмосферного давления, прохождении грозы, при резких изменениях силы и направления ветра, способных раскачать массу воды. При сейшах происходят колебательные движения всей массы воды, причем поверхность воды приобретает уклон то в одну, то в другую сторону. Сейши более устойчивы в глубоких водоемах. Траектории частиц воды в сейшах подобны траекториям, наблюдаемым в стоячих волнах.

Чаще всего сейши имеют высоту от нескольких сантиметров до метра. Периоды колебаний сейш могут быть от нескольких минут до 20 ч и более. Например, в приплотинной части Цимлянского водохранилища наблюдаются одноузловые сейши с периодом 2 ч и высотой 5 – 8 см.

Отбойные течения (тягун) — самый опасный из всех видов прибрежных течений. Тягун образуется в результате оттока воды принесенной к берегу волнами.

Тягун представляет собой резонансные волновые колебания воды в портах, бухтах и гаванях, вызывающие циклические горизонтальные движения судов, стоящих у причалов. Период колебаний воды при тягуне от 0,5 до 4,0 мин.

Тягуны создают длиннопериодные стоячие волны, где частицы воды движутся по орбитам узлов. Однако под вершиной и подошвой волны движение их направлено вертикально. Период колебания поверхности воды и скорость движения частиц зависят в основном от конфигурации берегов и глубины бассейна.

Порт не является полностью замкнутым бассейном, он сообщается с открытым водоемом или морем сравнительно узким проходом. Любое колебание воды в этом проходе под действием внешних сил вызывает собственные колебания воды в акватории порта. Внешними силами могут быть:

- послештормовая долгопериодная зыбь; барические волны, возникающие после быстрого выхода циклона и антициклона с моря на сушу;
- внутренние волны, образующиеся под действием штормов в открытом море или озере, которые, приближаясь к мелководью, выходят на поверхность и проникают на акваторию порта. Если период внешней силы

близок к периоду собственных колебаний воды портовой акватории, то эти колебания быстро нарастают и достигают наибольшей величины. После прекращения действия внешних сил колебания затухают.

В зависимости от того, в какой точке тягуна находится судно, оно испытывает или горизонтальные, или вертикальные перемещения. Если размеры судна и места крепления швартовов таковы, что период его собственных колебаний близок или совпадает с периодом сейш, то возникают сильные резонансные движения. Причем рядом может находиться судно, которое практически не испытывает действие тягуна, так как оно отличается от первого размерами, массой, периодами качки и собственных колебаний.

Во время тягунов пассажирские суда вынуждены отходить на рейд, так как стоянка у причалов становится невозможной, а грузовые — прекращать погрузо-разгрузочные работы. Тягуны воздействуют на суда неодинаково, поэтому необходимо знать их параметры в данном порту, период колебаний воды в акватории, а также особенности поведения своего судна при тягуне.

При изменении объема воды (прихода и расхода), а также при движении водной массы в водохранилищах происходят колебания уровней воды. Чем больше изменение водного объема, тем больше амплитуда колебаний уровня воды (она может быть от 2 – 3 см и до нескольких метров).

Величина колебаний уровня воды во многом зависит от площади и характера берегов водоема. В течение года в отдельных климатических зонах периоды колебаний уровня бывают различны. В северных широтах наибольшие колебания бывают в начале лета, а наименьшие — в конце весны. На северо-западе европейской части РФ в течение года максимальные уровни наблюдаются весной и осенью, а минимальные — зимой и летом. В озерах средней части Сибири (например, на Байкале) наибольший уровень наступает летом, а наименьший осенью, зимой и весной.

В многолетних колебаниях уровня прослеживается цикличность, связанная с изменением солнечной активности и сменой эпох атмосферной циркуляции. Исследованиями выявлены *вековые и многовековые* циклы продолжительностью 80 – 90 лет и 1800 – 1900 лет.

Они вызываются изменениями условий питания озер. В связи с колебаниями количества атмосферных осадков, летних температур воздуха, испарения и т. д. иногда несколько лет подряд наблюдаются многоводные или маловодные годы. При тектонических процессах может происходить поднятие или опускание озерной котловины, что также сказывается на уровне озер. Многолетняя амплитуда колебаний уровней различна и может составлять несколько метров.

Навигационные опасности на водохранилищах

После образования водохранилища под воздействием волнения происходит разрушение берегов. Продукты размыва крупных размеров, откладываясь вблизи, образуют *береговую отмель*, а мелкие частицы переносятся вглубь водоема, постепенно оседая на дно. Рост береговой отмели и разрушение берега продолжаются до тех пор, пока не создастся *защитная отмель (пляж)*. Размыв берегов зависит от многих факторов: характера волнения, рода грунта, крутизны склонов, растительности.

Заиление водохранилищ происходит в основном от твердого стока впадающих рек и продуктов разрушения берегов. Продолжительность заиления водохранилища зависит от его емкости и величины годового стока наносов. Быстрее всего заносятся горные водохранилища. Водохранилища равнинных рек заносятся очень медленно. Например, для заиления Ивановского водохранилища необходимо не менее 1000 лет.

На водохранилищах к навигационным препятствиям относят следующие.

Береговые отмели, которые создаются при разрушении берегов и иногда далеко вдаются в сторону водохранилища, уменьшая глубины. У некоторых водохранилищ подводные откосы стали пологими. Судам не рекомендуется приближаться к таким берегам ближе, чем на 100 м.

Разрушающиеся берега — высокие отвесные берега, состоящие из известняков и гипсовых пород, легко размываемых водой с образованием больших пустот и ниш. Большие массивы берега, подмытые снизу, иногда рушатся в воду. Судно, проходящее в этом районе, может получить серьезные повреждения.

Затопленный лес может встретиться на судовом ходу. Ложа водохранилищ, расположенных в лесных районах, до затопления были покры-

ты лесом. Как правило, перед затоплением лес вырубают, но в отдельных районах это может быть не сделано. Дрейфующим льдом такой лес выкорчевывается и переносится на судовой ход, засоряя его. При обвале берегов, поросших лесом, участок водохранилища будет засорен древесными стволами и корнями, встреча с которыми может привести к пролому корпуса судна.

Всплывший торф — опасность, встречающаяся на некоторых водохранилищах. Особенно это наблюдается в первые два-три года после образования водохранилища. Массивы торфа достигают площади 100 га и толщины 1 – 6 м.

Заросли растительности (тростника и камыша) иногда образуются в прибрежных районах и препятствуют судоходству.

К навигационным опасностям на водохранилищах относятся также:

- остатки старых сооружений вблизи судоходной трассы;
- наносы и косы в устьях впадающих рек;
- малая глубина на поймах и извилистый судовой ход, идущий по старому руслу;
- колебания уровней воды при сработке и быстрое понижение уровня при сгонных ветрах.

На водохранилищах рейды, предназначенные для укрытия судов на период штормовой погоды, называют *портами-убежищами*.

Русловой режим в устье естественных убежищ бывает иногда весьма сложным. У многих заливов вход со стороны водохранилища быстро перекрывается наносами. Для поддержания убежищ в нормальных эксплуатационных условиях на их акваториях и на подходах к ним регулярно проводят дноуглубительные работы.

Порты-убежища размещены на водохранилищах таким образом, чтобы при заблаговременном (шестичасовом) предупреждении о шторме суда и плоты могли укрыться в них.

Приливные течения в устьях рек

На некоторых реках, впадающих в моря, наблюдаются значительные приливы. Распространяющаяся в некоторых реках на значительные расстояния вверх по течению приливно-волновая волна сильно трансформируется благодаря малым глубинам, течению и изменению очертания русла реки.

Приходящая с приливной волной морская вода, как более тяжелая, распространяется вначале по дну, под речной водой. Подъем уровня воды в устье реки при приливе создает *приливное течение*, которое останавливает собственное течение реки и иногда даже обращает его в противоположную сторону.

Если приливная волна заходит в реку на большое расстояние, то подъем уровня воды в реке продолжается еще и тогда, когда в устье уже наступил отлив. При отливе направление отливного течения совпадает с направлением течения реки.

Приливное течение в устьях рек, по сравнению с отливным, действует меньше времени, благодаря чему в реке дольше держится высокий уровень воды, позволяющий морским судам заходить в устья. В периоды половодий приливные явления в устьях рек уменьшаются или исчезают вообще.

Скорости приливных течений в устьях рек нередко превышают скорости приливных течений моря, так как с уменьшением живого сечения русла значительно увеличивается высота прилива. В период отлива, из-за уклона водного зеркала и совместного стока морской и речной воды скорость течения также намного увеличивается (до 2 м/с и более).

При распространении приливной волны вверх по реке ее форма резко меняется из-за того, что скорость распространения гребня больше, чем подошвы. Передний склон волны при этом достигает высоты более 1 – 2 м и становится очень крутым, почти отвесным. Волна движется быстро, (иногда со скоростью до 15 – 20 км/ч) и разбивается на мелких местах с сильным шумом. Часто за первой волной проходит вторая и третья, но меньшей высоты и с меньшей скоростью. При движении вверх волны постепенно уменьшаются.

На некоторых реках, например в устье Северной Двины, наблюдается такое явление как — *маниха*. При манихе после малой воды подъем уровня приостанавливается и около двух часов остается почти неизменным. Затем уровень вновь поднимается, пока не наступит полная вода. В течение суток происходит четыре подъема и четыре понижения уровня.

Приливные течения представляют собой периодические горизонтальные перемещения воды под воздействием приливообразующих сил. Эти течения имеют строгую периодичность и захватывают всю толщу воды от поверхности до дна, лишь несколько уменьшая на глубине свою скорость из-за трения у дна. Характер приливных течений в открытом море и у берегов различен.

В открытом море отсутствует смена течений. Приливные течения здесь не прекращаются, но направление их и скорость, например в северном полушарии, постоянно изменяются по часовой стрелке (в южном — наоборот). Такие течения называются *вращательными*.

В открытом море с большими глубинами, где величина прилива невелика, скорость приливных течений небольшая ($0,2 - 1,0$ км/ч).

Вблизи берегов, в узких заливах, бухтах или проливах, а также в устьях рек приливные и отливные течения меняют направление и называются *реверсивными течениями*.

Приливные течения в узкостях имеют большие скорости по сравнению с открытым океаном. Вблизи берегов РФ в узкостях и проливах скорость приливных течений достигает значительных величин ($5 - 13$ км/ч). Например, в Карском море у острова Белого скорость приливного течения достигает $6,5$ км/ч, в гирле Белого моря — $4,5$ км/ч, а в проливе Лаперуза — 9 км/ч.

При выходе из проливов или из-за мысов сильные приливно-отливные течения, расходясь веерообразно, создают водовороты, встречные течения, толчею воды с пенистыми полосами, называемыми сулоями. Сулои — это крутые волны со взбросами и водовороты, возникающие в некоторых районах с сильными приливными течениями.

Небольшие сулои имеют место в Керченском проливе Черного моря, более сильные — в узкостях у Тихоокеанских берегов. Наибольших размеров сулои достигают в мелководных водотоках с сильными реверсивными течениями, например в Курильских проливах. Особенно сильные сулои создаются течениями рек, впадающими в моря, например в Карском море вблизи Обской губы и Енисейского залива.

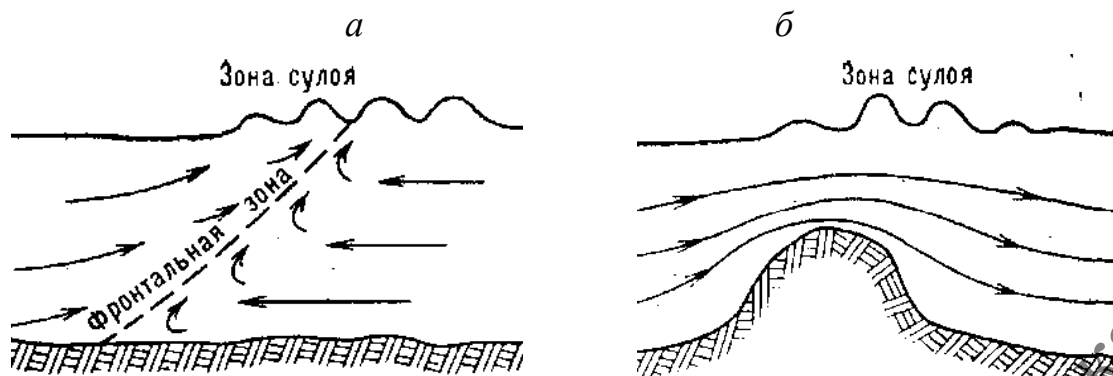


Рис. 2.12. Схемы образования сулоев

Образование сулоев обычно связывают с взаимодействием двух встречных потоков воды (рис. 2.12, а). Во фронтальной зоне образуются вихри, выходящие на поверхность в виде беспорядочных волн.

Сулои создаются также в результате выхода потока на мелководье (рис. 2.12, б). Наибольшие сулои этого вида создаются на приливных течениях, в которых поток охватывает всю толщу воды от поверхности до дна и несет в себе большую энергию.

Сулои опасны для плавания. Даже крупные суда испытывают на них беспорядочную качку и рыскливость. Высокая волна может нанести большие повреждения палубным механизмам и устройствам. Приближаясь к районам сулоев, судоводители должны учитывать фазы прилива и выбрать время прохода через опасное место.

В некоторых случаях в прибрежной полосе моря со сложным рельефом дна, извилистыми очертаниями берегов и определенным сочетанием направлений приливных течений создаются водовороты. Водовороты наиболее сильны в периоды *сизигий* (моменты расположения Земли, Луны и Солнца на одной линии). Так же как и сулои, сильные водовороты представляют опасность для плавания, особенно для мелких судов.

2.2. Габариты судового хода

Для движения судов по реке, озеру или водохранилищу выделяются обычно наиболее глубокие места — судовой ход, или фарватер. Судовой ход — это водное пространство на внутреннем судоходном пути, предназначенное для движения судов и обозначаемое на местности или на карте.

В настоящее время на реках с судоходством установлены гарантированные габариты судового хода: глубина, ширина и радиус закругления.

Глубина судового хода определяется осадкой судна и минимально необходимым запасом под днищем

$$T_r = S_c + \Delta S, \quad (2.2)$$

где S_c — осадка судна в грузу;

ΔS — запас под днищем судна, $\Delta S = 0,1 \div 0,3$ м.

Ширина судового хода определяется в зависимости одностороннего или двухстороннего движения судов:

– при одностороннем движении

$$B_r = B_c + 2\Delta B_1 \approx 2 B_c, \quad (2.3)$$

где B_c — ширина расчетного (максимального) судна;

ΔB_1 — запас от корпуса судна до кромки судового хода, $\Delta B \approx 0,5 B_c$.

– при двухстороннем движении

$$B_r = B_c + 2\Delta B_1 + \Delta B_2 \approx 4 B_c, \quad (2.4)$$

где B_2 — запас между корпусами расходящихся судов, $\Delta B_2 \approx B_c$.

Радиус закругления судового хода зависит от длины расчетного судна

$$R \geq 3 L_c, \quad (2.5)$$

где L_c — длина расчетного судна.

Важнейшими параметрами судового хода являются его гарантированные габариты:

– гарантированные габариты судового — установленные на участке судоходного пути наименьшие габариты судового хода при расчетных судоходных уровнях воды;

– гарантированная глубина (ширина) судового хода — установленная на участке судоходного пути наименьшая глубина (ширина) судового хода при проектном уровне воды.

За проектный уровень обычно принимается постоянный низкий навигационный уровень воды, характеризуемый определенной обеспеченностью. Высокая обеспеченность проектного уровня показывает, что большую часть навигации уровни воды в реке значительно выше проектного и глубины могут быть больше гарантированных. Поэтому на реках

поддерживают не только минимальные гарантированные глубины, но и дифференцированные, величина которых различна в зависимости от высоты уровня воды (рис. 2.13).

Габариты судового хода тесно связаны с классом ВВП — характеристикой участка ВВП, устанавливаемой в зависимости от гарантированной и (или) средненавигационной глубины судового хода, а также расчетных параметров транспортного флота на расчетную перспективу (табл. 2.1).

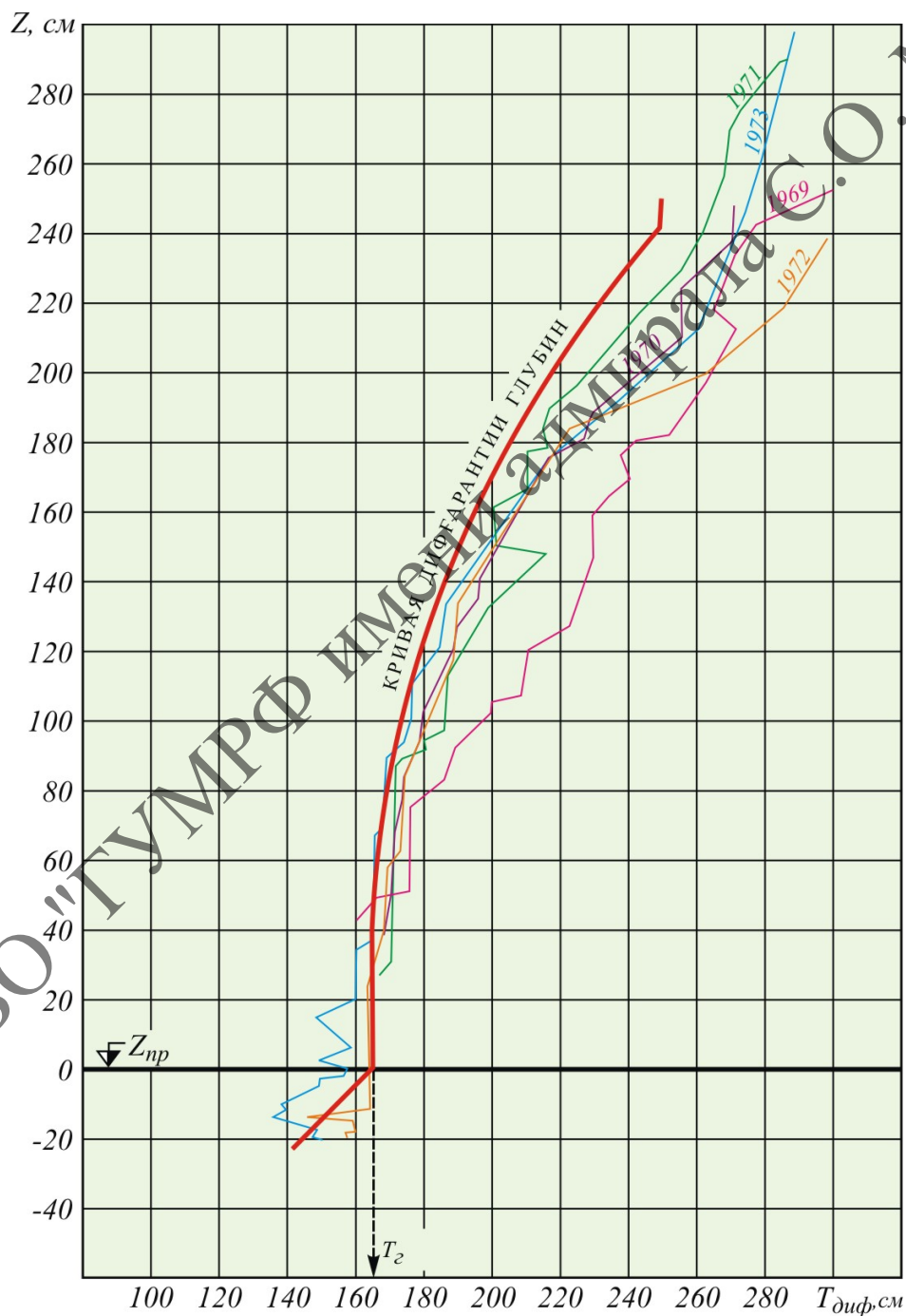


Рис. 2.13. Кривая дифференцированной гарантии глубин

Таблица 2.1

Габариты судового хода на ВВП

Класс водного пути	Глубина судового хода на перспективу, м		Ширина, м	Радиус закругления, м
	гарантированная	средне-навигационная		
1 — сверхмагистральные	св. 3,2	св. 3,4	100 – 85	1000 – 600
2 — то же	св. 2,5 до 3,2	св. 2,9 до 3,4	75 – 70	600 – 350
3 — магистральные	св. 1,9 до 2,5	св. 2,3 до 2,9		
4 — то же	св. 1,5 до 1,9	св. 1,7 до 2,3	50 – 40	300 – 200
5 — местного значения	св. 1,1 до 1,5	св. 1,3 до 1,7		
6 — то же	св. 0,7 до 1,1	св. 0,9 до 1,3	20 – 14	120 – 90
7 — то же	0,7 и менее	от 0,6 до 0,9		

2.3. Методы улучшения судоходных условий на ВВП

Судоходство на реках связано с зависимостью от самых разнообразных явлений природы: изменений температурного режима, различной по времени года водности, наличия естественных препятствий, морфологического состава ложа реки, топографии местности и т. п.

Чтобы использовать реку для судоходства, требуется изучение всех этих явлений. Даже самые крупные реки в их естественном состоянии не всегда пригодны для плавания судов из-за естественных и искусственных препятствий.

К естественным препятствиям относятся: перекаты, каменистые нагромождения (например, пороги), большая извилистость реки и т. д.

К искусственным препятствиям могут быть отнесены: мосты, водозаборные сооружения, выступающие в русло реки выправительные сооружения и т. д.

Наличие естественных препятствий, затрудняющих судоходство, требует проведения ряда мероприятий по улучшению судоходных условий. К таким работам относятся руслоочищение, дноуглубление, выправление и шлюзование.

2.3.1. Руслоочищение

Руслоочищение — профилактический способ улучшения судоходных условий, заключающийся в обнаружении препятствий в районе судового хода и удаление их.

Такое обнаружение осуществляется тралами поэтому способ называется тралением. Существует несколько видов траления.

Сплошное траление выполняется дважды в навигацию:

- при подъеме уровня воды;
- перед меженным периодом, когда уровень воды в реке стабилизируется.

Местное траление производится в периоды между сплошным тралением на перекатах на песчаных грунтах два раза в месяц, на скальных — через 3 – 5 дней.

Аварийное и специальное траление осуществляется с целью установления возможности проводки отдельных судов (например, военных) на малоизвестных участках водного пути или за границами основного водного пути.

Техническими средствами траления являются жесткие, гибкие и судовые тралы. Гибкий трал выполняется из стального каната, концы которого закреплены за кнехты двух катеров. Катера движутся по кромкам протраливаемого судового хода. При задевании за препятствия трос охватывает его, образуя петлю. К недостаткам этого вида траления можно отнести ненадежность обнаружения таких препятствий, как бревна и гладкие камни, с которых канат соскальзывает.

Жесткий трал является наиболее надежным. Он представляет собой раму, перемещаемую двумя катерами, либо специальным судном. Момент, когда рама задевает за препятствие, фиксируется на катерах. Специальное судно — судовой трал оборудуется устройством автоматического выставления буйв в месте обнаружения препятствия.

Обнаруженные препятствия удаляются дноочистительными судами, оснащенными подъемными поворотными кранами и оборудованием для обслуживания водолазов.

2.3.2. Дноуглубление

Дноуглубление в настоящее время является основным методом улучшения судоходных условий, заключающееся в удалении грунта или камней с судового хода.

В песчаных руслах рек грунт удаляется с помощью землесосов, в вязких — преимущественно с использованием многочерпаковых снарядов,

а при наличии скальных пород выполняется предварительное их рыхление с последующей уборкой скального грунта черпаковыми снарядами.

Дноуглубление решает три задачи:

- 1) поддержание габаритов судового хода на реках и каналах, при этом выполняется расширение и углубление судового хода на перекатах;
- 2) создание нового судового хода;
- 3) спрямление судового хода на водохранилищах и озерах.

Принципы проектирования дноуглубительных прорезей

Схемы эксплуатационных прорезей существенно различаются в зависимости от типа переката, на котором планируется выполнять дноуглубление.

На перекате-перевале прорезь трассируют по линии наибольших глубин (рис. 2.14). Отвал грунта укладывают на верхнем побочне. Систематическая укладка отвала на побочень повышает его отметки и, как следствие этого, замедляет движение побочня вниз по течению. Нижний побочень смещается вниз с прежней скоростью, и в результате создается возможность трассировать прорезь по все более пологому направлению, улучшая тем самым условия движения судов.

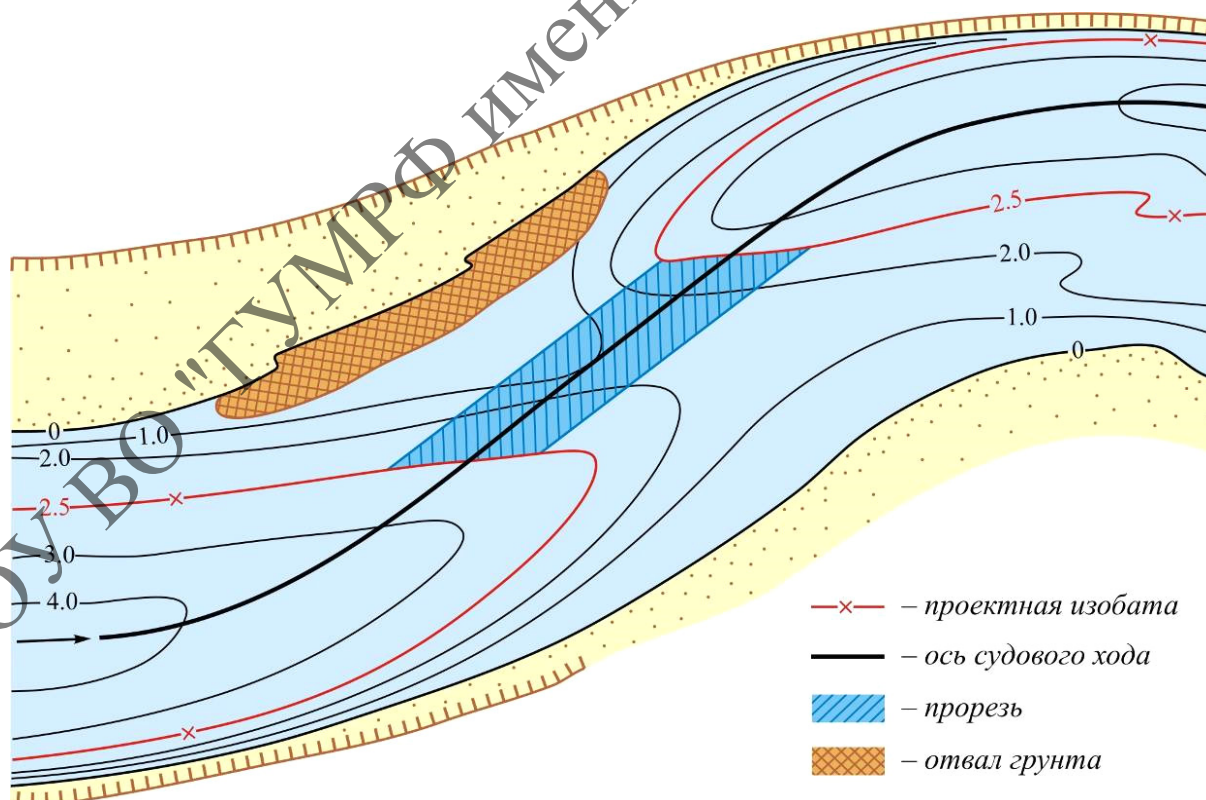


Рис. 2.14. Схема дноуглубительной прорези на перекате-перевале

Перекат с затонной частью являются одним из затруднительных для судоходства. Главная особенность таких перекатов состоит в том, что вал переката пересекает речное русло под очень малым углом. При меженных уровнях воды вследствие косого расположения перекатного вала течение на нем приобретает веерообразный характер с явно выраженным свальным течением от верхней плесовой лощины в затонскую часть. По мере понижения уровней воды, из-за растекания потока, максимум скоростей на перекатном валу смещается от нижнего побочня к верхнему, где имеется наибольший поперечный уклон свободной поверхности. При повышении уровней воды воздействие вала переката на поток постепенно ослабевает и при высоких уровнях становится незаметным. Весенний поток движется почти параллельно берегам и несколько размывает корыто переката вблизи нижнего побочня.

В связи с указанными особенностями движения потока на перекате с затонской частью возможны два варианта трассирования эксплуатационной прорези. По первому варианту весенний судовой ход проходит через корыто переката вблизи нижнего побочня. В середине спада половодья по этому направлению разрабатывается прорезь, которую иногда называют прорезью нижнего положения (рис. 2.15 — прорезь *Л*). Отвал грунта из-за недостаточной длины плавучего грунтопровода землесоса приходится укладывать на нижний побочень как можно дальше от прорези и делать его максимально распластным.

Однако в конце спада половодья и в межень вследствие растекания потока по перекатному валу скорости течения в прорези резко уменьшаются, и она начинает заноситься наносами. Одновременно поддержание судового хода вблизи нижнего побочня становится неблагоприятным и для судоходства. Составы, идущие сверху, испытывают действие свального течения в затонскую часть, которое особенно затрудняет буксировку плотовых составов. Толкаемые составы, движущиеся снизу при заходе в прорезь, располагаются бортами к сильному течению, идущему из затонской части и в результате могут сноситься вниз. Положение на перекате становится очень тяжелым и поэтому приходится трассировать новый судовой ход по крутому направлению вблизи верхнего побочня. Для этого разраба-

тывается прорезь, которую иногда называют прорезью верхнего положения (см. рис. 2.15 — прорезь *II*) Отвал грунта обычно укладывают на верхний побочень. Выполненная прорезь устойчива, мало заносится наносами, так как поддерживается течением. Заход в прорезь судов и составов снизу удобен.

Однако движение судовых составов, идущих сверху усложняется из-за малого радиуса циркуляции при выходе из прорези в затонскую часть. Под действием течения и сил инерции буксируемые баржи получают раскат в сторону берега и нередко наваливаются на него. Во время следующего половодья меженный судовый ход полностью заносится наносами, спускающимися с верхнего побочня, а весенний, более плавный судовый ход, вблизи нижнего побочня снова размывается.

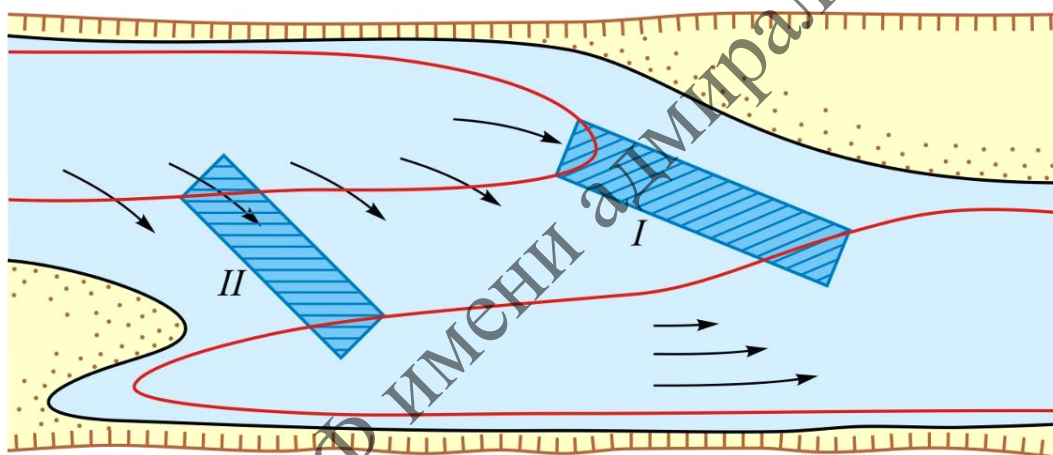


Рис. 2.15. Весенняя (*I*) и меженная (*II*) прорези на перекате с затонской частью

Коренное улучшение перекатов с затонской частью достигается с помощью капитальных прорезей, прокладываемых через нижний побочень или возведением выправительных сооружений, перекрывающих затонскую часть.

Перекаты часто встречаются на разветвленных участках русла. В коротких двухрукавных разветвлениях русла обычно располагается пара перекатов — у приверха острова в одном рукаве и у ухвостья острова — в другом.

В верхней части судоходного рукава наибольшие глубины бывают у приверха острова, поскольку при обтекании потоком приверха скорости

течения возрастают, и здесь развиваются явления размыва. Однако располагать прорезь у острова не следует по условиям судоходства. При заходе в прорезь сверху, хвостовую часть может затянуть течением в несудоходный рукав или навалить на приверх острова, особенно это касается плотовых составов. Поэтому прорезь рекомендуется трассировать ближе к материковому берегу, а отвал грунта укладывать между прорезью и этим берегом (рис. 2.16, а).

Если в судоходном рукаве перекат располагается у ухвостья острова, то прорезь чаще разрабатывают ближе к коренному берегу, так как в застойной зоне за ухвостом идет интенсивное отложение наносов (рис. 2.16, б). Крутизна прорези в этом случае зависит от соотношения расходов воды в рукавах: чем меньше расход воды в несудоходном рукаве, тем устойчивее прорези крутого направления, и, наоборот, при большом расходе воды в несудоходном рукаве устойчивее будет пологая прорезь.

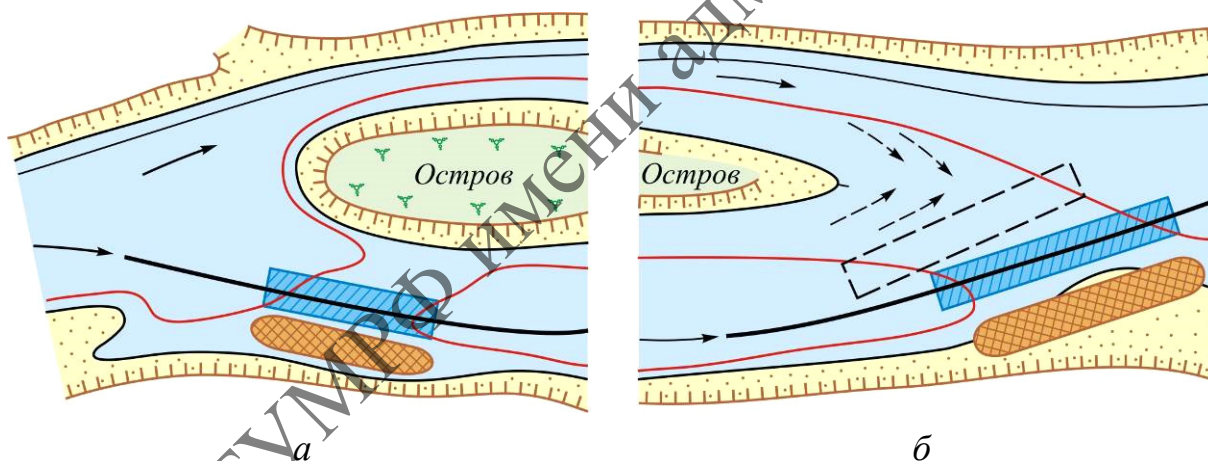


Рис. 2.16. Прорезь на разветвленных участках русла:
а — у приверха острова; б — у ухвостья

Капитальные прорези, предназначенные для создания на затруднительном участке нового, более удобного судового хода, выполняют на основании проектов, содержащих гидравлические расчеты. Ширина капитальных прорезей всегда назначается в 1,2 – 1,5 раза больше гарантированной ширины судового хода. Это делается с целью привлечь в прорезь больший расход воды и тем самым создать условия для закрепления хода по новому направлению.

Наиболее распространенным видом капитальных прорезей являются прорезы по отторжению нижнего побочня переката (рис. 2.17). К отторжению нижнего побочня приступают, когда существующий судовый ход сильно искривлен, а на побочне уже появились спрямляющие промоины, разработанные самим потоком во время половодий. Обычно причиной искривления судового хода является сближение верхнего и нижнего побочней. Более мощный нижний побочень смещается вниз по течению медленнее верхнего. Это приводит к все увеличивающемуся искривлению меженного судового хода. Для его поддержания приходится трассировать эксплуатационные прорезы почти поперек русла. В результате их заносимость резко возрастает, что приводит к увеличению объемов эксплуатационного дноуглубления.

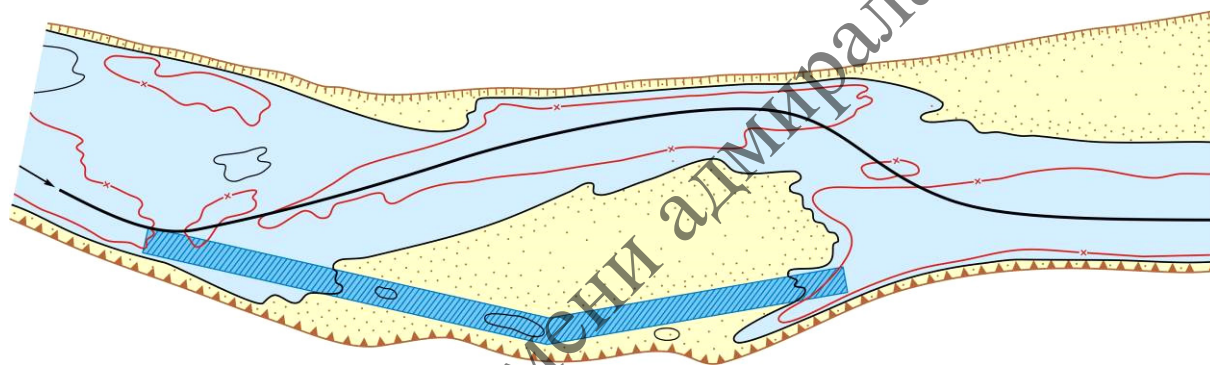


Рис. 2.17. Схема улучшения переката отторжением побочня

Капитальную прорезь обычно назначают по спрямляющей промоине, а отвал грунта чаще всего укладывают в виде сплошного вала на отторгаемом побочне.

Наиболее крупные капитальные прорезы выполняют на разветвленных участках русла при переносе судового хода из одного рукава в другой. Такой перенос осуществляют, когда на участке разветвления русла наметилась тенденция к обмелению судоходного и размыву несудоходного рукава. Судовой ход почти всегда переносят из более длинного и искривленного в более короткий и прямой рукав. Этим не только достигается коренное улучшение условий судоходства, но и обеспечивается большая устойчивость нового судоходного хода. В коротком рукаве уклон свободной поверхности, а с ним — при прочих равных условиях — и транспортирующая способ-

ность потока больше, чем в длинном. Пример разработки капитальной прорези в развивающемся несудоходном рукаве рассмотрен на рис. 2.18.

В приведенных примерах коренное улучшение судоходных условий на перекатах достигалось только средствами дноуглубления. Однако нередко капитальные прорези выполняют в комплексе с возведением выправительных сооружений, что обеспечивает необходимое увеличение глубин в короткие сроки и стабилизацию судоходной трассы на длительный период времени.

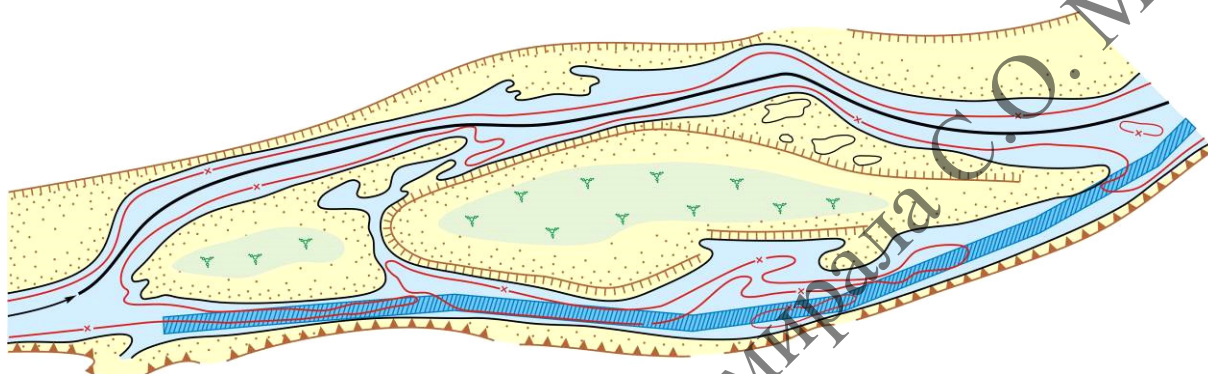


Рис. 2.18. Перенос судоходного хода из левого в правый рукав

Дноуглубительные снаряды

При выполнении дноуглубительных работ используются:

- землесосные снаряды;
- землечерпательные снаряды;
- скалодробильные снаряды.

Скалодробильные плавучие снаряды

Разработка скальных пород в большинстве случаев невозможна без их предварительного разрушения. Широко применяемые при разработке скальных пород взрывные способы часто оказываются не применимыми вблизи гидротехнических сооружений, мест прокладки трубопроводов и т. п.

Разрушение скалы осуществляют тяжелыми долотами или пневматическими молотами. Простейшее скалодробильное устройство представляет собой долото массой 5 – 30 т, подвешенное к концу стрелы штангового снаряда. Долото под действием своего веса скользит вниз по направляющей обойме и дробит грунт на глубине 6 – 17 м. Частота ударов составляет 50 – 180 в ч.

Для дробления большого объема грунта применяют специальные скалодробильные снаряды (рис. 2.19), работающие совместно со штанговым, грейферным или многочерпаковым снарядом. Необходимая глубина дробления обеспечивается несколькими ударами долота с одной позиции снаряда, после чего снаряд оперативными канатами перемещают на следующую позицию и серию ударов повторяют. В зависимости от прочности скалы производительность снаряда составляет $3 - 30 \text{ м}^3/\text{ч}$.

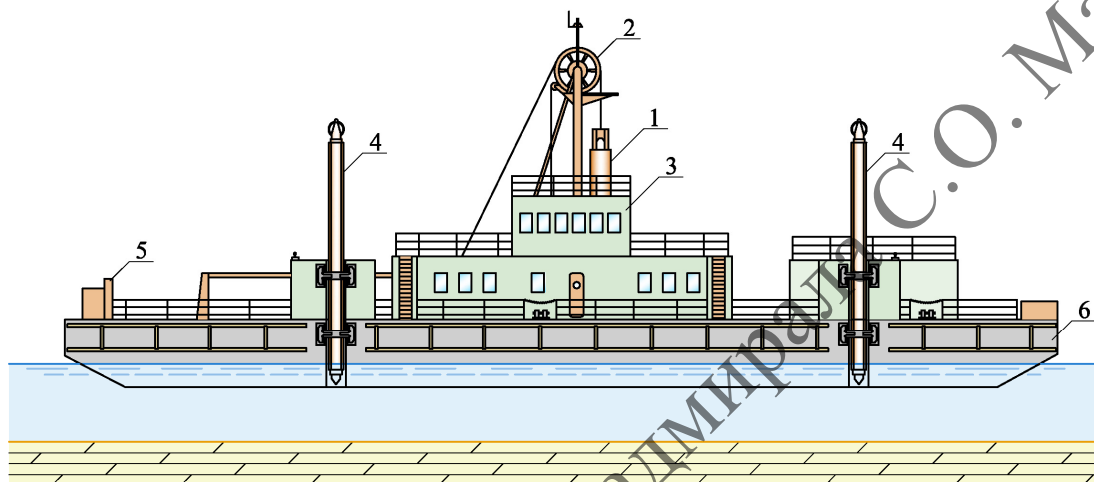


Рис. 2.19. Скалодробильный снаряд с долотом 15 т

1 — долото 15 т; 2 — блок подъемного механизма; 3 — машинный зал;
4 — закольные сваи; 5 — механизм горизонтального смещения снаряда; 6 — корпус

Скалодробильные снаряды с пневматическими молотами имеют вырез в средней части корпуса, над которой вдоль выреза по рельсам перемещаются два мостовых самоходных крана. По каждому из кранов поперек выреза перемещается электротележка с пневматическим молотом и долотом. Оба молота работают одновременно.

Земснаряды

Земснаряды, используемые на дноуглубительных работах, классифицируются по следующим признакам:

1) по способу забора грунта:

- землесосные;
- многочерпаковые;
- одночерпаковые;

2) по способу транспортировки грунта к месту отвала:

- рефулерные;

- шаландовые;
- лонгкулуарные (длиннолотковые);
- конвейерные (транспортные);
- самоотвозные (трюмные);

3) по способу перемещения во время выполнения работ:

- якорные;
- свайно-якорные;
- с движительной установкой;

4) по классу Российского речного регистра:

- морские;
- озерные;
- речные.

Землесосные снаряды

Землесосы в настоящее время являются наиболее распространенным дноуглубительным снарядом. Используются в основном на легких несвязных (песчаных) грунтах, однако в последнее время стали применяться мощные механические разрыхлители, которые позволяют им работать и на тяжелых связных (глинистых) грунтах. Землесос отделяет грунт от дна, всасывает водогрунтовую смесь (пульпу) и транспортирует ее к месту отвала.

Механизмы и оборудование землесоса (рис. 2.20) располагаются на специальном понтоне (самоходном или несамоходном), имеющем в корпусе продольный вырез. В средней части понтона располагается главный центробежный насос с приводом.

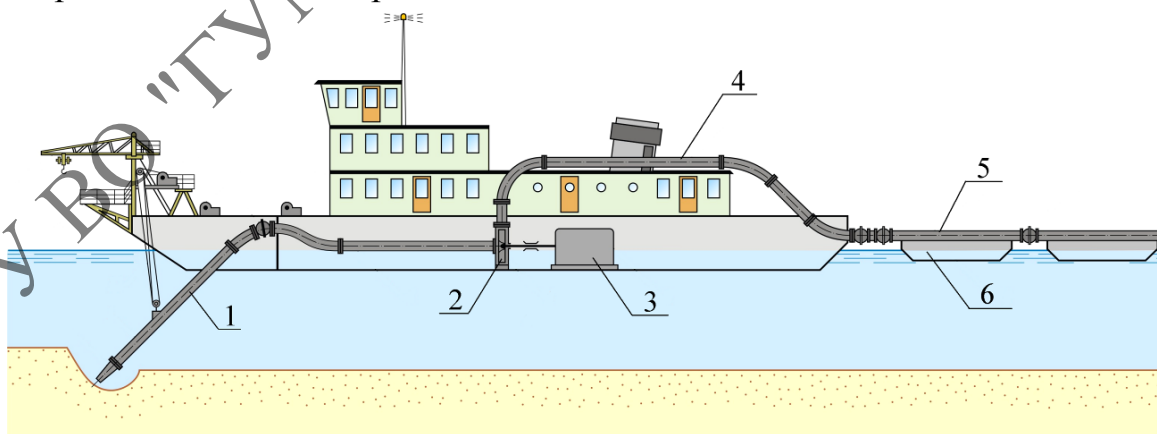


Рис. 2.20. Схема землесоса:

- 1 — всасывающая труба; 2 — грунтовый насос; 3 — главный двигатель;
 4 — корпусная часть напорного грунтопровода;
 5 — плавучая часть напорного грунтопровода (рефулер); 6 — понтон

В вырез понтона опущена всасывающая труба, имеющая наконечник (сосун), которая посредством гибкой связи (металлический шарнир или резиновый рукав) соединена с неподвижной корпусной частью грунтопровода. Гибкая связь позволяет изменить угол наклона всасывающей трубы. В рабочем положении угол наклона составляет $40 - 45^\circ$ к горизонту. Подъем воды осуществляется лебедкой.

Сосун землесоса может быть оборудован специальными рыхлителями грунта. При разработке песчаных грунтов обычно применяют гидравлические рыхлители (под большим давлением подается вода). При разработке глинистых, илистых и гравелистых грунтов применяют механические рыхлители, рабочим органом которых является фреза.

При работе центробежного насоса в верхнем конце всасывающего грунтопровода создается понижение давления — вакуум, в нижнем конце, в районе сосуна — давление атмосферное. Под действием перепада давлений происходит засасывание водогрунтовой смеси (пульпы), грунт размывается и увлекается во всасывающую трубу струей воды, которую забирает центробежный насос. Выброс грунтовой смеси происходит в патрубок напорного трубопровода. Затем грунтовая смесь транспортируется к месту отвала по рефулеру.

Черпаковые снаряды

При выполнении дноуглубительных работ могут использоваться как одночерпаковые, так и многочерпаковые земснаряды.

Одночерпаковые земснаряды применяют при выполнении небольшого объема работ. Они делятся на два типа в зависимости от конструкции и способа извлечения грунта:

- штанговые;
- грейферные.

Штанговые одноковшовые земснаряды представляют собой плавучий понтон, на котором установлено оборудование аналогичное экскаватору (рис. 2.21). Их применяют при работе на особо тяжелых грунтах: плотные глины, валуны, предварительно разрыхленные или слабые скальные породы. Работают они так же, как экскаваторы по принципам прямой и обратной лопат.

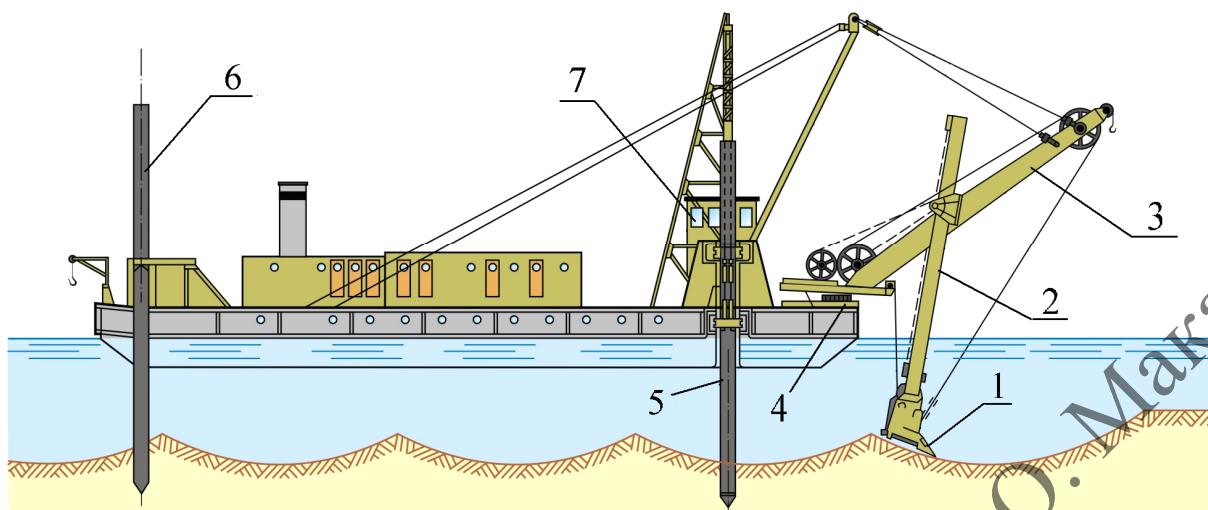


Рис. 2.21. Штанговый земснаряд: 1 — ковш; 2 — штанга; 3 — стрела;
4 — поворотная платформа; 5 — носовая закорьная свая;
6 — кормовая упорная свая; 7 — пост управления

Грейферные земснаряды — грейферный плавучий кран с поворотной стрелой (рис. 2.22). Используются они при работе на легких грунтах (песчаные и гравийно-песчаные отложения).

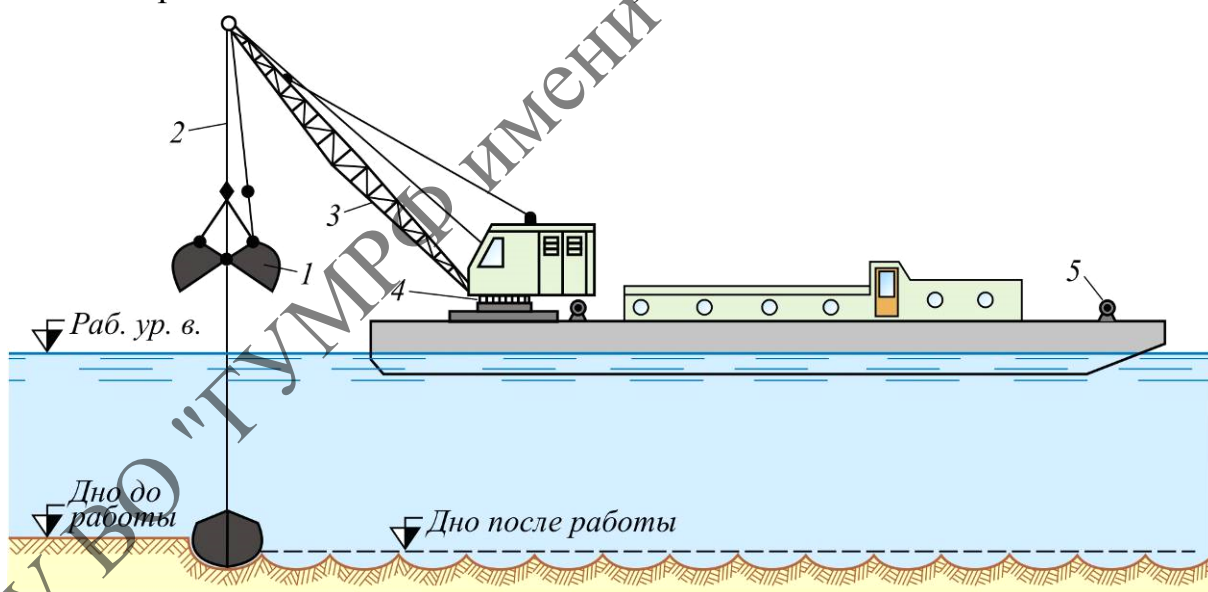


Рис. 2.22. Грейферный земснаряд: 1 — ковш; 2 — трос; 3 — стрела;
4 — поворотный механизм; 5 — лебедка

Многочерпаковые земснаряды более производительные и применяются значительно чаще одночерпаковых земснарядов. Они являются машинами непрерывного действия (рис. 2.23).

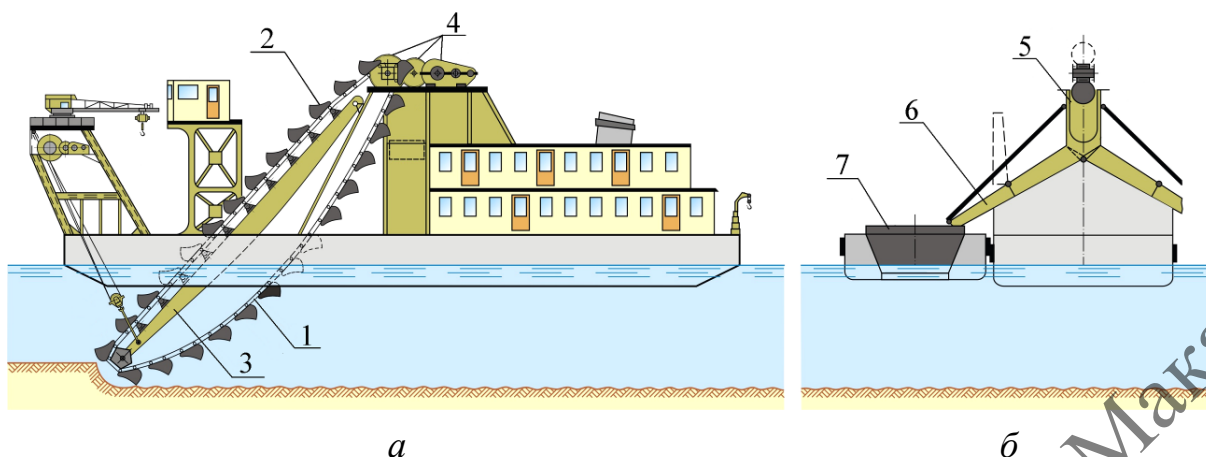


Рис. 2.23. Схема многочерпакового снаряда:

а — продольный разрез; б — поперечный разрез.

1 — черпаковая цепь; 2 — черпак; 3 — черпаковая рама;

4 — черпаковый привод; 5 — грунтовый колодец; 6 — грунтовый лоток;

7 — грунтотвозная шаланда

Основным рабочим органом многочерпакового снаряда является черпаковая цепь, состоящая из замкнутой цепи шарнирно соединенных черпаков и промежуточных звеньев, уложенная и опирающаяся через роликовые скаты на черпаковую раму. Черпаковая рама снабжена верхним (ведущим) и нижним (направляющим) барабанами, которые обеспечивают перемещение (подъем) черпаковой цепи по поверхности черпаковой рамы. Число граней у нижнего ведомого барабана на одну меньше, чем у верхнего, что позволяет исключить рывки черпаковой цепи при возможном одновременном ее попадании на грани обоих барабанов. Черпаковая рама снабжена подъемной лебедкой.

Черпаки, поднимаясь до верхнего барабана и опрокидываясь, сбрасывают грунт в грунтовый колодец, а затем по лотку грунт поступает в грунтотвозную шаланду, установленную у борта земснаряда. При работе многочерпаковых снарядов в стесненных условиях отвод грунта из грунтового колодца осуществляется по специальным грунтовым лоткам непосредственно к месту отвала.

2.3.3. Выправление русел

Под выправлением рек понимается комплекс работ, в результате которых в русле свободной реки обеспечиваются необходимые габариты

судового хода за счет использования энергии и формирующей деятельности потока.

Выправление рек заключается в устройстве специальных русловых сооружений, под влиянием которых энергия речного потока направляется на углубление мелких мест в речном русле и на удаление продуктов размыва дна вниз по течению или в сторону от судового хода. В результате переформирования потока через некоторое время на выправляемом участке русла происходит углубление дна на величину Δh , а в пределах судового хода устанавливается расчетная глубина потока $h_p = h_6 + \Delta h$, необходимая для движения судов.

Новое русло, ограниченное выправительными сооружениями и берегами, называют *выправительной трассой*. За ширину выправительной трассы B_T принимают ширину выправительного речного русла при проектном уровне воды. Часть выправительной трассы, где имеются глубины, которые можно использовать для судоходства в течение всей навигации, называется *судоходной трассой*.

При выправлении выполняется следующие виды путевых работ:

- перекрытие части русла реки полузапрудами или дамбами;
- перекрытие второстепенных несудоходных рукавов запрудами;
- обеспечение плавного сопряжения потоков в районе островов с помощью продольных дамб;
- закрепление отдельных участков, интенсивно размываемых потоком берегов, береговыми укреплениями;
- спрямление крутых поворотов русла (извилин) разработкой дноуглубительных прорезей и возведение выправительных сооружений, перекрывающих старый судовой ход;
- закрепление песчаных побочней полузапрудами.

По назначению и расположению в русле выправительные сооружения делятся на следующие основные типы.

Запруды — поперечные сооружения, полностью перекрывающие русло несудоходного рукава для уменьшения расходов в нем и увеличение

расхода воды и скорости течения в судоходном рукаве, вследствие чего происходит углубление имеющихся там перекатов (рис. 2.24).

Полузапруда — поперечное сооружение, перекрывающее часть поперечного сечения русла на перекате и перераспределяющее расход воды по ширине русла, увеличивая скорость течения по выправительной трассе в районе судового хода. Под действием увеличенной скорости течения происходит размыв дна и достигается заданная глубина в пределах судового хода (рис. 2.25).

Полузапруды, как и запруды, работают интенсивно при низких (меженных) уровнях воды в незатопленном состоянии; когда весь поток движется только в пределах выправительной трассы.

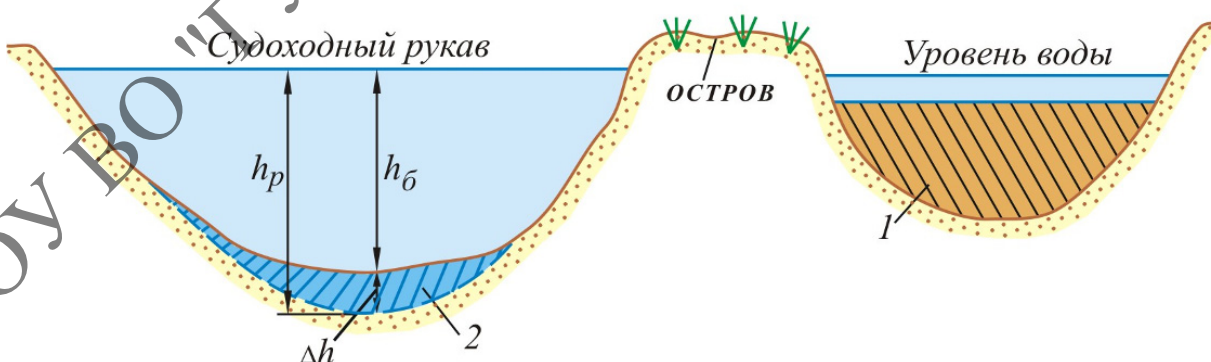
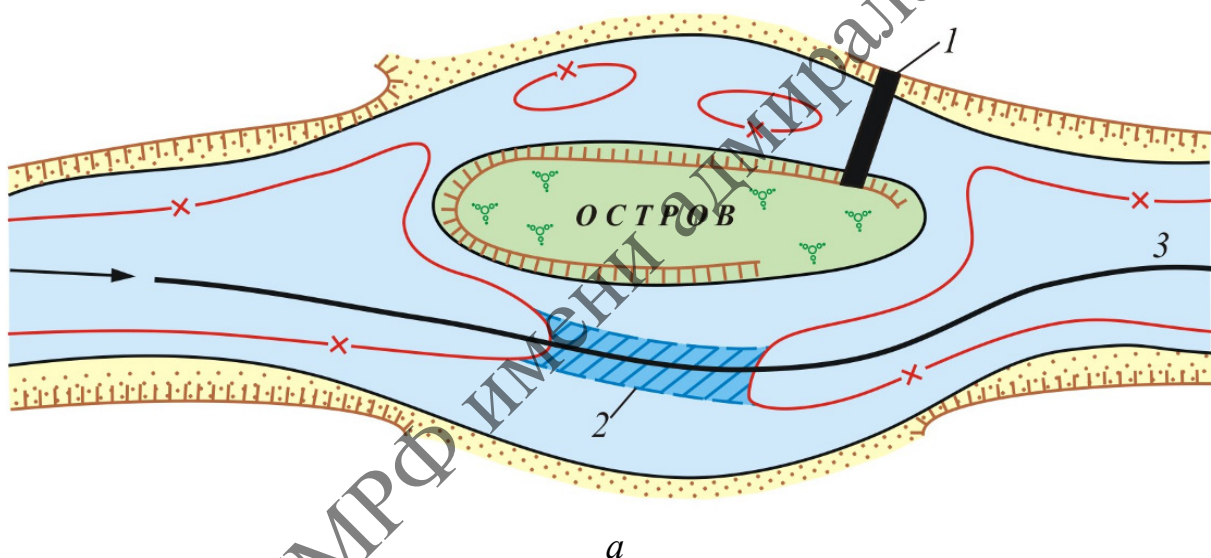


Рис. 2.24. Запруда: а — план; б — разрез.
1 — тело запруды; 2 — зона размыва; 3 — ось судового хода

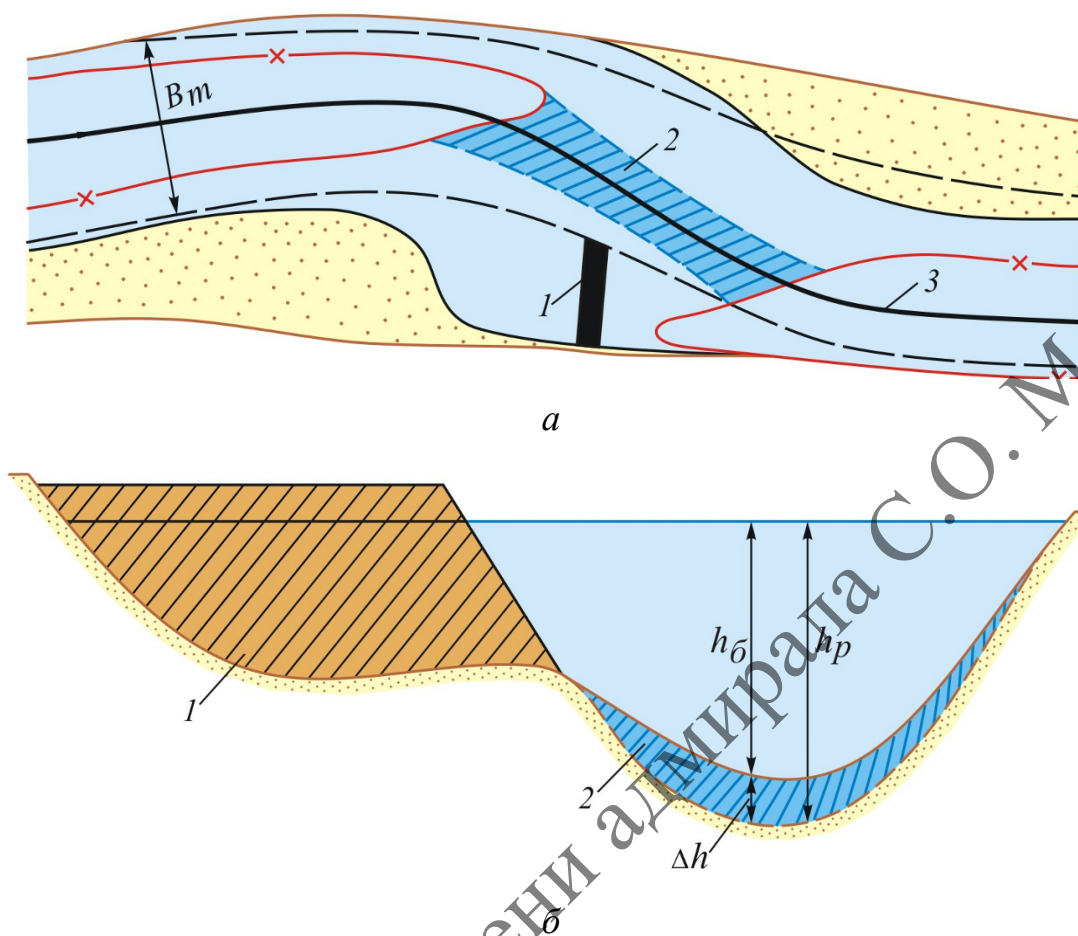
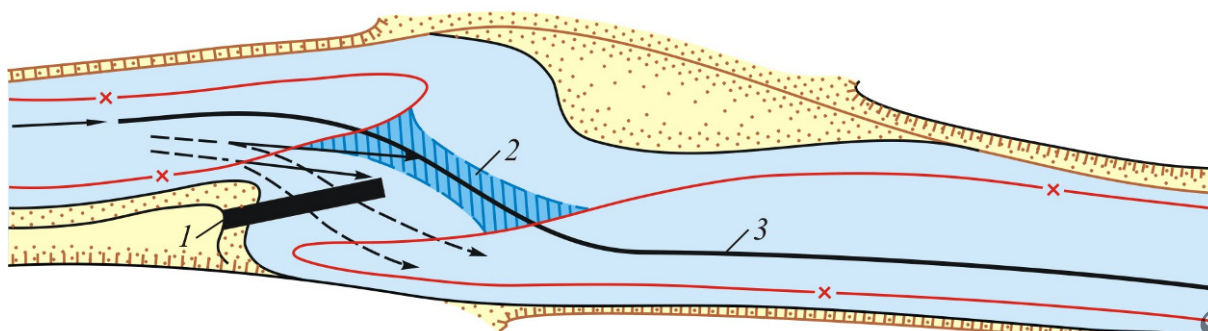


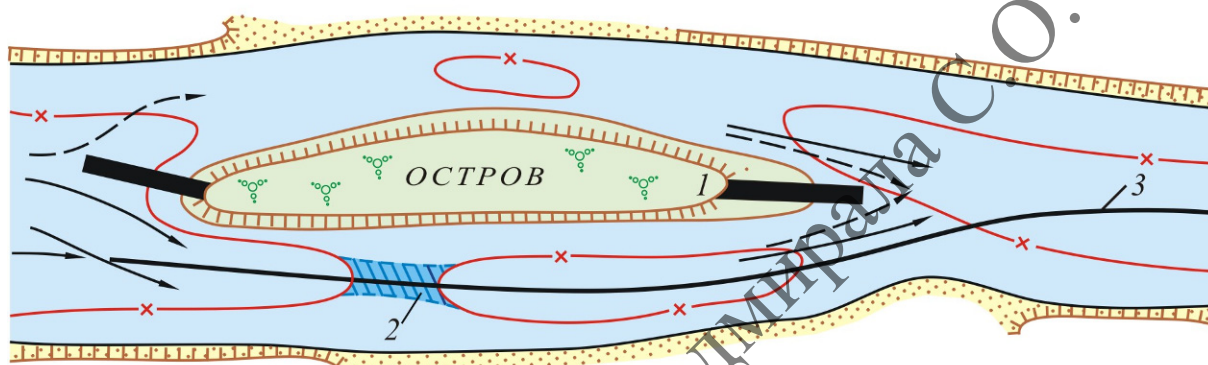
Рис. 2.25. Полуперекладка: а — план; б — разрез.
1 — тело полуперекладки; 2 — зона размыва дна; 3 — ось судового хода

Весной полуперекладки оказываются затопленными (через них переливается вода), при этом только небольшую часть расхода полуперекладки вытесняет в сторону выправительной трассы, но при этом весной уровне на судовом ходу выше средних и это компенсирует работу выправительных сооружений.

Струенаправляющие дамбы — продольные сооружения, ось которых с направлением потока образует угол от 0 до 45° или от 135 до 180°. Основным предназначением струенаправляющих дамб является направление течения в сторону судового хода и ликвидация свальных течений, а так же обеспечение плавного сопряжения потоков на участках их слияния (рис. 2.26).



a



б

Рис. 2.26. Струенаправляющая дамба:
a — на перекате; *б* — на островном участке;
 1 — тело дамбы; 2 — зона размыва; 3 — ось судового хода

Струенаправляющие дамбы возводятся достаточно высокими (2 – 3 м над меженным уровнем) и поэтому эффективно работают и весной, в период спада паводка. В результате происходит смыв наносов со дна, предотвращая их осаждения.

Берегозащитные сооружения и средства предназначаются для защиты берегов от разрушения течением, ледоходом или волнами, кроме того, они уменьшают поступление наносов на расположенные ниже перекаты, улучшая их состояния для судоходства.

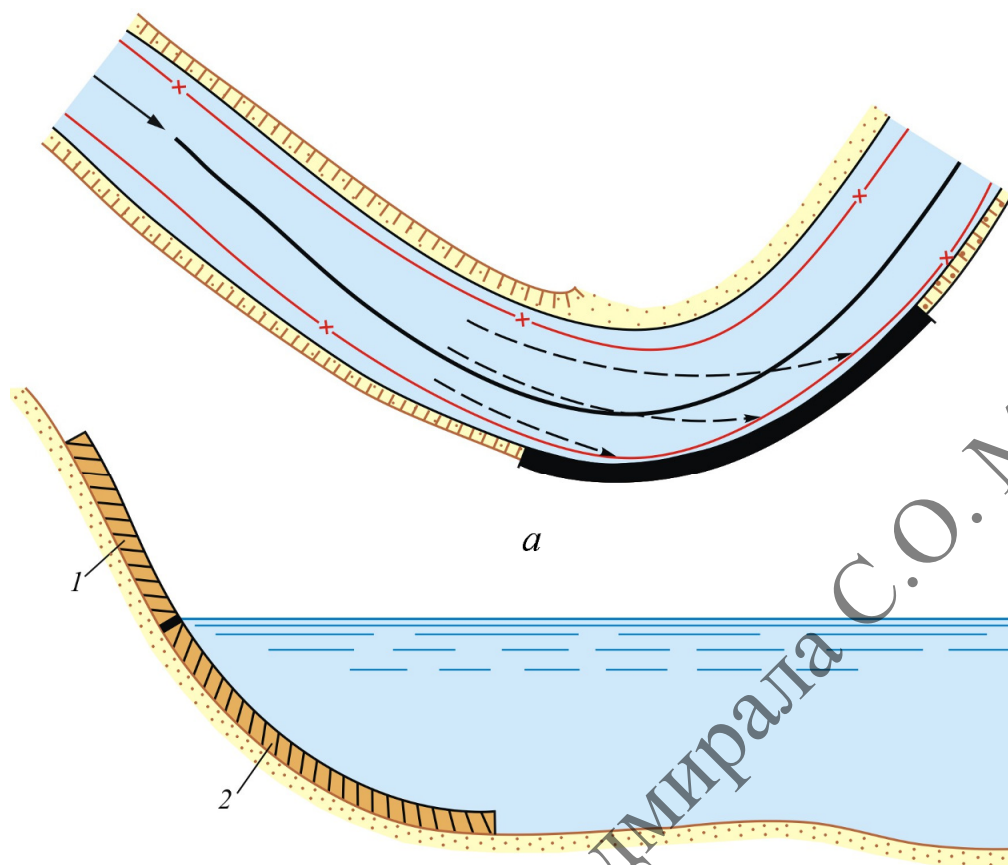


Рис. 2.27. Береговое укрепление. *а* — план; *б* — поперечный разрез.
 1 — надводная часть укрепления; 2 — подводная часть; 3 — ось судового хода;
 → направление течения

Выправительные сооружения могут быть:

- из каменной наброски;
- грунтовые (намывные и насыпные)
- свайные;
- свайно-грунтовые;
- хворостяной или тюфячной кладки;
- из бетонных или железобетонных плит.

Выбор того или иного материала зависит от местных условий и производственных возможностей.

Схема расположения выправительных сооружений на перекатах

Схема расположения полузапруд на перекате с затонской частью представлена на рис. 2.28.

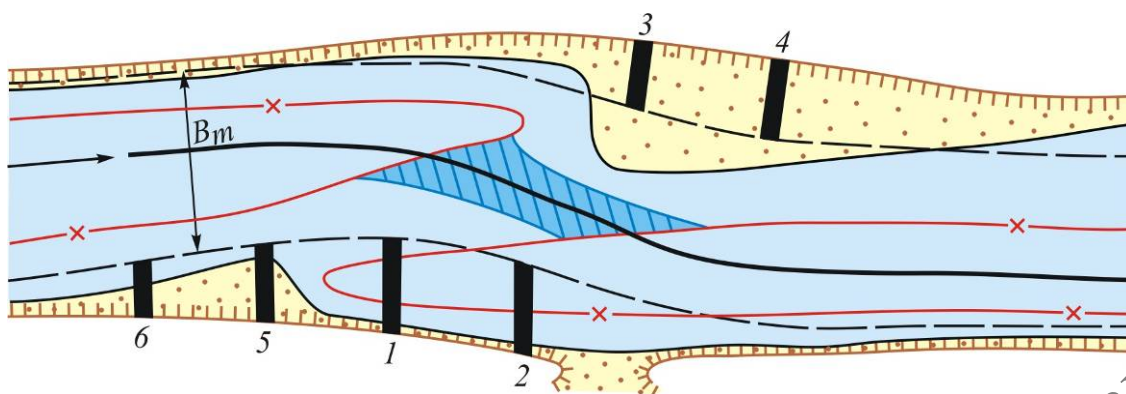


Рис. 2.28. Схема расположения полузапруд на перекате с затонской частью

Основными элементами здесь являются полузапруды 1 и 2, перекрывающие затонскую часть, предназначенные для сосредоточения потока в пределах выправительной трассы и ликвидации свальных течений в затонскую часть. Под их влиянием поток отклоняется в сторону судового хода, где увеличивается скорость течения, и происходит размыв дна и углубление переката для безопасного движения судов. Остальные сооружения вспомогательные, предназначены для повышения отметок побочных. Поскольку в пространство между полузапрудами откладываются наносы (из-за малых скоростей течения в этих областях), то русло принимает более правильную и удобную для судоходства форму.

Одной из распространенных схем выправления речных русел является устройство запруд в несудоходном рукаве разветвленного русла (рис. 2.29).

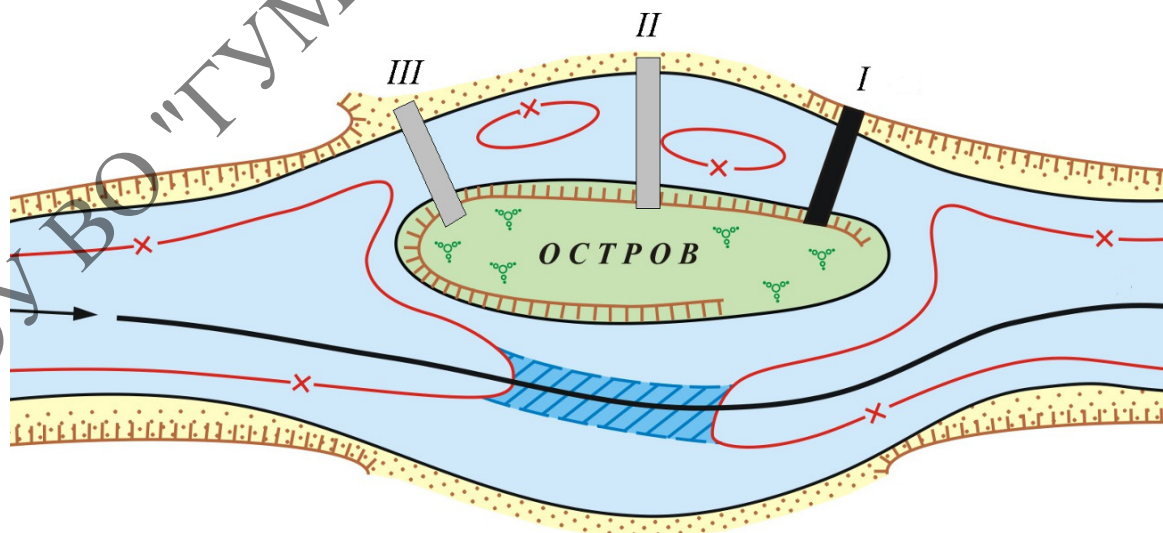


Рис. 2.29. Варианты (I, II, III) расположения запруд в несудоходном рукаве

В практике рассматриваются следующие варианты расположения запруд:

- у ухвостья острова (в конце несудоходного рукава);
- в середине несудоходного рукава;
- у приверха острова.

В первом варианте (см. рис. 2.29, I) расположение запруды является наиболее удачным с гидравлической точки зрения, поскольку несудоходный рукав является зоной отложения наносов. Кроме того, место производства работ доступно для судов со строительными материалами, плавучих кранов и земснарядов, которые используются для отсыпки тела сооружения и укрепления берегов. Вместе с тем данный вариант не лишен недостатков: вероятное наличие низких отметок берега у ухвостья острова часто не позволяет надежно укрепить корень запруды у берега острова. При необходимости створ сооружения располагают несколько выше, где имеется высокий берег острова.

Второй вариант (см. рис. 2.29, II) устройства запруды имеет ряд недостатков, среди которых недостаточная протяженность участка для аккумуляции наносов и сложность подхода судов со строительными материалами из мелких глубин.

В третьем варианте (см. рис. 2.29, III) расположение запруды является удобным для производства работ: в этом случае к месту возведения легко могут подойти суда со строительными материалами. Однако этот вариант расположения запруды имеет существенные недостатки:

- отсутствие участка для отложения наносов;
- возможное увеличение глубины в несудоходном рукаве, из-за чего эффективность выправления значительно снижается;
- как правило, большая протяженность выправительных сооружений и более сложные условия работы сооружения в период ледохода.

В практике путевых работ запруды возводятся по одному из приведенных вариантов с учетом местных особенностей затруднительных участков.

2.3.4. Шлюзование рек

Существенное улучшение судоходных условий на большом протяжении реки и создание новых воднотранспортных соединений между двумя

речными (морскими) бассейнами может быть достигнуто посредством шлюзования, при котором водные ресурсы наиболее полно используются в интересах различных отраслей экономики страны.

Шлюзование предусматривает возведение на реке ряда подпорных сооружений, повышающих в период навигации уровни воды по сравнению с уровнями в естественном состоянии. При шлюзовании река по длине делится сооружениями на отдельные участки, которые принято называть *бьефами*.

Участок реки, расположенный выше сооружения, считается *верхним бьефом*, а ниже сооружения — *нижним бьефом*. Разность отметок уровней верхнего и нижнего бьефов называют напором H на сооружение. Бьефы, накапливающие значительные объемы стока воды и перераспределяющие их во времени, носят название *водохранилищ*.

Подпорные сооружения поднимают уровень воды на каждом участке, обеспечивая необходимую судоходную глубину (рис. 2.30). Одновременно увеличиваются ширина и радиусы поворотов судового хода. Если проектные габариты полностью не выдерживаются, то предусматривают проведение дноуглубительных работ. От каждого сооружения вверх по реке распространяется подпор.

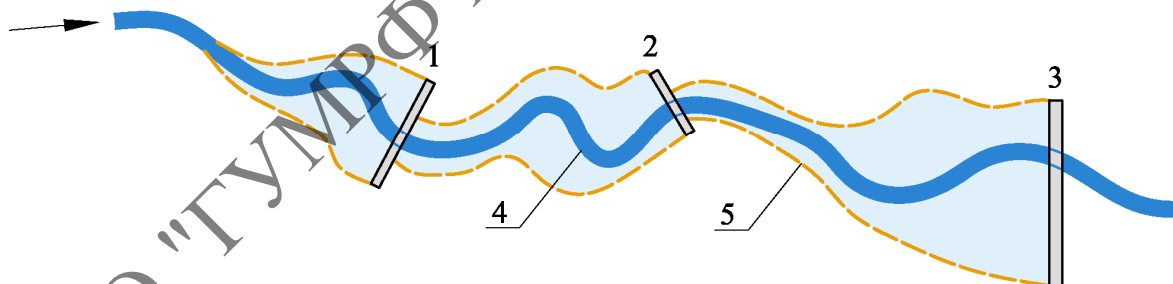


Рис. 2.30. Схема шлюзования реки: 1 – 3 — водоподпорные сооружения (гидроузлы); 4 — река в естественном состоянии; 5 — урез воды при шлюзовании реки

Схемы шлюзования рек выбираются в зависимости от вида решаемых народнохозяйственных задач. Чаще всего встречаются такие варианты шлюзования, как низконапорный и высоконапорный.

Низконапорный вариант предусматривает шлюзование реки, в основном, в транспортных целях для улучшения судоходных условий.

В этом случае на реке возводятся сооружения небольшого напора, предназначенные для создания подпора в меженный период, когда расходы воды в реке малы и судоходные глубины оказываются меньше проектных. Во время прохождения интенсивных паводков такие сооружения затапливаются, и судоходство осуществляется так же, как и до шлюзования;

Высоконапорный вариант предусматривает шлюзование рек для комплексного использования водных ресурсов, что позволяет удовлетворить потребности в воде различных отраслей народного хозяйства (транспорта, энергетики, промышленного и гражданского водоснабжения, сельского и рыбного хозяйства и др.). В этом случае строятся высоконапорные сооружения, поддерживающие подпор воды непрерывно с учетом перераспределения стока как в течение одного года, так и за многолетний период.

Целесообразность использования принятой схемы шлюзования должна быть обоснована технико-экономическими расчетами. Учет затрат и результатов при осуществлении проекта должен охватывать изменения экологического потенциала природного объекта и последствия экономического использования водных ресурсов.

Размещение напорных сооружений по длине реки, их число и величины напоров зависят от цели шлюзования: комплексное использование водных ресурсов или решение частной водохозяйственной проблемы. Сооружения гидроузла располагаются на реке в заранее установленных поперечных створах, которые тщательно выбираются путем сравнения ряда вариантов, отличающихся между собой природными особенностями, условиями строительства и эксплуатации сооружений.

На выбор створа гидроузла существенное влияние оказывают строительные свойства грунтов, на которых возводится напорное сооружение, и рельеф местности в районе строительства. Наиболее надежными и экономичными в эксплуатации считаются сооружения, возводимые на скальных грунтах, а на нескальных приходится возводить тяжелые гидротехнические сооружения, требующие значительных материальных затрат. При

крутых берегах русла и долины реки существенно уменьшаются зона затопления земель и длина напорного фронта сооружений, а, следовательно, и их стоимость, но при этом может быть затруднено производство работ по возведению сооружений.

Во избежание затоплений значительных территорий, створы гидроузлов необходимо назначать выше крупных населенных пунктов, промышленных предприятий и территорий, используемых для различных целей (объекты сельского хозяйства, природные ископаемые и ресурсы, зоны заповедников и отдыха и т. п.)

При расположении створа ниже крупного притока реки увеличивается зона затопления поймы притока. На притоке улучшаются судоходные условия. При расположении створа выше притока уменьшается зона затопления земель, но теряются дополнительные выгоды для энергетики и водного транспорта. Окончательный выбор створа в данном случае должен производиться путем сравнения затрат и полученных результатов по различным отраслям народного хозяйства.

При выборе створов необходимо учитывать наличие в районе строительства подъездных путей и других инженерных коммуникаций, жилых поселков, материальных и трудовых ресурсов, промышленных предприятий и производственных баз, а также условия для пропуска льда, паводков, судов и другие факторы.

2.4. Сооружения речного гидроузла и его компоновка

Группа сооружений, объединенных общим местом расположения на водном пути, решением водохозяйственных целей и условиями совместной работы, называют *узлом гидротехнических сооружений* или *гидроузлом*.

По назначению гидроузлы можно разделить на *комплексные*, предназначенные для решения нескольких водохозяйственных задач (например, транспортно-энергетические гидроузлы), и *специальные*, предназначенные для удовлетворения нужд конкретной хозяйственной отрасли (гидроэнергетические, воднотранспортные, водозаборные, ирригационные и т. п.)

В состав гидроузла комплексного назначения могут входить следующие сооружения:

- бетонная (глухая или водосливная) плотина, представляющая собой подпорную стенку, предназначенную для создания подпора воды и поддержания уровня верхнего бьефа на определенной отметке, а также для пропуска паводковых вод из верхнего бьефа в нижний;

- земляные плотины и дамбы — напорное или безнапорное сооружения, служащие для сопряжений бетонных сооружений гидроузла между собой и с берегами русла или поймы реки;

- судопропускные сооружения (шлюзы или судоподъемники), предназначенные для преодоления судами сосредоточенных падений уровней воды при переходе из одного бьефа в другой;

- гидроэлектростанция (ГЭС), использующая энергию речного потока для выработки электроэнергии;

- другие гидротехнические сооружения целевого водохозяйственного назначения: для пропуска через гидроузлы ценных пород рыб, древесины в пучках или плотях, для забора воды на различные хозяйственные нужды, для подъема, сброса и полезных попусков воды из водохранилищ.

Основные варианты компоновки сооружений в речных гидроузлах — русловая, либо пойменная.

При *русловой компоновке* основные сооружения гидроузла размещаются преимущественно в русле реки. При недостаточной ширине русла отдельные сооружения (чаще всего судопропускные) могут располагаться и вдоль берега. По этому принципу построены гидроузлы на реках с крутыми берегами и сравнительно узким руслом, образованном в скальных породах: на Волхове (рис. 2.31), Ангаре, Енисее и др.

Пойменная компоновка предусматривает расположение основных сооружений не только в русле, но и в пойме реки. Этот вариант компоновки характерен для сооружений, возводимых на равнинных реках с широкой долиной, где меженное русло может свободно перемещаться между берегами долины (Волга, Кама, Днепр и др.).

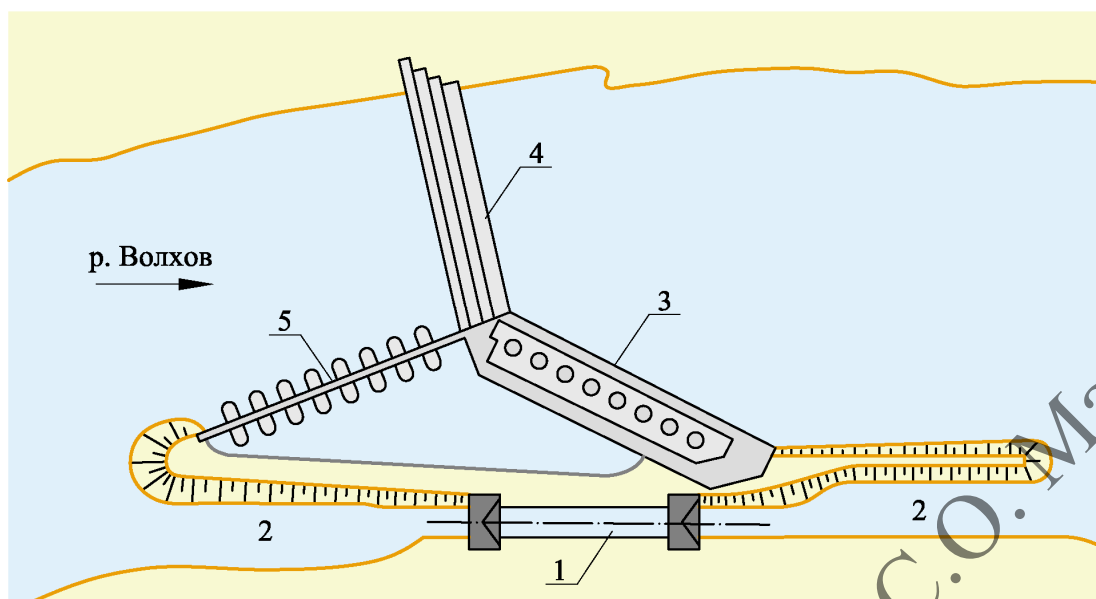


Рис. 2.31. Схематический план Волховского гидроузла:
1 — судоходный шлюз; 2 — подходы каналы; 3 — гидроэлектростанция;
4 — бетонная водосливная плотина; 5 — ледозащитная стенка

Примером пойменной компоновки может служить план расположения сооружений Самарского гидроузла, представленный на рис. 2.32.

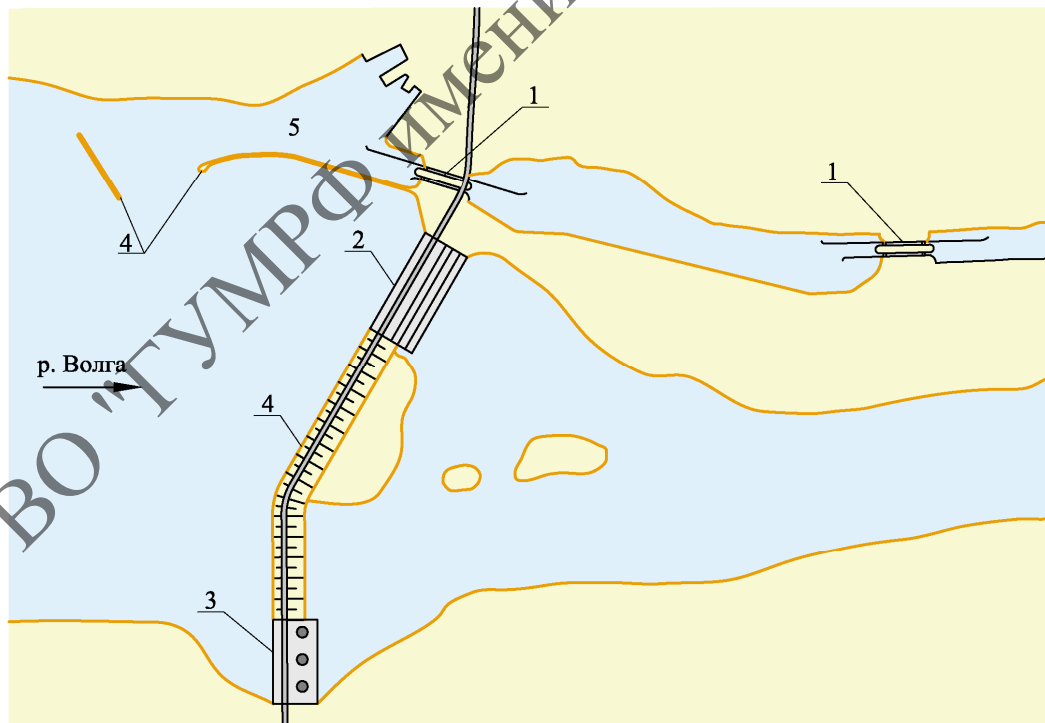


Рис. 2.32. Схематический план Самарского гидроузла:
1 — судоходный шлюз; 2 — бетонная водосливная плотина;
3 — гидроэлектростанция; 4 — земляная плотина; 5 — аванпорт;
6 — дамбы аванпорта; 7 — межшлюзовой бьеф; 8 — нижний подходной канал

Русловая и пойменная компоновки гидроузлов отличаются между собой не только местом расположения основных сооружений, но и эксплуатационными, экономическими, экологическими и другими особенностями. Основными достоинствами русловой компоновки являются:

- компактное расположение и удобное обслуживание сооружений;
- небольшая длина напорного фронта, меньшая зона затопления земель, а, следовательно, и стоимость сооружений гидроузла.

К недостаткам можно отнести стесненные условия для производства работ, пропуска судов, льда и паводков. Поэтому строительство сооружений гидроузла приходится выполнять в два этапа. На первом этапе возводится судопропускное сооружение, располагаемое вдоль берега или на берегу (судоходство в этом случае осуществляется по основному руслу реки), а на втором этапе, когда пропуск судов и строительных расходов может производиться через судопропускное сооружение, — плотина, ГЭС и другие гидротехнические сооружения.

Пойменная компоновка имеет ряд существенных недостатков, определяемых большой длиной напорного фронта, но она обеспечивает более благоприятные условия для производства работ, пропуска судов и паводков. Сооружения гидроузла в этом случае могут возводиться независимо друг от друга, и поэтому общий срок строительства гидроузла может быть несколько меньшим, чем в условиях русловой компоновки.

2.5. Судоходные плотины

Плотины, создающие подпор воды при низких уровнях воды в реке и обеспечивающие безопасные условия пропуска судов через их отверстия при гарантированных габаритах судового хода, принято называть *судоходными*.

Судоходные плотины временно поддерживают подпор воды в ограждаемой акватории и по продолжительности их работы могут быть с сезонным и суточным регулированием расхода.

Плотины с сезонным регулированием расхода поддерживают уровни воды в реке до естественных горизонтов с гарантированной глубиной судового хода в течение определенного периода времени, например в лет-

ную межень. Судоходные отверстия плотин в этом случае закрыты с возможностью частичного пропуска расхода воды через них, и движение судов может осуществляться только через судоходный шлюз. При уровнях воды выше судоходного (в паводок), а также в зимнее время судоходные отверстия открыты и позволяют пропускать полный расход воды в реке. В паводок судоходство осуществляется через отверстие плотины при естественных уровнях воды в реке.

Плотины с суточным регулированием расхода поддерживают уровни воды до естественных с гарантированной глубиной судового хода на мелководных участках рек в течение небольшого промежутка времени. Такие плотины не создают сплошной преграды воде, но позволяют на определенный период повысить уровни воды в реке, создавая тем самым условия для безопасного прохождения судами перекатов и мелей. После прохода судном опасного места, судоходное отверстие открывается и в реке восстанавливается естественный уровень воды. Строительство судоходного шлюза в этом случае не предусматривается.

Основными элементами судоходных плотин являются: искусственное основание (флютбет), береговые устои, стойки или быки и подвижные конструкции затворов различных типов.

По типу устройств и затворов, используемых для перекрытия судоходных отверстий, судоходные плотины можно разделить на следующие основные группы:

- плотины с пролетным строением в виде поворотных ферм;
- плотины с пролетным строением из поворотных щитов;
- клапанные одностворчатые и двухстворчатые (крышевидные) плотины;
- плотины с пролетным строением в виде плоских скользящих затворов;
- плотины с наполняемыми затворами из мягких оболочек;
- мостовые плотины.

Плотина с поворотными фермами (типа Поаре) является наиболее распространенным типом судоходной разборчатой плотины, простой в конструктивном отношении и способной перекрывать значительную ширину реки.

Плотины этого типа (рис. 2.33) состоят из флютбета, в нише которого шарнирно закреплен ряд металлических ферм; мостика, укладываемого на фермы в поднятом положении; затворов в виде щитов, спиц или штор, перекрывающих пролеты между фермами; и устоев по концам флютбета (тонкого и толстого). Фермы соединяются между собой при помощи замка тросом или цепью и поэтому могут лебедкой свободно подниматься в вертикальное положение или укладываться в нишу флютбета.

В качестве затворов, перекрывающих пролеты между фермами, используют щиты, спицы или шторы. Наиболее простыми являются щитовые затворы, поскольку они обеспечивают достаточную плотность закрытия и универсальны по величине напора. Щиты изготавливают из металла или дерева и при перекрытии пролетов, скользя в пазах по передним стойкам ферм, они могут легко подниматься или опускаться. Для обеспечения частичного регулирования расхода воды в пролетах, верхние щиты изготавливаются меньшей высоты, чем все остальные.

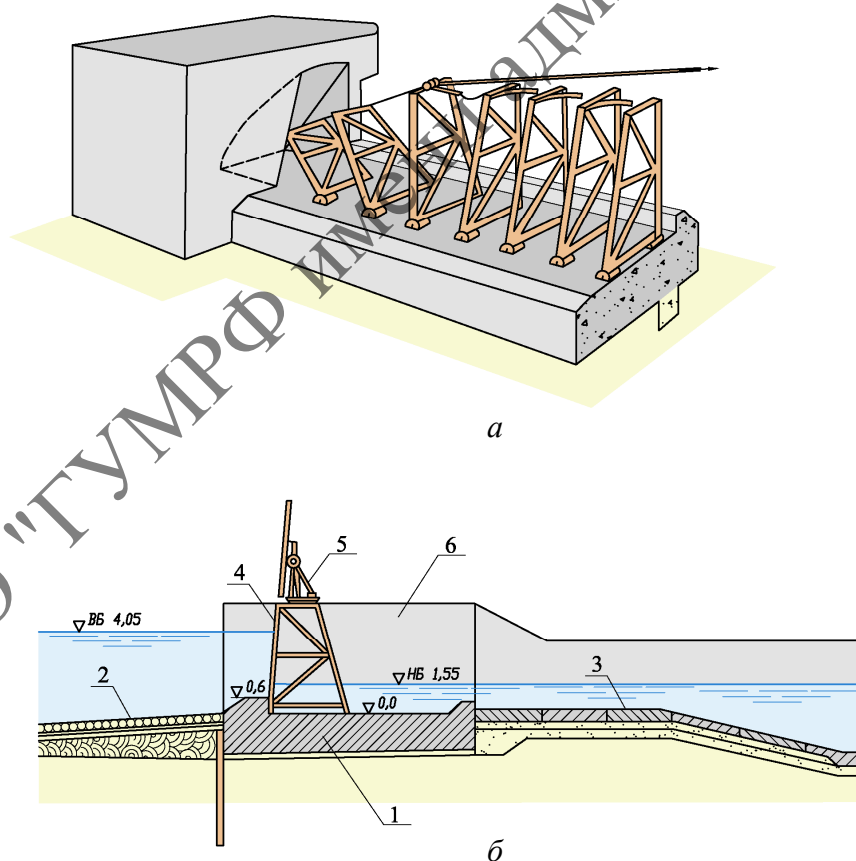


Рис. 2.33. Разборчатая плотина с затворами из поворотных ферм:

a — общий вид; *б* — разрез.

1 — флютбет плотины; 2 — глиняный понур; 3 — рисберма; 4 — поворотная ферма; 5 — щитоподъемный кран; 6 — устой

Продолжительность установки и разборки плотин с поворотными фермами зависит в основном от операций укладки большого числа секционных мостиков и щитов. С целью исключения этих операций инженер Томас предложил вместо ферм Поаре использовать плоские рамы.

Судоходные плотины с поворотными рамами (иногда называемыми «фермами Томаса») состоят из ряда плоских треугольных рам шириной от 0,6 до 1,0 м, также закрепленных на флютбете с помощью шарниров. В поднятом состоянии, прилегая вплотную друг к другу, рамы могут перекрывать большой судоходный пролет без дополнительных вододерживающих щитов и секционных мостиков. Технология подъема и укладки рам на флютбет аналогична затворам с поворотными фермами.

Плотины с поворотными рамами позволяют существенно сократить процесс их сборки и разборки, однако они не получили широкого распространения из-за неудобств в эксплуатации и более высокой стоимости. Эти плотины нуждаются в устройстве глубоких ниш и не обеспечивают необходимой плотности закрытия, особенно в условиях использования канатного привода. Иногда рамы приходится дожимать вплотную друг к другу ручным способом. Кроме того, этим плотинам присущи те же недостатки, что и плотинам с поворотными фермами.

Плотины с поворотными щитами, опирающимися на флютбет, имеют самые разнообразные конструкции, наиболее простыми из которых являются деревянные щиты с подкосами, известные еще с XVIII столетия. Они использовались в основном для закрытия отверстий водоподъемных и реже судоходных плотин. Щиты, поставленные в ряд, могли перекрывать пролеты значительной ширины, но малой высоты (около 2,0 м.). Плотины простейшего типа были весьма примитивными, требовали много ручного труда для их сборки и разборки и поэтому в течение долгого периода они постоянно совершенствовались.

Более совершенная конструкция щитовых затворов, используемая для перекрытия отверстий судоходных плотин, была предложена инженером Шаноаном в 1850 г. Плотина системы Шаноана состоит из щитов, свободно опирающихся на флютбет и шарнирно связанных с рамами, вращающимися около оси на флютбете, подкоса, шарнирно соединенного с рамой,

и упорной коробки на флютбете, которая служит упором для нижнего конца подкоса (рис. 2.34).

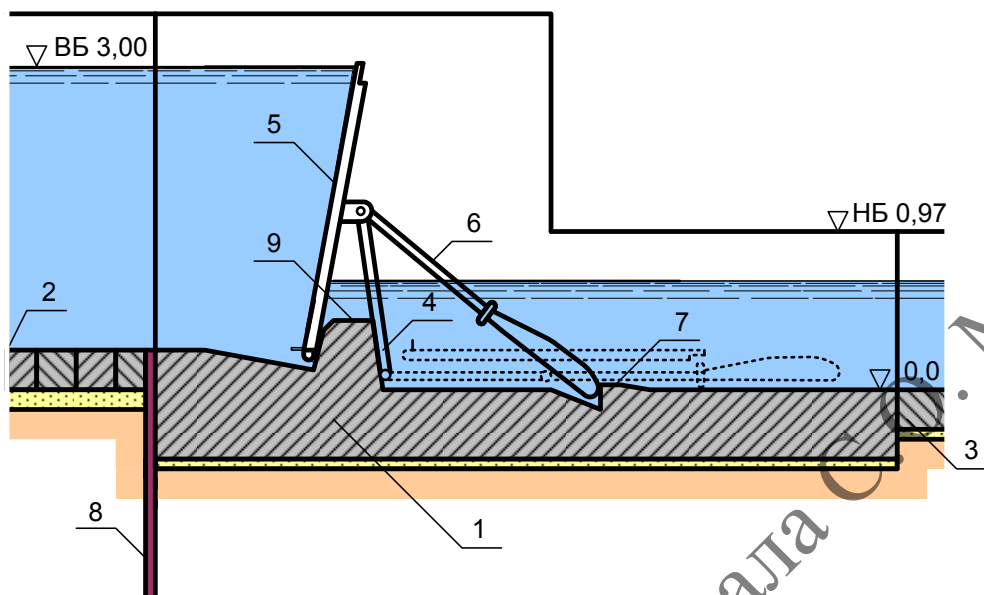


Рис. 2.34. Судоходная плотина с поворотными щитами:
1 — флютбет; 2 — понур; 3 — рисберма; 4 — рама; 5 — щит;
6 — подкос; 7 — упор; 8 — щипцы; 9 — порог

В безнапорном состоянии конструкция затвора в сложенном виде защищена от потока, судов и плавающих предметов высоким порогом. При установке конструкции нижний конец щита тянут при помощи плавучего крана в сторону верхнего бьефа до тех пор, пока нижний конец подкоса не дойдет до упора коробки, и аналогичным образом действуют при выведении подкоса из упора во время укладки щитов.

Плотины с поворотными щитами, свободно опирающимися на флютбет, способны перекрывать большие судоходные пролеты высотой до 6 – 7 м, являются простыми в конструктивном отношении.

Плотины с поворотными щитами, как и плотины с поворотными фермами, поддерживают подпор воды в течение меженного периода и нуждаются в устройстве судоходного шлюза.

Плотины, пролетные строения которых перекрываются клапанными затворами, были известны еще в XIX столетии и широко применялись для закрытия отверстий водосливных плотин. Клапанные затворы, поставленные в ряд, способны образовать судоходную плотину с большой шириной пролета (более 100 м).

Клапанный затвор (рис. 2.35) представляет собой плоский щит, вращающийся относительно горизонтальной оси на флютбете. В отличие от поворотных щитов, которые свободно опираются на флюбет, у клапанных затворов щиты шарнирно закреплены к бетонному порогу.

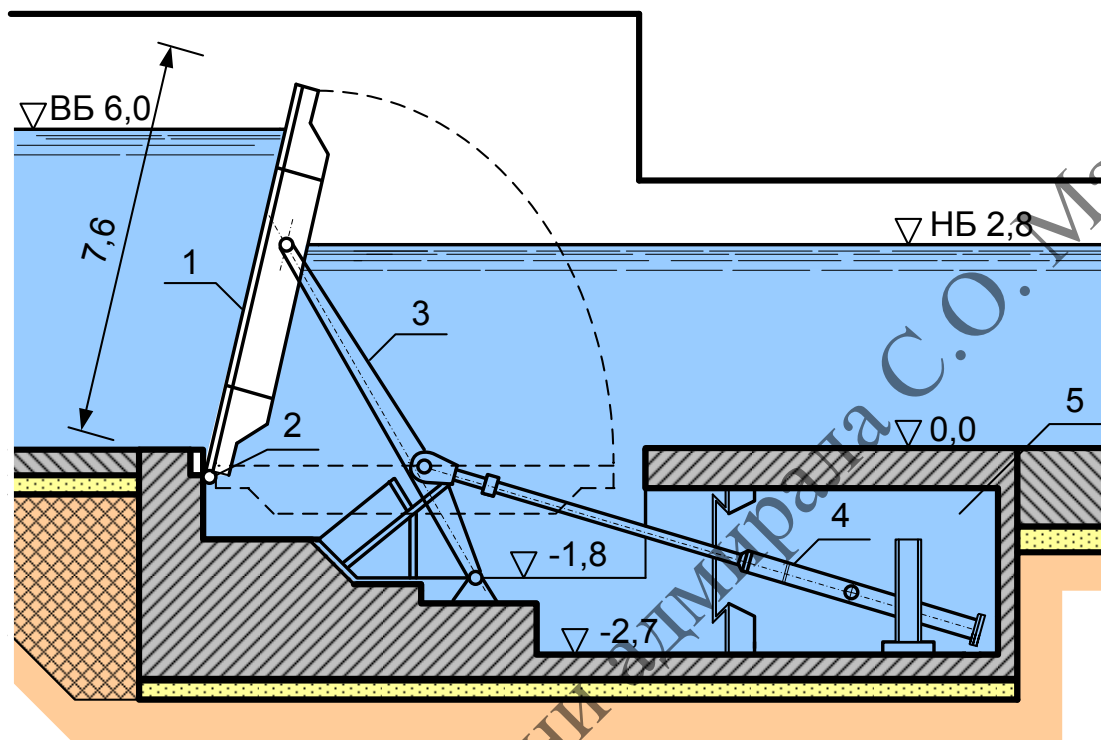


Рис. 2.35. Клапанная судоходная плотина:

1 — клапан; 2 — шарнир клапана; 3 — подкос; 4 — гидропривод;
5 — помещение гидропривода

Клапанные затворы плотин могут быть неуравновешенного и уравновешенного типа. Неуравновешенные затворы передают на привод значительные по величине нагрузки, и это приводит к увеличению грузоподъемности механизмов. У затворов уравновешенного типа их вес уравновешивается при помощи противовеса, поэтому они требуют небольшого тягового усилия.

Судоходные плотины с клапанными затворами могут перекрывать пролеты значительной ширины при высоте до 6 – 7 м, имеют небольшую грузоподъемность обслуживающего механизма, требуют мало времени для подъема и опускания клапанов (от 5 до 15 мин), позволяют сравнительно быстро осуществлять как полное, так и частичное регулирование расходов воды.

Плотины с крышевидным типом затворов (иногда их называют «дахве-рами»: немецкое *Dachwehr* означает крыша) были предложены американскими учеными Уайтом и Хазаром в 1818 г. и широко использовались в США. В конце XIX столетия крышевидный тип затворов начал применяться при устройстве водоподъемных и водосбросных плотин и на реках Европы, постоянно усовершенствовался на протяжении долгого периода времени.

Затвор представляет собой два клапана (щита), которые, вращаясь вокруг горизонтальных осей на флютбете, могут опираться друг на друга при закрытии отверстия или складываться в нишу при открытии отверстия (рис. 2.36). Вместе с береговыми поверхностями устоев они образуют полость (камеру давления), соединенную водопроводными галереями с верхним и нижним бьефами. При закрытии отверстия камера давления заполняется водой до необходимого уровня при помощи системы труб с задвижками, а при открытии наоборот — воду удаляют в нижний бьеф. В опущенном состоянии клапаны находятся в нише флютбета, не уменьшая судоходной глубины отверстий.

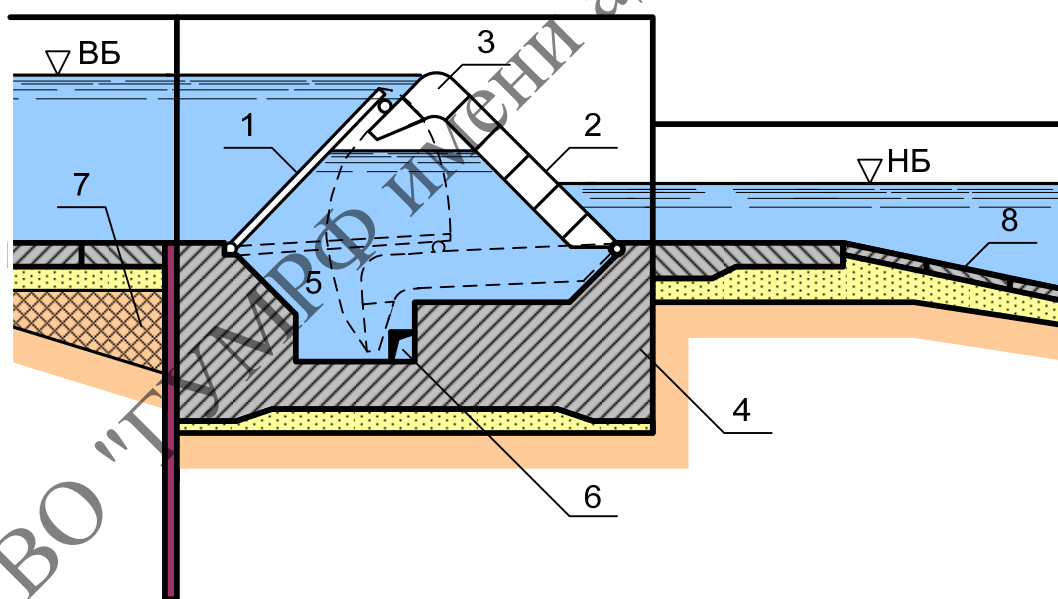


Рис. 2.36. Плотина с крышевидным затвором:

1 — верховой клапан; 2 — низовой клапан; 3 — поплавок; 4 — флютбет;
5 — ниша; 6 — водопроводная галерея; 7 — понур из глины; 8 — рисберма

Подъем и опускание створок затвора может осуществляться даже при незначительных перепадах уровней воды в бьефах. Давление воды в камере устанавливается автоматически.

Крышевидные затворы поддерживают подпор воды глубиной 7 – 8 м при полетах отверстий до 100 м, имеют относительно неглубокую донную нишу и простую конструкцию, требуют мало времени для подъема и опускания клапанов (около 5 мин). Кроме того, они позволяют быстро осуществлять как полное, так и частичное регулирование расхода воды. Крышевидные плотины можно эффективно использовать для пропуска льда, что очень важно при раннем открытии на реках навигационного периода.

Плотины, судоходные отверстия которых могут перекрываться затворами различных типов, расположенными на мосту через реку, принято называть *мостовыми*. Они предназначены для создания временного подпора воды с целью обеспечения безопасных условий пропуска судов под мостом.

Простейшие конструкции мостовых плотин изготавливались преимущественно из дерева и их отверстия перекрывались затворами на ширину до 12 м при высоте подпора до 5 м. Для закрытия пролетов большой ширины и на большую высоту затворы мостовых плотин изготавливали из металла или смешанной конструкции.

Наиболее простой в конструктивном отношении считается мостовая плотина, составленная из ряда клапанных затворов. Она состоит из клапанов (рис. 2.37), шарнирно закрепленных к нижнему поясу моста, и канатного механизма на мосту, предназначенного для их подъема или опускания.

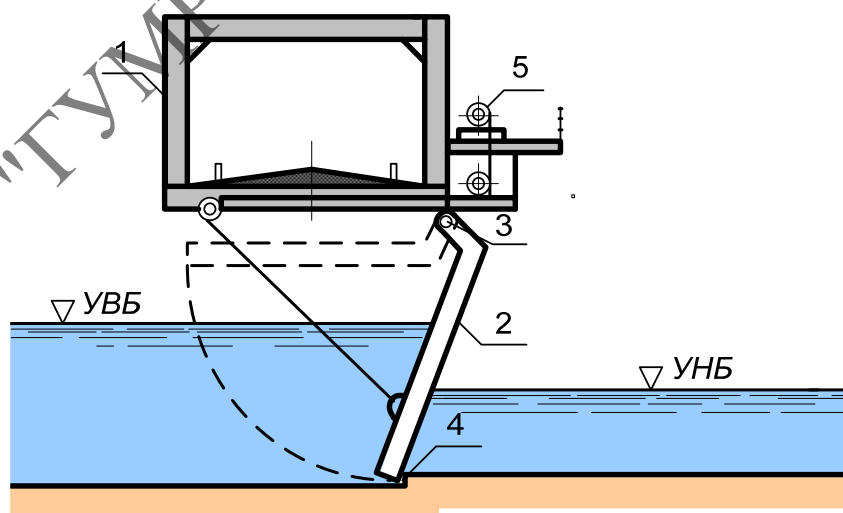


Рис. 2.37. Схема конструкции мостовой плотины с клапанным стоечным затвором:
1 — автодорожный мост; 2 — клапанный затвор; 3 — шарнир;
4 — упор; 5 — тяговая лебедка

Мостовая плотина с клапанными затворами, осуществленная, например, на гидроузле Молдова вблизи Моровица, имеет массу затвора около 210 т, время подъема и опускания которого составляет 20 мин. Подобного типа плотины (8 плотин) построены на Нью-Йорк-Стейт-Бардж-Канале с шириной отверстий 64,0 м и высотой создаваемого подпора воды 6,0 м.

Мостовая плотина с плоскими затворами (рис. 2.38) состоит из ряда стоек (рам), свободно опирающихся на флютбет и мост между устоями, которые служат опорами и рабочими путями для щитов. Щиты могут скользить по стойкам или перемещаться на катках. Подъем и опускание плоских затворов и стоек производится при помощи лебедок, расположенных непосредственно на мосту. При пропуске судов стойки вместе со щитами поднимают выше уровня воды, разворачивают в горизонтальное положение по направлению нижнего бьефа и подвешивают под мостом.

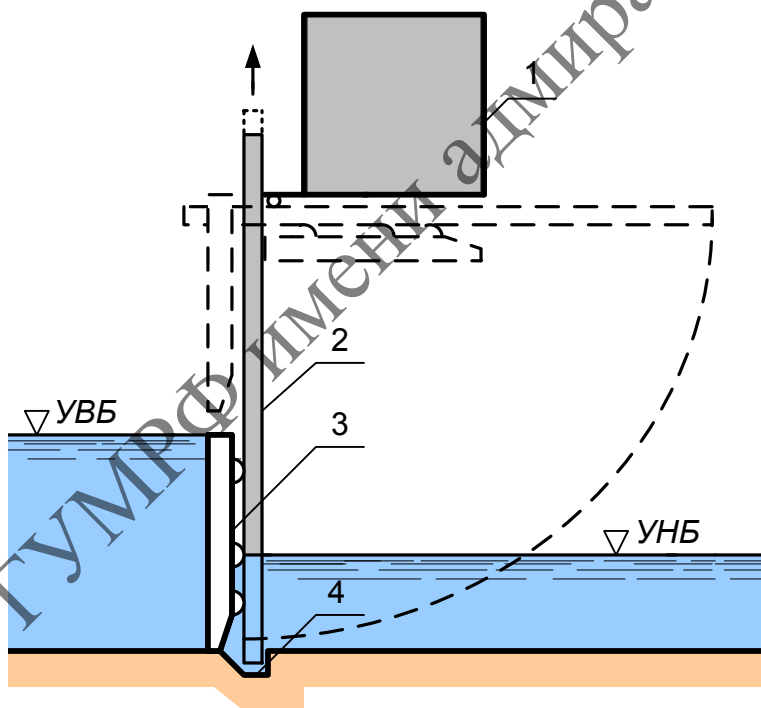


Рис. 2.38. Схема мостовой плотины с плоскими стоечными затворами:
1 — мост; 2 — стойки; 3 — плоский затвор; 4 — упор

Использование мостовых затворов целесообразно при решении задачи одновременного устройства моста через реку для транспортных целей и судоходной плотины для обеспечения безопасности пропуска судов. Мостовые затворы могут перекрывать судоходные отверстия шириной 60 – 70 м

на высоту 5 – 6 м и позволяют сравнительно быстро осуществлять полное и частичное регулирование расхода. Увеличение же ширины пролетов и высоты приводит к усложнению конструкций моста и затворов плотин. Кроме того, мостовые плотины имеют большое число элементов конструкций с механизмами подъема, что усложняет эксплуатацию, осмотр и ремонт, а, следовательно, снижает и надежность их работы.

Достижения химической промышленности позволили в середине XX столетия приступить к использованию в гидротехническом строительстве конструкций и элементов, изготовленных из синтетических материалов.

К числу таких конструкций можно отнести наполняемые затворы, используемые при перекрытии отверстий водоподъемных и водосбросных плотин. Наполняемые затворы (рис. 2.39) представляют собой замкнутые гибкие оболочки из прочных, чаще всего армированных, синтетических тканей, закрепленных к бетонному порогу. Оболочки наполняемых затворов в судоходных плотинах закрыты с торцов и могут состоять из одной или нескольких секций. Для создания подпора внутри оболочки под давлением, регулируемым насосной установкой, подается вода или воздух (иногда вода и воздух одновременно). При пропуске паводковых расходов оболочка укладывается на дно, и судоходство осуществляется так же, как и по реке в естественном состоянии. Меженные расходы пропускаются путем перелива воды через верх плотины одновременно со шлюзованием судов. Для регулирования расхода воды в пролете можно использовать частично наполненную оболочку.

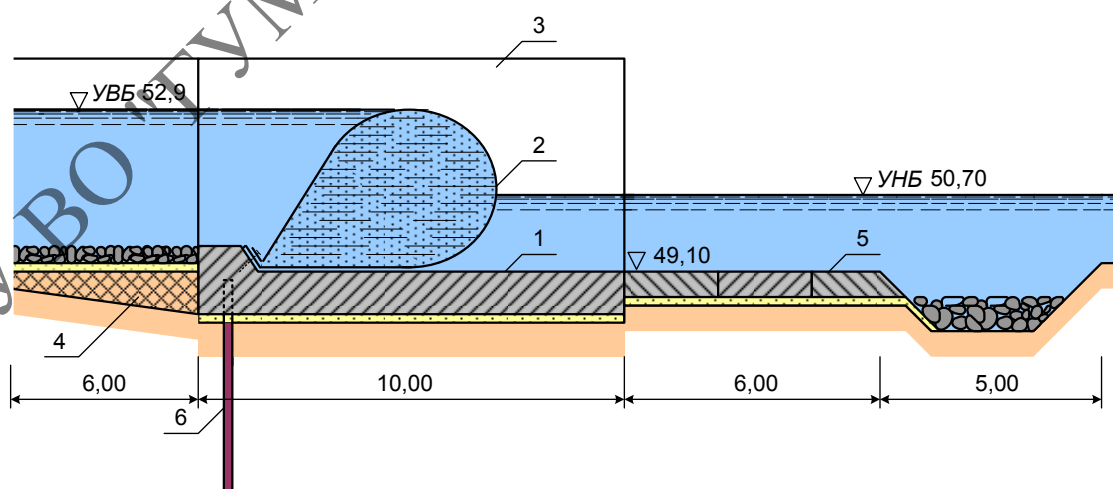


Рис. 2.39. Судоходная плотина с наполняемым затвором из гибкого материала:

1 — флютбет; 2 — затвор из гибкого материала; 3 — устой;

4 — глиняный понур; 5 — рисберма; 6 — шпунт

Конструкция затвора из гибкого материала, наполняемого водой, предложенного инженером Имбертсоном, впервые была осуществлена при строительстве в 1959 г. плотины на р. Лос-Анджелес. Эта плотина имела форму трубы диаметром 2,5 м и перекрывала пролет шириной 46 м, наполнялась водой за 10 мин и опорожнялась за 25 мин.

Первый надувной затвор, используемый для перекрытия отверстия водосбросной плотины в Румынии шириной 46 м на высоту 1,1 м, также был выполнен в форме цилиндра. По длине он был разделен на отдельные секции длиной 8 м каждая с индивидуальной подачей воздуха от компрессорной установки. Оболочка цилиндра была изготовлена из хлоропрена-каучука на текстильной основе и отличалась гибкостью и высокой стойкостью к действию агрессивной среды.

Наполняемые затворы существующих за рубежом судоходных плотин перекрывают пролеты шириной 50 – 60 м и поддерживают подпор воды до 5 – 6 м.

К настоящему времени и в России накоплен богатый опыт проектирования, строительства и эксплуатации плотин из гибких синтетических материалов. Они возводились на малых реках и использовались в основном для лесосплава и орошения сельскохозяйственных земель. Первые две плотины с наполняемыми тканевыми затворами были построены в Тюменской области на р. Китерне в 1966 и 1967 гг. В дальнейшем подобные плотины возводились в различных климатических зонах РФ: в Татарстане, Мордовии, Башкирии, Дагестане, Якутии, в Алтайском и Красноярском краях, в Горьковской и Оренбургской областях и т. д. Опыт эксплуатации этих плотин указывает на достаточно высокую их надежность в работе.

В рассмотренных выше типах плотин судоходные отверстия перекрываются затворами, составленными по ширине пролета из ряда секций, которые требуют обеспечения удовлетворительного уплотнения между ними и согласованной работы механизмов подъема и опускания. Они способны перекрывать судопропускные отверстия значительной ширины, но по условиям эксплуатации, осмотра и ремонта уступают односекционным затворам.

В качестве односекционных затворов для перекрытия отверстий судоходных плотин используют сегментные опускные или подъемные, валь-

цовые и плоские затворы. Эти затворы передают воспринимаемые ими усилия, кроме части веса, на устои или быки.

Наиболее широкое использование при устройстве судоходных плотин нашли плоские затворы, известные простотой конструкции и лучшими эксплуатационными показателями по сравнению с другими типами затворов.

Судоходные плотины с плоскими затворами в отечественной практике рассматривались при проектировании низконапорных гидроузлов на р. Дон и впервые осуществлены при реконструкции гидроузлов «Андреевка» и «Трудкоммуна» на Москворецкой шлюзованной водной системе. Плотины с рабочими затворами в виде деревянных щитов, опирающихся на металлические фермы Поаре, как устаревшие, заменены судоходными плотинами с подъемными колесными затворами.

Плотина данного типа (рис. 2.40) состоит из железобетонного флютбета, береговых устоев, среднего разделительного быка и струенаправляющих стен. Два водопропускных пролета оборудованы плоскими затворами, поднимаемыми и опускаемыми в вертикальных пазах при помощи грузовых лебедок, установленных на устоях. Первый пролет шириной 25 м предназначен для регулирования расходов воды в реке, а второй — для пропуска судов, имеет ширину 50 м при высоте перекрытия 3,5 м. Затвор судоходного пролета поднимается над расчетным уровнем воды на высоту 10 м, равную подмостовому габариту для данного класса реки. Управление затворами автоматизировано и осуществляется с пульта управления, расположенного на шлюзе. Данный тип плотины успешно эксплуатируется в условиях отрицательных температур наружного воздуха.

Наибольшую ширину отверстий, перекрываемых плоскими затворами, имеет плотина гидроузла Астраханского вододелителя (два отверстия шириной по 110 м при высоте 9,4 м). Она предназначена для регулирования паводковых расходов р. Волги для нужд рыбного хозяйства и гидроэнергетики и не относится к типу судоходных плотин, поскольку по назначению не связана с улучшением судоходных условий.

При пропуске паводковых расходов судоходство осуществляется через шлюз, а в меженный период — через судоходные пролеты при достаточных глубинах воды в реке: около 4,9 – 5,0 м.

Плоские скользящие затворы имеют массу по 1161 т каждый. Для усиления жесткости конструкции они изготовлены с арочной затяжкой со стороны нижнего бьефа, поднимаются и опускаются при помощи канатных механизмов с лебедками на устоях.

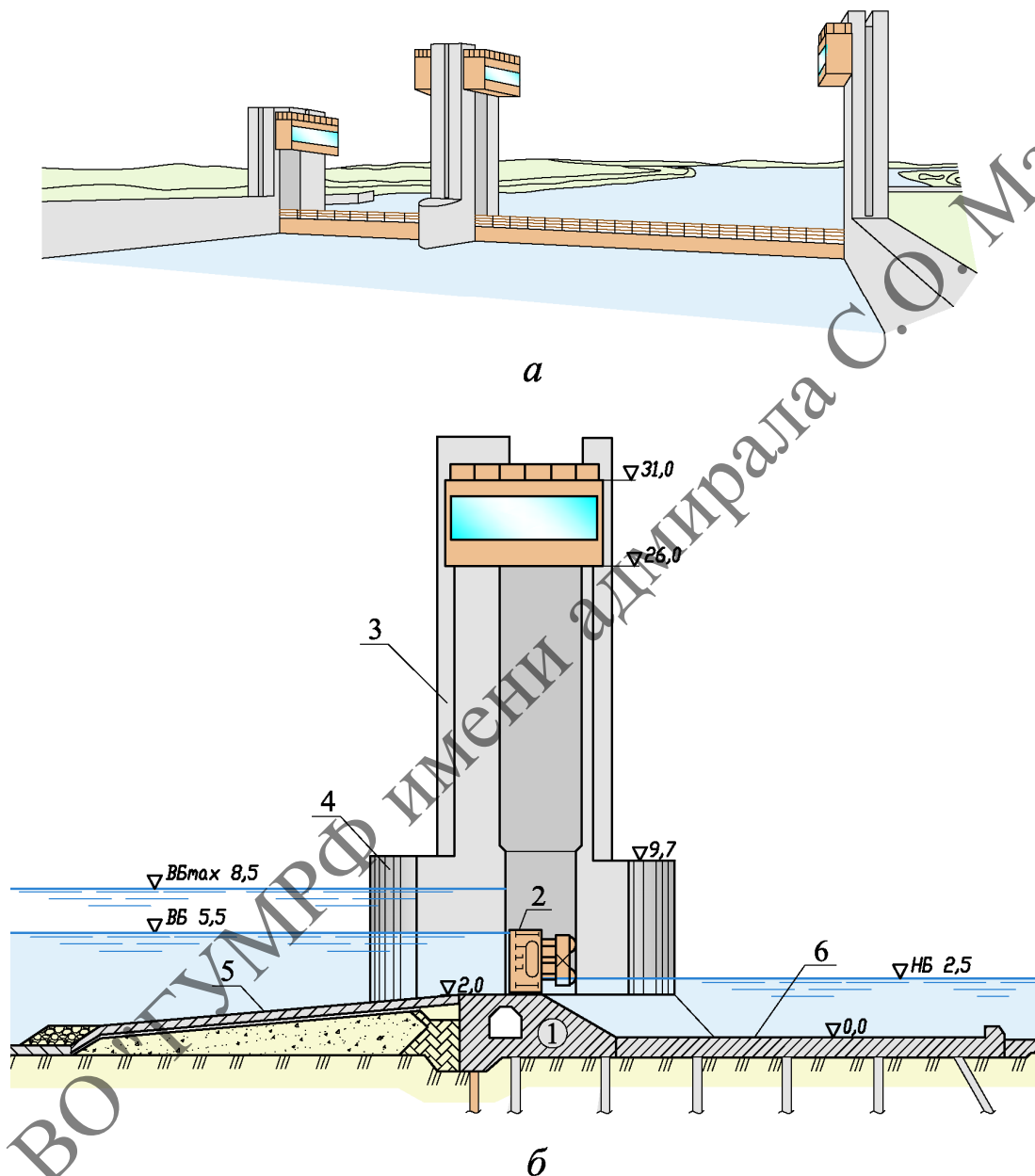


Рис. 2.40. Судоходная плотина с плоскими подъемными затворами:

- 1 — флотбет; 2 — плоский подъемный затвор;
3 — здание механизмов затворов; 4 — средний разделительный бычок;
5 — монолитные ж/б плиты (крепление дна); 6 — водобой

Плоские затворы судоходных плотин позволяют достаточно быстро осуществлять частичное и полное регулирование расходов воды в реке,

допускают навал льда и плавающих тел, однако надежность их работы снижается из-за возможных перекосов в пазах. Плотины с плоскими затворами нуждаются в обеспечении заданного надводного судоходного габарита, имеют массивную конструкцию и более высокую стоимость. Ограничение на размеры затворов накладывает предельно допустимая нагрузка на опорно-ходовые части и подъемный механизм.

Библиографический список к разделу 2

1. Гладков Г. Л. Водные пути и гидротехнические сооружения: учебник для вузов / Г. Л. Гладков [и др.]. — СПб.: СПГУВК, 2011. — 441 с.
2. Гладков Г. Л. Оценка воздействия на окружающую среду инженерных мероприятий на судоходных реках: учеб. пособие для вузов / Г. Л. Гладков, М. В. Журавлев, Ю. П. Соколов. — СПб.: Изд-во А. Кардакова, 2005. — 241 с.
3. Земляновский Д. К. Лоция внутренних водных путей / Д. К. Земляновский; под общ. ред. В. Д. Усова. — М.: Транслит, 2011. — 320 с.
4. Плотины бетонные и железобетонные: строительные нормы и правила: СНиП 2.06.06-85 / Государственный комитет СССР по делам строительства. — М., 1986. — 37 с.
5. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования: строительные нормы и правила: СНиП 2.06.01-86 / Государственный комитет СССР по делам строительства. — М., 1987. — 37 с.
6. Козлов Г. А. Курс внутренних водных путей. В 2 ч. Ч. 2. Типы плотин. Затворы / Г. А. Козлов. — М.; Л.: Государственное транспортное издательство, 1934. — 276 с.
7. Калинович Б. Ю. Шлюзование водных путей / Б. Ю. Калинович. — Л.; М.: Речиздат, 1948. — 516 с.
8. Гидротехнические сооружения / под ред. Н. П. Розанова. — М.: Стройиздат, 1978. — 647 с.
9. Селезнев С. В. Поверхностные затворы больших пролетов судопропускных сооружений шлюзов и доков. / С. В. Селезнев, Г. П. Лохматиков. — СПб.: Энергоатомиздат, 1995. — 696 с.

10. Сергеев Б. И. Мягкие конструкции гидротехнических сооружений: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / Б. И. Сергеев. — Новочеркасск, 1974. — 55 с.

11. Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях: межгосударственный стандарт: ГОСТ 26775-97. — Госстрой России ГУП ЦПП, 1998. — 26 с.

12. Реки и озера мира: энциклопедия / под ред. В. И. Данилов-Данильян. — М.: ООО «Издательство «Энциклопедия», 2012. — 928 с.

ФГБОУ ВО "ТУМРФ имени адмирала С.О. Макарова"

Раздел 3. Судоводные каналы

3.1. Назначение и классификация судоводных каналов

Канал (от лат. *canalis* — труба, жёлоб) — в гидротехнике, искусственное русло (водовод) правильной формы с безнапорным движением воды, устроенное в грунте.

Судоводный канал — искусственный водный путь, предназначенный для подхода судов к порту, шлюзу или для соединения водных бассейнов.

Фарватер (гол. *vaarwater* от *varen* — плавать и *water* — вода) — безопасный в навигационном отношении естественный водный путь для плавания судов.

Судовой ход — полоса водной поверхности на ВВП, в пределах которой возможно беспрепятственное плавание судов определенных размеров. Судовой ход обставляется знаками навигационной обстановки, указывающими его направление и границы, а на реках также и наименьшие глубины на перекатах.

Судоводный канал сооружается в виде прорези, габариты которой зависят от размерений расчетного судна (состава) и установленного порядка движения. Прорезь судоводного канала может прокладываться в морском дне, в русле реки, через подводные и надводные преграды, а также в материке. В судоводном канале должно обеспечиваться безопасное плавание судов с осадкой, порожним и в полном грузу.

Основными техническими характеристиками судоводного канала являются: трасса (расположение оси канала на плане), продольный и поперечный профили, радиусы закругления криволинейных участков и углы сопряжения прямолинейных участков на поворотах.

Судоводные каналы классифицируются следующим образом.

По назначению:

- подходные;
- соединительные;
- обходные.

По техническому исполнению:

- открытые;
- соединяющие бассейны с одинаковыми уровнями воды;
- закрытые (или шлюзованные).

По условиям прокладки:

- неполного поперечного сечения;
- полного поперечного сечения.

По условиям эксплуатации:

- с односторонним режимом движения судов по каналу;
- с двухсторонним режимом движения судов по каналу).

По расположению:

- по дну морских акваторий;
- в русле реки;
- по дну озер и водохранилищ;
- по суше в материке.

По способу питания водой:

- каналы с естественным питанием;
- каналы с искусственным питанием.

По классу проходящих судов

- морские каналы;
- речные каналы.

По интенсивности судоходства:

- морские каналы подразделяются на три класса;
- речные каналы подразделяются на семь классов в зависимости от категории магистрали и глубины воды в канале.

По длительности навигации:

- незамерзающие;
- замерзающие.

Данная классификация может относиться как ко всему каналу, так и к отдельным его участкам.

Вводимую данной классификацией терминологию проиллюстрируем на примере описания реконструированного в 1968 г. Сайменского канала.

Сайменский канал (рис. 3.1) связывает озеро Саймаа (Финляндия) с Выборгским заливом Балтийского моря и состоит из двух частей: российской, длиной 19,6 км от шлюза «Брусничное» до российско-финляндской государственной границы, и финляндской, длиной 23,3 км от границы до озера Саймаа. Канал шлюзованный, перепад уровней воды между оз. Саймаа и Балтийским морем 75,7 м.

Всего на канале восемь однотипных шлюзов с размерами камеры 85,0×13,2×5,2 м. Пять шлюзов расположены на российской части канала («Брусничное», «Искровка», «Цветочное», «Илистое», «Пялли») и три — на финляндской части канала («Соскуа», «Мустола», «Мялькия»).

К плаванию по каналу допускаются суда с размерениями $l_c \leq 82$ м, $b_c \leq 11,8$ м, с осадкой 4,2 м и 4,5 м для буксируемых составов, высотой мачты над уровнем воды 24,5 м.

По длине канала в различных естественных условиях прорезь имеет полный профиль (рис. 3.2) с крутыми откосами от 1:1,5 до 1:2,5, а в скальных грунтах с вертикальными стенами. Ширина канала по дну на различных участках изменяется от 28 до 45 м, навигационная глубина постоянна на всей длине канала — 5,2 м.

В нормальных условиях соединительный канал обеспечивает двухстороннее движение судов со скоростью от 9,0 до 15 км/ч.

Длина подходного канала, проложенного в Выборгском заливе, — 131 км от Большого корабельного фарватера Финского залива до шлюза «Брусничное». Через соединительный канал переброшены: один неразводной железнодорожный мост, семь разводных автодорожных мостов, два неразводных автодорожных моста, два двухэтажных туннеля. Причалы располагаются в верхнем и нижнем бьефах каждого шлюза (рис. 3.3). Порты в районе Сайменского бассейна являются или муниципальными или собственностью промышленности. У шлюза «Мустола» расположен муниципальный порт, в поселке Нуйяма имеется грузовой причал. По длине канала сооружены пять подпитывающих сифонов и три плотины. Судооборот канала составляет 250 судов в год.

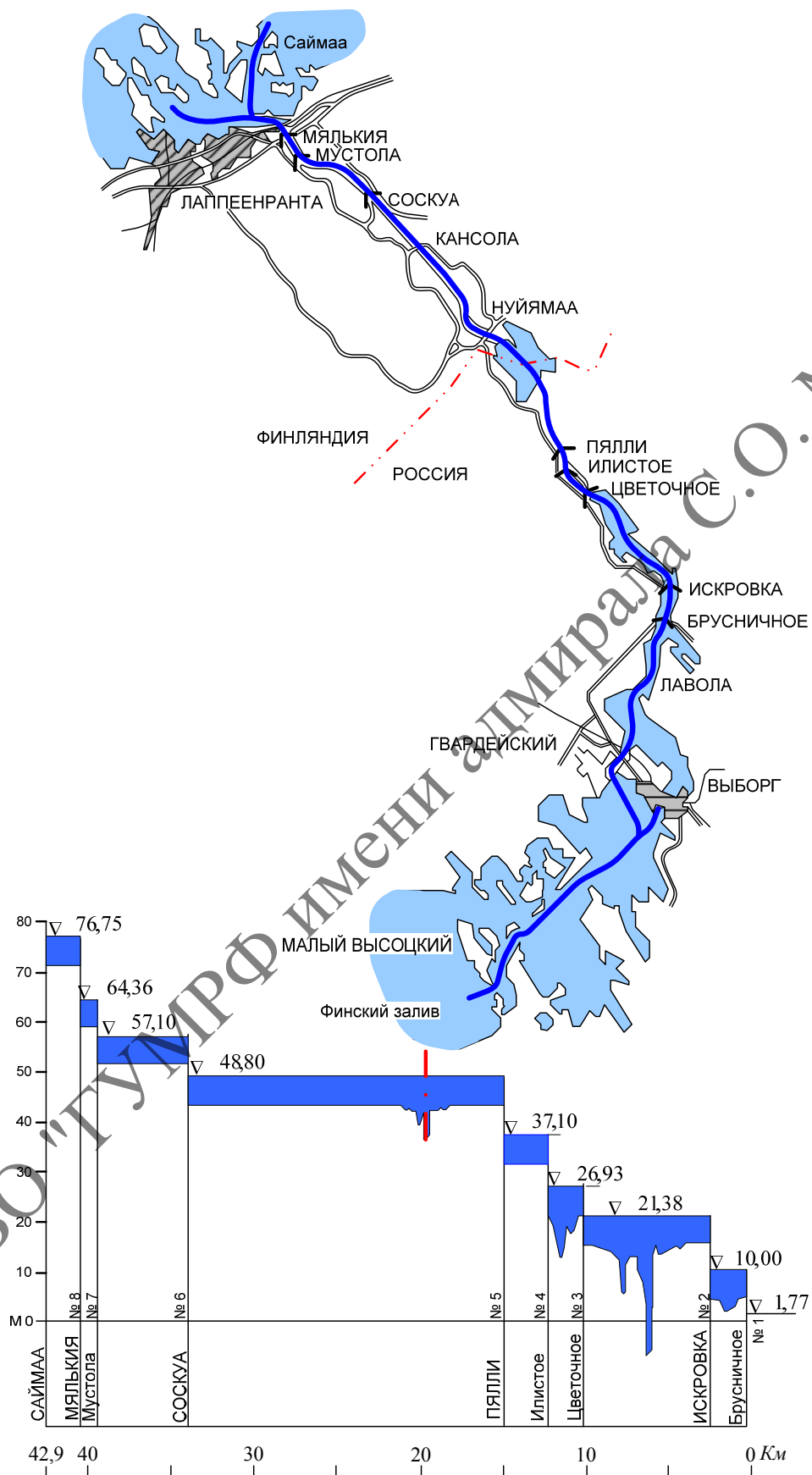


Рис. 3.1. Сайменский канал и подходные фарватеры

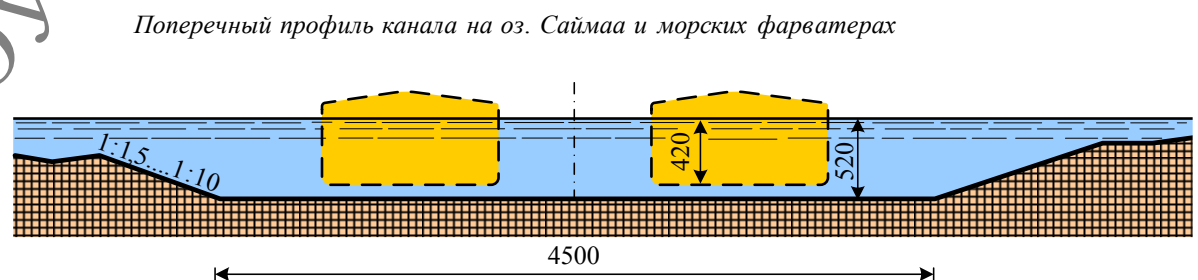
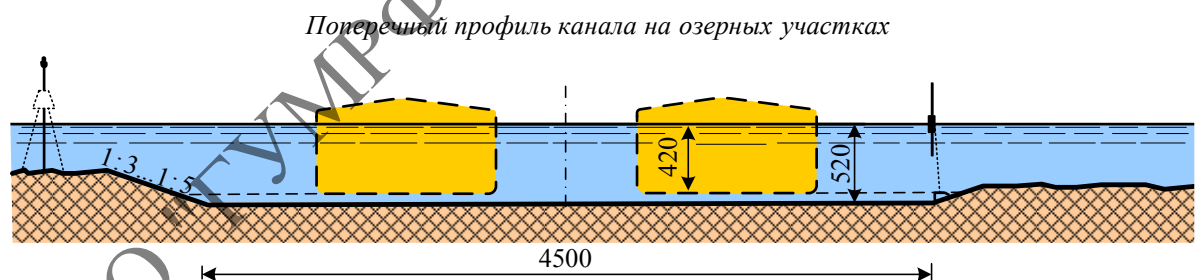
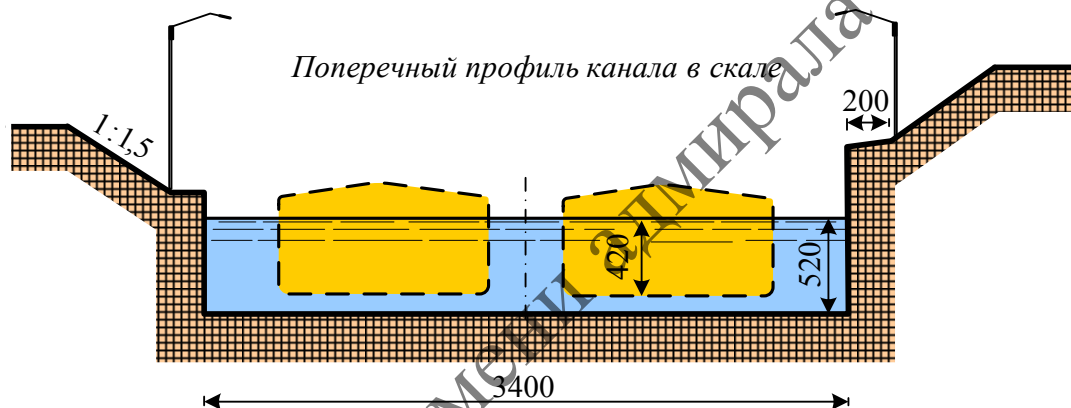
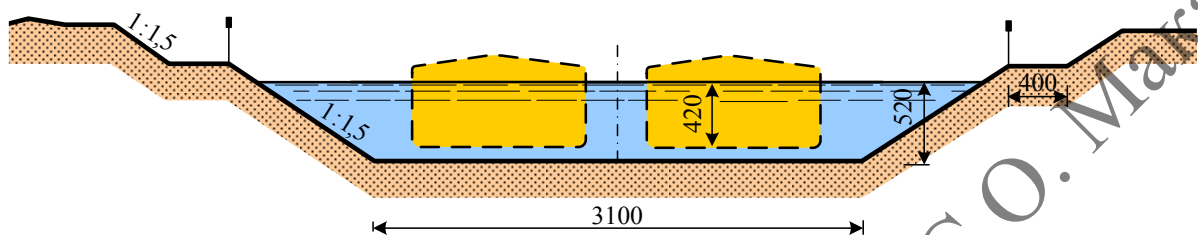
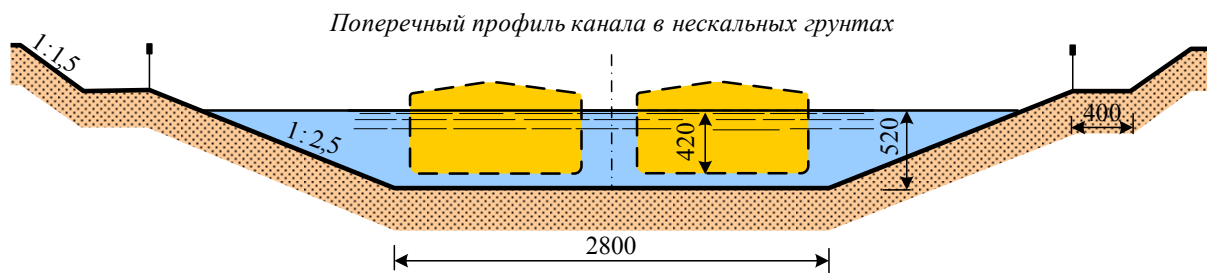
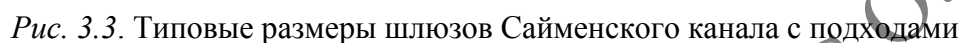
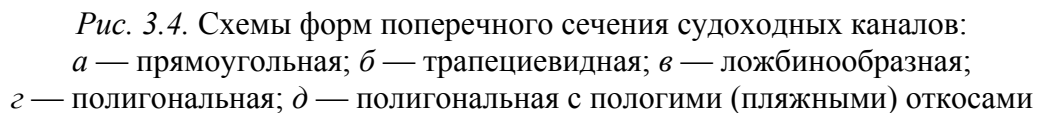


Рис. 3.2. Поперечные профили Сайменского канала



При устройстве судоходных каналов применяются следующие формы их поперечных сечений: прямоугольная, трапециевидная, ложбинообразная и полигональная (рис. 3.4).



90

от 5:1 до 10:1. При нескальных грунтах каналы с вертикальными стенами строятся редко, например, при устройстве набережных в пределах крупных населенных пунктов. Прямоугольная форма имеет наименьшую из всех форм поперечного сечения канала площадь живого сечения при обеспечении необходимых габаритов судового хода.

Трапецевидная форма применяется при нескальных грунтах, как наиболее простая. Однако по мере эксплуатации канала под действием струй воды от работы судовых винтов происходит размыв дна и отложение продуктов размыва, прежде всего, в нижних углах трапеции. Кроме того откосы разрушаются от действия на них судовых волн, льда, поверхностных и грунтовых вод. Таким образом, трапецевидная форма поперечного сечения неустойчива и во многих случаях бывает необходимо производить крепление откосов.

Ложбинообразная форма по очертанию близка к форме русла реки, и является устойчивой к размыву. Вместе с тем планировка такого сечения очень сложна. Полигональная форма близка к ложбинообразной. Она имеет горизонтальное дно в пределах ширины судового хода и несколько участков откоса, крутизна которых постепенно увеличивается. В верхней части откоса, в зоне действия судовых волн, устраивают крепление. Вследствие большой стоимости креплений откосов, при полигональной форме стали отказываться от креплений и устраивать пологие откосы.

Любая форма поперечного сечения канала должна обеспечивать габариты судового хода по ширине и глубине. Этому требованию лучше всего отвечает прямоугольная форма. При других формах площадь живого сечения канала увеличивается; особенно это относится к форме с пологими откосами без креплений.

Форма поперечного сечения оказывает влияние на величину сопротивления воды движению судна. В каналах с одной и той же площадью, но с разными формами поперечного сечения, наименьшее сопротивление наблюдается при прямоугольной форме. В каналах других форм откосы находятся ближе к судну, что увеличивает сопротивление. Например, при движении судна в трапецевидном канале сопротивление на 20 – 30 % больше, чем в прямоугольном канале с той же площадью живого сечения.

В большинстве случаев каналы проходят в скальных грунтах и выполняются трапецевидного или полигонального поперечного сечения с креплением откосов в зоне действия судовых волн. Наиболее экономичной является полигональная форма, так как такой канал имеет меньшую площадь живого сечения и менее подвержен размыву.

Размеры поперечного сечения канала основываются на габаритах судового хода, которые должны обеспечиваться при наименьшем расчетном судоходном уровне воды. Одновременно должно быть достаточное возвышение бермы канала над наивысшим расчетным судоходным уровнем воды.

3.3. Процесс волнообразования при движении судна

При перемещении судна частицы жидкости отклоняются от положения равновесия и под действием силы тяжести начинают совершать колебания, которые вызывают периодические изменения формы свободной поверхности в виде волн (рис. 3.5).

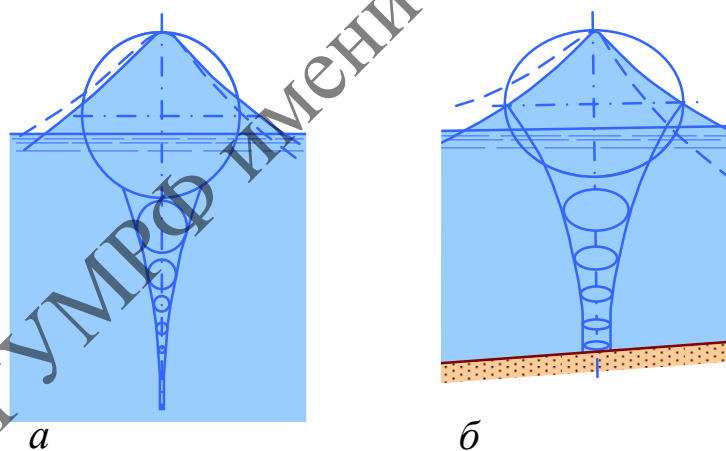


Рис. 3.5. Схемы орбитальных движений частиц жидкости в волне: а — при неограниченной глубине; б — при ограниченной глубине

Движение частиц в волнах происходит по замкнутым траекториям, например, при цилиндрических волнах, распространяющихся по поверхности глубокой воды, траектории имеют форму окружностей, причем радиусы этих окружностей убывают с увеличением погружения частиц под свободную поверхность (рис. 3.5, а).

Деформации поверхности жидкости в процессе волнообразования, вызванного движением тела, а, следовательно, и перемещения частиц, зависят от величины гидродинамического давления в потоке жидкости.

При движении глубоко погруженного в воду тела картина гидродинамического давления вдоль его поверхности характерна тем, что по сравнению с давлением в невозмущенном потоке жидкости давление в носу и корме повышается, а в средней части понижается (рис.3.6).

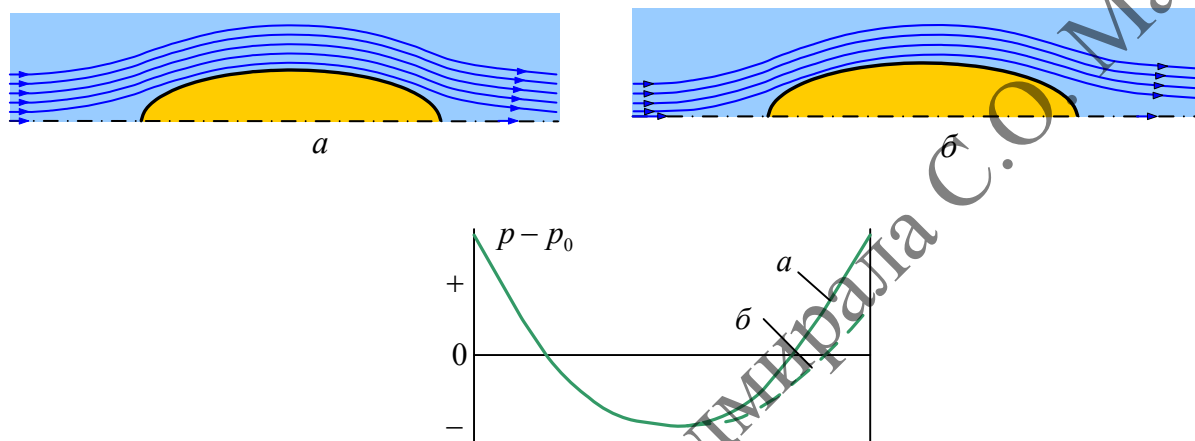


Рис. 3.6. Схема линий тока и распределения давления при обтекании хорошо обтекаемого тела в идеальной (а) и вязкой жидкости (б)

Вследствие инерции частиц, их отклонение от положения равновесия наблюдается не на форштевне, а несколько смещено вдоль судна. На самом форштевне, в месте резкого повышения давления, возникает поверхность разрыва в виде пелены из брызг, особенно отчетливо выраженной на больших скоростях (рис. 3.7).

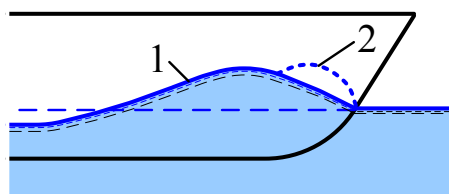


Рис. 3.7. Возникновение пелены в районе форштевня при движении судна:
1 — носовая волна; 2 — пелена

Источниками волнообразования служат все участки судовой поверхности, вдоль которой избыточное гидродинамическое давление при обтекании не равно нулю.

Таким образом участки цилиндрической вставки, если длина ее достаточна велика, не вызывают волн при движении судна. Поэтому при движении судна с длинной цилиндрической вставкой образующиеся волны можно легко разделить на две группы — носовую и кормовую. В каждой из них можно выделить две системы волн — расходящиеся волны и волны поперечные (рис. 3.8).

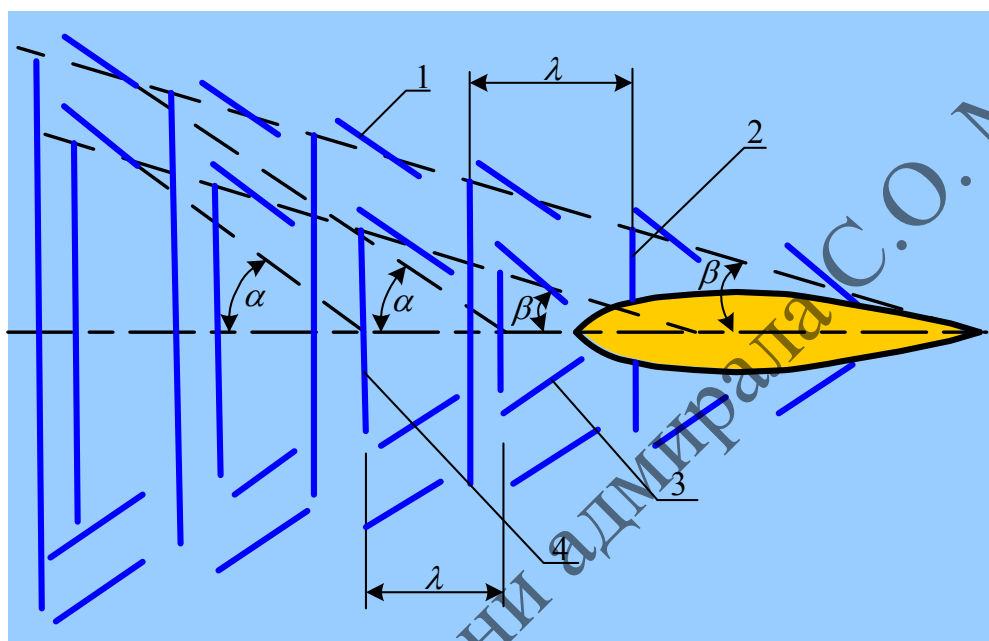


Рис. 3.8. Схема волн, возникающих при движении судна:

1 — носовые расходящиеся волны; 2 — носовые поперечные волны;
3 — кормовые расходящиеся волны; 4 — кормовые поперечные волны

Расходящиеся волны носовой и кормовой групп располагаются по обе стороны судна рядами, состоящими из отдельных волн с коротким фронтом.

Фронт каждой волны ряда расходящихся волн (см. рис. 3.8) составляет с диаметральной плоскостью судна постоянный угол α . Величина α при движении на глубокой воде практически не зависит от скорости движения судна $\alpha = 36 - 40^\circ$. Если середины отрезков расходящихся волн соединить, то получится прямая линия, составляющая с диаметральной плоскостью судна угол $\beta = \frac{\alpha}{2}$, т. е. $18 - 20^\circ$.

Поперечные волны составляют прямой угол с диаметральной плоскостью судна. Части поперечных волн располагаются внутри острого угла β .

Длина синусоидальных волн и скорость их распространения на поверхности глубокой жидкости связаны зависимостью

$$\lambda = \frac{2\pi V^2}{g}, \quad (3.1)$$

где λ — длина волн, м, V — скорость распространения волн, м/с.

Происходящее с ростом скорости увеличение длины волн не сказывается на структуре расходящихся волн вследствие того, что расходящиеся волны носовой и кормовой систем взаимно не накладываются (см. рис. 3.8). Иным образом изменение скорости влияет на систему поперечных волн. При различных скоростях движения в соответствии с (3.1), по длине судна возникает различное число поперечных волн.

Положение места возникновения носовой и кормовой систем волн около судна практически не зависит от скорости его движения: носовая система всегда начинается с вершины несколько позади форштевня, а кормовая — с подошвы немного впереди ахтерштевня. Вследствие этого на район возникновения кормовой системы поперечных волн при различных скоростях будет налагаться вершина или подошва носовой системы поперечных волн. Результат взаимодействия этих систем волн может быть приведен к двум основным случаям.

В первом случае, когда в район с образованием подошвы кормовой волны подходит вершина носовой волны, суммарный волновой рельеф в результате интерференции волн выравнивается, и высота результирующих поперечных волн за судном будет незначительной. Это случай благоприятного волнообразования около судна.

Во втором случае, когда в район образования подошвы кормовой волны подходит вершина новой волны, рельеф волн становится более крутым и амплитуда поперечных волн за судном достигает значительной величины. Это случай неблагоприятного волнообразования.

Так как результат интерференции волн зависит от скорости движения судна (3.1), то в зависимости от картины волнообразования вводится понятие о благоприятных и неблагоприятных скоростях движения.

Особенностью движения судов на мелкой воде является то, что скорость распространения волн равной длины на мелкой воде меньше, чем на глубокой. Отношение этих скоростей

$$\frac{V_h}{V_{h \rightarrow \infty}} = \sqrt{th \frac{2\pi h}{\lambda}}, \quad (3.2)$$

где V_h — скорость распространения волн на мелкой воде; $V_{h \rightarrow \infty}$ — скорость распространения волн на глубокой воде; λ — длина волны; h — глубина воды.

Из (3.2) видно, что при постоянной скорости движения судна длина волн, возникающих на мелкой воде, будет больше, чем на глубокой воде. С приближением скорости волны на мелкой воде к значению $V = \sqrt{gh}$ длина волны возрастает. Скорость $V = \sqrt{gh}$ в жидкости конечной глубины называется *критической скоростью* и обозначается V_{cr} .

На мелкой воде при приближении скорости волн к значению v_{cr} имеет место изменение не только их длины, но и структуры, так синусоидальный профиль волны трансформируется и приобретает вид бугра, возвышающегося над уровнем невозмущенной жидкости (рис. 3.9).

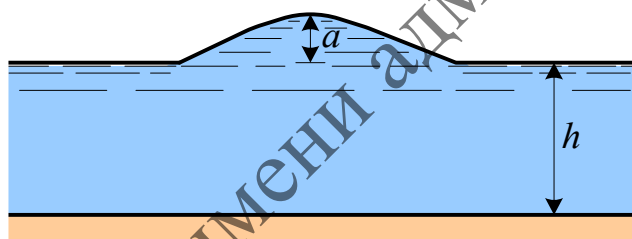


Рис. 3.9. Схема одиночной волны

Волна такого типа, имеющая только вершину и не имеющая впадин, называется *одиночной волной*. В случае если $h = a$, волна разрушается, образуя пенистый гребень.

Одиночная волна характерна тем, что при ее перемещении происходит перенос масс жидкости в направлении движения, в то время как в синусоидальных волнах частицы движутся по замкнутым эллиптическим траекториям (см. рис. 3.5, б).

Перечисленные особенности свойств волн на мелководье оказывают существенное влияние на картину волнообразования при движении судна.

При скоростях движения судна до $V = 0,4 \sqrt{gh}$ длина образующихся волн незначительно отличается от длины волн на глубокой воде. С дальнейшим ростом скорости угол β и длина волн начинают увеличиваться.

При приближении значения скорости к $V = 0,75\sqrt{gh}$ происходит сложение носовых расходящихся волн в одну общую поперечную волну, движущуюся вместе с судном и расположенную около форштевня. Эта волна имеет вид очень пологого возвышения уровня. Вдоль бортов при этом остаются только небольшие расходящиеся волны (рис. 3.10, а).

При дальнейшем росте скорости движения судна высота образующихся поперечных волн, обладающих свойствами одиночной волны, увеличивается и достигает наибольших значений при $V = (0,9 \div 1,0)\sqrt{gh}$.

Возникновение в районе форштевня поперечной волны при приближении скорости движения к критическому значению вызывает всплытие носа и появление у судна дифферента на корму.

В случае малой глубины воды образование одиночной волны приводит к понижению уровня жидкости в районе нахождения движущегося судна, в результате чего оно опускается глубже по сравнению со статическим положением. Это опускание приводит к уменьшению зазора между днищем судна и дном водоема, к увеличению местных скоростей обтекания.

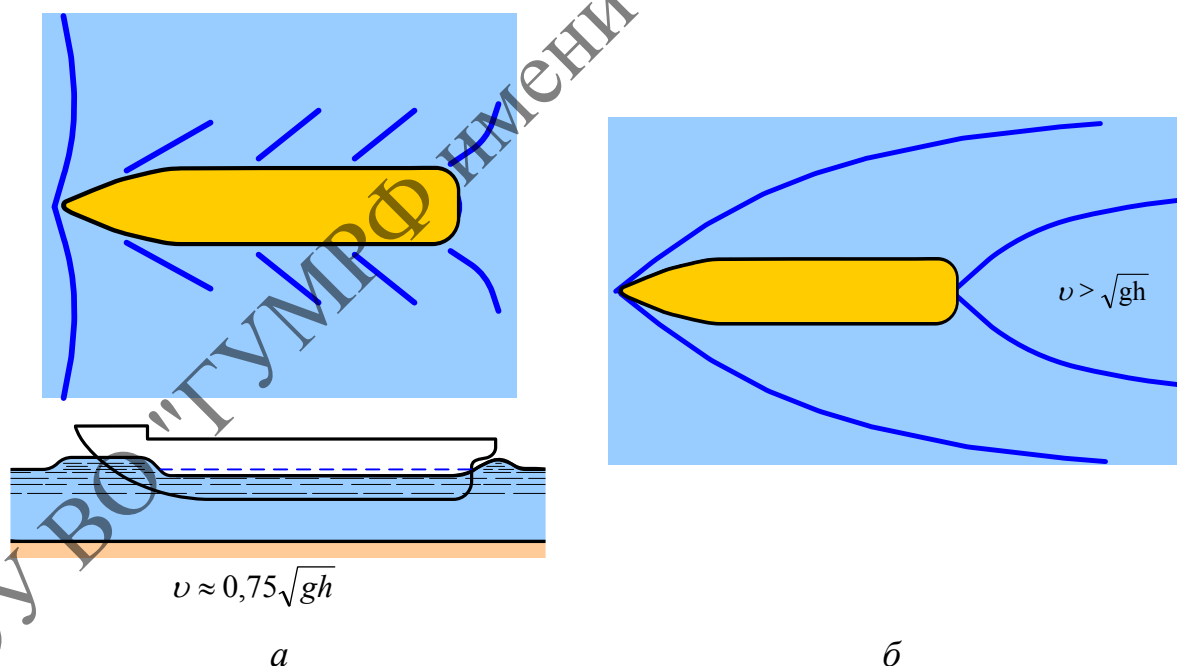


Рис. 3.10. Схемы волнообразования в случае движения судна на мелкой воде

Ввиду того, что скорость распространения одиночной волны не может превосходить значения $V = \sqrt{g(h+a)}$, то при скоростях $V \approx 1,2\sqrt{gh}$

наблюдается исчезновение поперечной волны. Вблизи от движущегося судна остается только система расходящихся волн (рис. 3.10, б). Высота расходящихся волн меньше, чем высота одиночной волны.

При дальнейшем увеличении скорости движения судна до величин, значительно превосходящих критическую скорость, в числе образующихся волн по-прежнему остаются только расходящиеся волны.

В зоне закритических скоростей движения судна на мелкой воде, так же как и при движении судна с высокими скоростями на глубокой воде, наблюдается сохранение дифферента судна на корму.

Однако вместо погружения судна по отношению к статическому положению в зоне закритических скоростей движения наблюдается всплытие, уменьшающееся при дальнейшем увеличении скорости.

В соответствии с описанной картиной волнообразования происходит и изменение сопротивления при движении на мелкой воде (рис. 3.11).

Так как процессы волнообразования на мелкой воде зависят от степени приближения к критической скорости V_{cr} , то вместо параметра h/s часто удобнее использовать параметр $Fr_h = \frac{V}{gh}$. Между обычным числом

Fr и числом Fr_h существует следующая зависимость $Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} = Fr_h \sqrt{\frac{h}{L}}$.

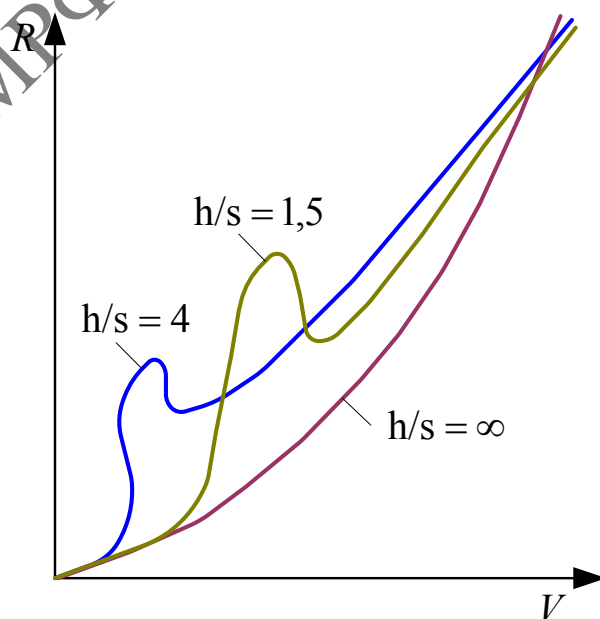


Рис. 3.11. Сопротивление движению судна на глубокой и мелкой воде

Кривые сопротивления на мелкой воде при *малых скоростях движения* судна практически мало отличаются от кривой сопротивления на глубокой воде. Более интенсивный рост сопротивления наблюдается одновременно с трансформацией системы волн, т. е. начиная со значений параметра $Fr_h = 0,4$. При дальнейшем увеличении v наблюдается резкое увеличение сопротивления, вызванное формированием одиночной волны. Кривая сопротивления имеет максимум, который обычно соответствует значению Fr_h , несколько меньшему единицы. С уменьшением отношения h/s наблюдается смещение максимума в зону меньших значений Fr_h .

При движении судна на мелководье интерференция систем поперечных волн, характерная для глубокой воды, и связанные с ней явления играют второстепенную роль, а в зоне критических и закритических скоростей теряют смысл; изменения кривых сопротивления связаны исключительно с изменением структуры волн, описанной выше.

В области закритических скоростей сопротивление при движении судна на мелкой воде может стать меньше, чем при тех же скоростях движения на глубокой воде, за счет исчезновения поперечных волн около судна и уменьшения зоны поверхности жидкости, охваченной волновым движением.

3.4. Скорости движения судна по каналу, дополнительная осадка

3.4.1. Морские каналы

Расчетная скорость движения судна по каналу должна находиться в интервале между допустимыми значениями минимальной и максимальной скоростей 3 – 12 уз (1,54 – 6,17 м/с), но не более 0,9 критической скорости V_{cr} . Нижний предел скорости обуславливается необходимостью сохранения управляемости судна. Верхний предел зависит от критической скорости судна V_{cr} при которой дальнейшее увеличение числа оборотов винтов практически не приводит к увеличению скорости движения судна (см. рис. 3.11). Значение V_{cr} для расчетного судна определяется по формуле

$$V_{cr} = V'_{cr} - (V'_{cr} - V''_{cr})d_p / d_n, \quad (3.3)$$

где d_p — навигационная глубина прорези канала неполного профиля, м; d_n — навигационная глубина канала, определяемая приближенной зависимостью $d_n = (1,15 \div 1,2)d$, м; V'_{cr} — критическая скорость на мелководье, м/с; V''_{cr} — критическая скорость на канале полного профиля, м/с.

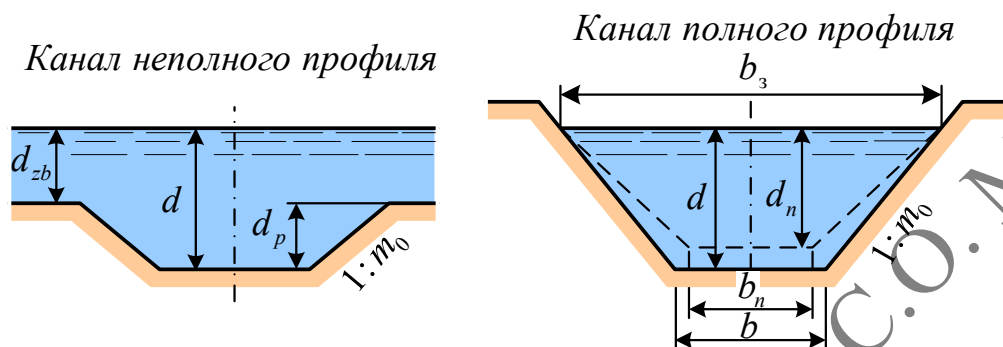


Рис. 3.12. Поперечные профили судового хода

Значения V'_{cr} и V''_{cr} зависят от d_n , навигационной ширины канала b_n , уклона откосов прорези m_0 . Приблизительно навигационная ширина b_n канала в зависимости от ширины судна b_c определяется по формулам: $b_n = (3,6 \div 6,0)b_c$ — канал неполного профиля; $b_n = (3,2 \div 5,6)b_c$ — канал полного профиля.

3.4.2. Речные каналы

Расчетная скорость движения судна по каналу так же, как и в п. 3.4.1, определяется зависимостью вида

$$V_{\min} < V_c \leq 0,9 V''_{cr}, \text{ м/с.} \quad (3.4)$$

Критическая скорость движения судов в канале полного профиля определяется по формуле

$$V''_{cr} = \sqrt{\left[6 \cos \frac{\pi + \arccos(1+k)}{3} - 2(1-k) \right]} g \frac{A}{b_3}, \text{ м/с,} \quad (3.5)$$

где A — площадь живого сечения канала, b_3 — ширина канала по зеркалу воды, м; $k = \frac{A_{\otimes}}{A}$ — коэффициент стеснения живого сечения канала; $A_{\otimes}$ — площадь погруженной части мидель-шпангоута расчетного судна в полном грузу, м^2 .

Данной зависимостью можно пользоваться и при определении V_{cr}'' в п. 3.4.1.

При двухстороннем движении критическая скорость V_{cr}'' расходящихся однотипных судов определяется по формуле (3.5) с учетом замены k на $2k$ и $A_{\otimes}$ на $2A_{\otimes}$; аналогично определяется V_{cr}'' и при обгоне одного судна другим.

Для упрощения расчетов критическую скорость можно определить с помощью графика рис. 3.13.

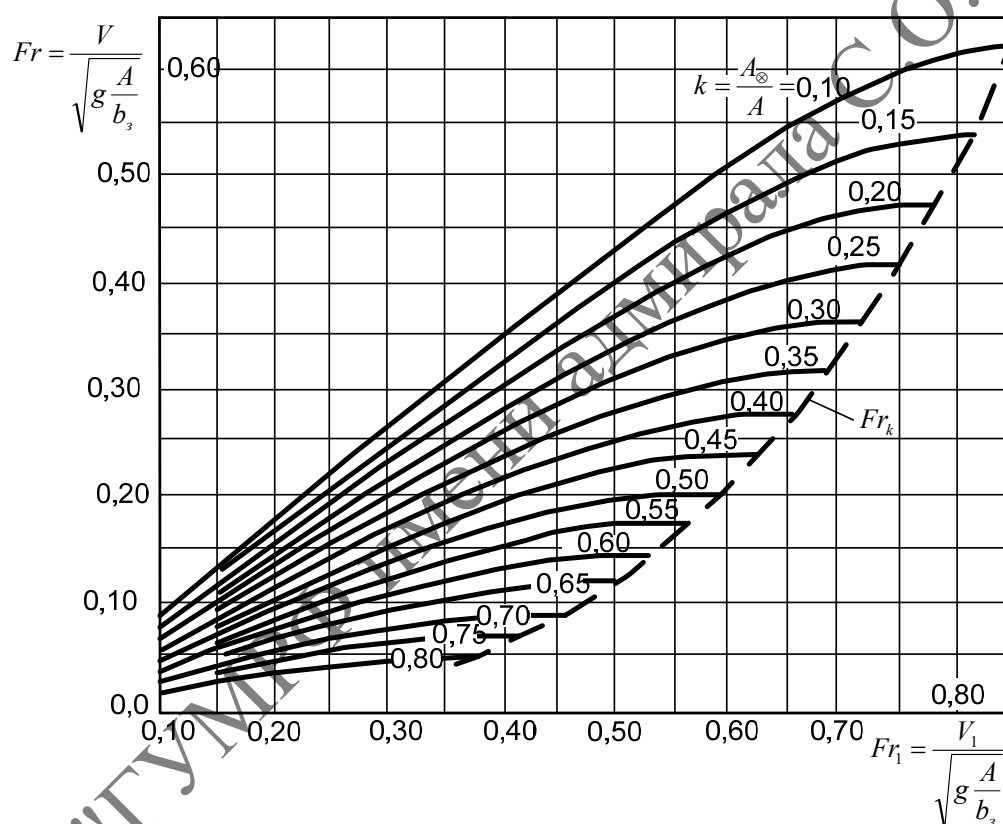


Рис. 3.13. График для определения критической скорости движения судна и скорости потока обтекания относительно судна

При известном значении k по пунктирной кривой рис. 3.13 находится число Фруда Fr и далее по формуле (3.6) определяется критическая скорость и сравнивается с заданной V_c .

$$V_{cr}'' = Fr \sqrt{g \frac{A}{b_3}}, \text{ м/с.} \quad (3.6)$$

3.4.3. Дополнительная осадка судов при движении в канале

Движение судов в канале полного поперечного сечения происходит в более стесненных условиях, чем в море, озере, водохранилище или реке, так как сказывается влияние ограниченной глубины и ширины. Движение судов в канале сопровождается следующими гидравлическими явлениями:

- вытеснением судном объема воды, равного объему подводной части судна; этот объем движется навстречу судну, проходя через стесненное сечение (встречный поток обтекания судна) со скоростью V_1 (рис. 3.14);
- неустановившимся характером движения потока обтекания;
- судовыми волнами в канале, воздействующими на откосы;
- увеличением силы сопротивления воды движению судна в канале, по сравнению с силой сопротивления при движении судна в море, озере или реке;
- понижением уровня воды в канале в районе местоположения судна и, как следствие этого, дополнительной осадкой судна с его общим продольным уклоном от носа к корме (дифферент судна на корму).

Отмеченные гидравлические явления в большой степени зависят от величины стеснения площади живого сечения канала корпусом судна. Она характеризуется *коэффициентом стеснения* k , равным отношению площади поперечного сечения погруженной части судна по миделю судна к площади живого сечения канала. Чем больше этот коэффициент, например, за счет уменьшения площади живого сечения канала, тем меньше объем строительных работ и стоимость канала. Однако при этом возрастают силы сопротивления воды движению судна; увеличиваются затраты топлива и энергии на преодоление этих сил; ухудшается управляемость судна и его устойчивость на курсе; увеличивается дополнительная осадка судов. Все эти факторы заставляют снижать скорость движения судов. На водных путях РФ рекомендуется принимать $k \leq 0,20$.

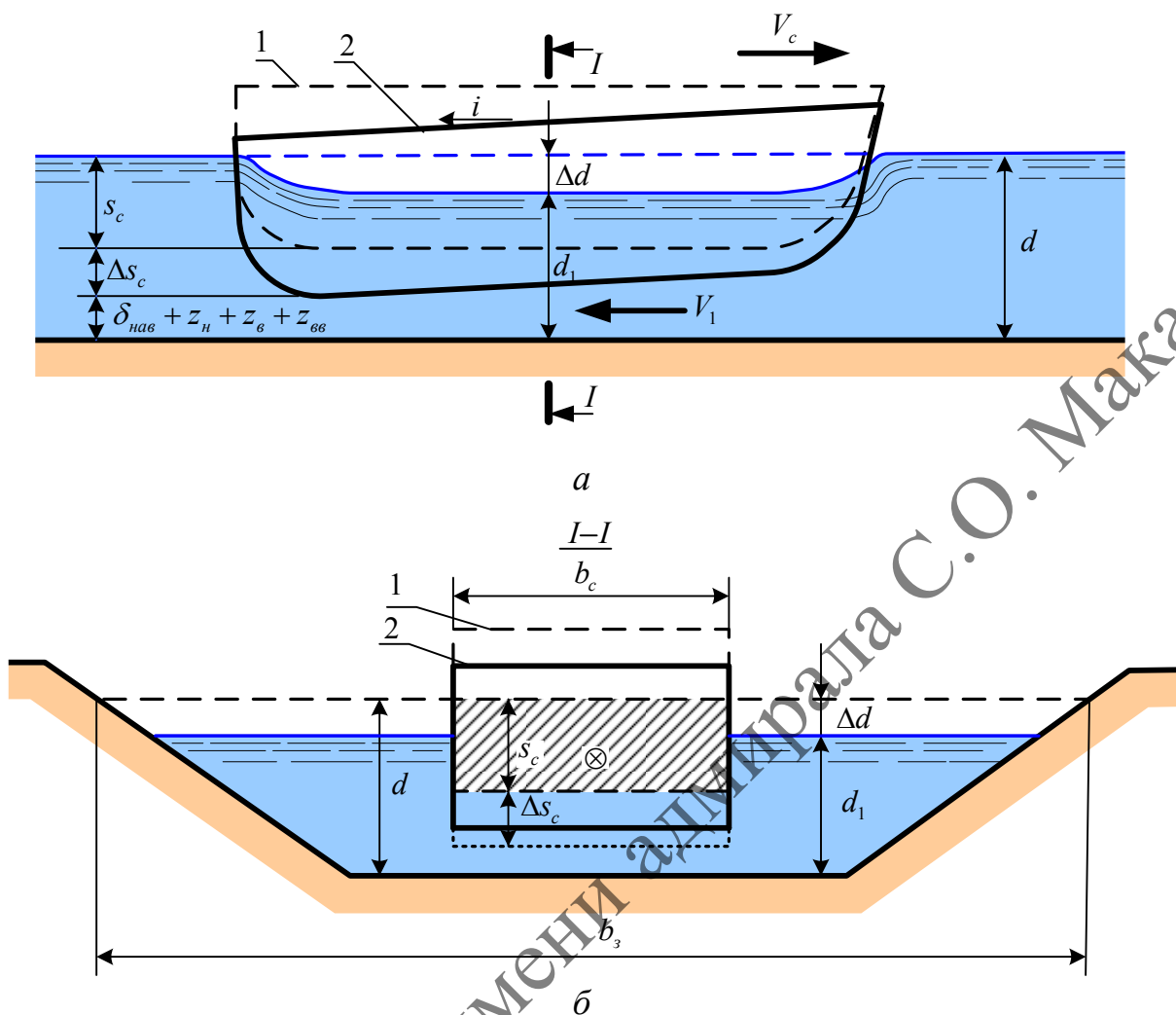


Рис. 3.14. Схема к дополнительной осадки судна при движении:

a — продольный разрез по диаметральной плоскости;

b — поперечный разрез по миделю;

1 — положение судна до начала движения;

2 — положение судна при движении

Значение понижения уровня Δd зависит от скорости движения судна v_c формы площади поперечного сечения канала и площади погруженной части мидель-шпангоута судна. Среднее значение Δd по длине судна при его движении определяется по формуле

$$\Delta d = \frac{(V_1^2 - V_c^2)}{2g}, \text{ м/с}, \quad (3.7)$$

где $V_1 = Fr_1 \sqrt{g \frac{A}{b_3}}$ — средняя скорость потока обтекания относительно судна, определяемая по графикам рис. 3.13.

Дополнительная осадка движущегося судна с учетом дифферента (см. рис. 3.14) учитывается в виде запаса при определении глубины канала и может быть вычислена по зависимости

$$\Delta S_c = \alpha_0 \Delta d, \text{ м/с}, \quad (3.8)$$

где α_0 — опытный коэффициент, зависящий от соотношения длины и ширины судна $\frac{l_c}{b_c}$; его можно принимать по данным табл. 3.1.

Таблица 3.1

Значения коэффициента α_0

$\frac{l_c}{b_c}$	от 16 до 9,1	от 9 до 7,1	от 7 до 5,1	от 5 до 3,5
α_0	1,025	1,10	1,25	1,40

Глубина воды в канале s_k , проверяется по условию

$$d \geq s_c + \delta_{\text{нав}} + \Delta s_c + z_{\text{н}} + z_{\text{в}} + z_{\text{вв}}, \quad (3.9)$$

где $\delta_{\text{нав}}$ — навигационный запас глубины под днищем судна (зависит от рода подстилаемого материала — грунта), принимаемый по табл. 3.2; Δs_c — дополнительная осадка судна при движении, м; $z_{\text{н}}$ — запас на заносимость канала насосами, принимаемый равным 0,1 – 0,2 м; $z_{\text{в}}$ — запас на высоту волны, возникающей в канале при работе шлюзов, насосных станций, ГЭС, принимаемый равным 0,2 м; $z_{\text{вв}}$ — запас на ветровую волну, определяемый в случае захода волны из водохранилища в канал, по формуле $z_{\text{вв}} = 0,3 \cdot h_{\text{в}} - \Delta s_c$, где $h_{\text{в}}$ — высота ветровой волны. При получении отрицательного значения $z_{\text{вв}}$ этот запас не учитывается.

Таблица 3.2

Навигационный запас глубины под днищем судна

Осадка расчетного судна, м	Навигационный запас $\delta_{\text{нав}}$, м		
	Для судов и составов		Для плотов при любом грунте
	при глинистом и песчаном грунтах	при скальных и крупнообломочных грунтах	
менее 1,5	0,10	0,15	0,20
1,5 – 3,0	0,15	0,20	0,25
более 3,0	0,20	0,25	0,30

3.4.4. Ширина канала на прямолинейных участках

При проектировании каналов определяются b_n — навигационная ширина канала, которая соответствует эксплуатационной ширине канала на уровне навигационной глубины d_n , а также b_0 — проектная ширина, т. е. строительная ширина канала, соответствующая проектной глубине канала d (рис. 3.15). Навигационные и проектные глубины канала зависят от принятого порядка движения судов, главных размерений расчетного судна, от параметров внешних воздействий (ветер, течение, волнение) и от габаритов прорези канала.

Навигационная ширина канала для одностороннего и двухстороннего движения судов определяется по формулам:

$$b'_n = b_m + 2C_1 + \Delta b; \quad (3.10)$$

$$b''_n = b_m + b'_m + 2C_1 + C + \Delta b, \quad (3.11)$$

где b_m , b'_m — ширина маневровой полосы для расчетного и встречного судов, м; C_1 — запас ширины между маневровой полосой и откосом канала, м; Δb — запас ширины на заносимость, м; $C = 0,5b_c$.

Ширина маневровой полосы b_m для расчетного судна определяется из выражения

$$b_m = l_c \sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + b_c(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + t_p \sin \beta V_{\max}, \quad (3.12)$$

где α_1 — угол сноса судна от течения, град; α_2 — угол дрейфа судна от ветра, град; α_3 — угол сноса судна от волнения, град.; l_c и b_c — длина и ширина расчетного судна, м; t_p — время рыскания судна, с; β — угол рыскания судна, град. На практике величина $t_p \sin \beta$ принимается постоянной и равной 3 с; $V_{\max}$ — максимальная скорость хода судна, м/с.

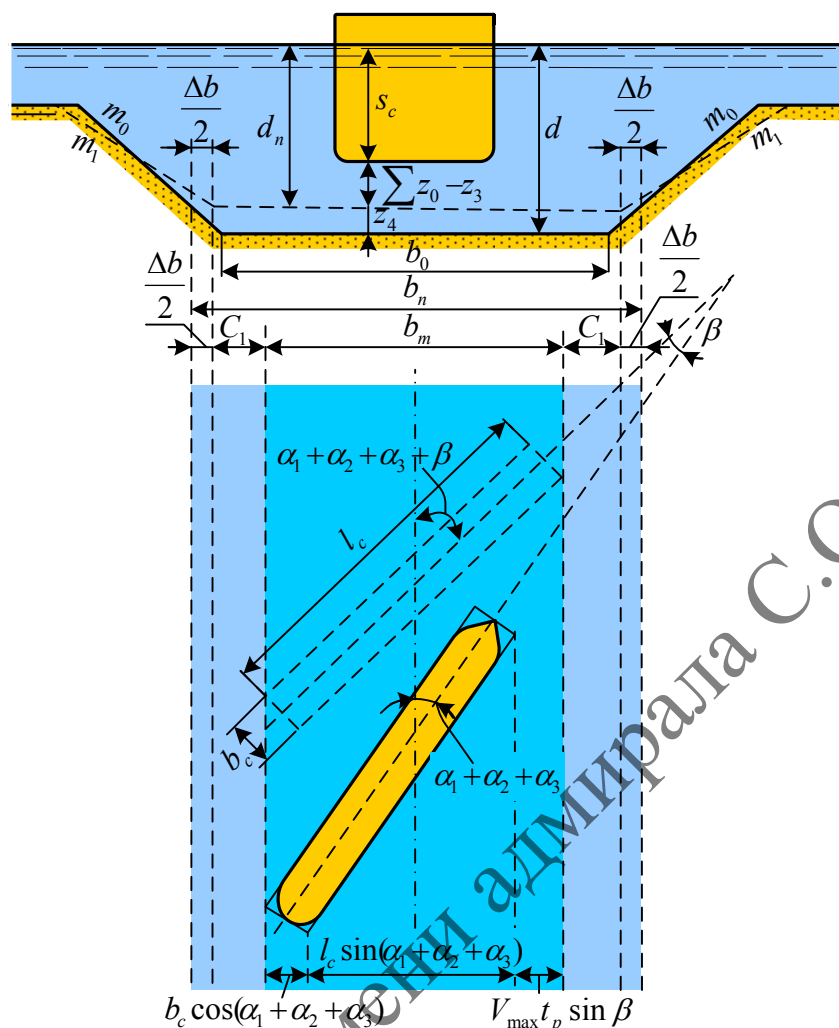


Рис. 3.15. Схема положения судна на прорези канала при определении ее габаритных размеров

Канал проектируется таким образом, чтобы суммарный угол сноса $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ не превышал 25° . В противном случае судно теряет управляемость.

Известно, что $V_1 > V_c$. Поскольку V_c — скорость судна относительно берега, то существует скорость встречного потока обтекания относительно дна и откосов канала, равная разности скоростей $V_1 - V_c$. Ее также принято называть *скоростью встречного потока* относительно берега $V_B = V_1 - V_c$.

Чтобы избежать размыва дна и неукрепленных откосов канала, при движении судна по каналу необходимо обеспечить выполнение условия

$$V_B \leq 1,2V_n, \quad (3.13)$$

где V_n — неразмывающая скорость для грунта канала.

3.4.5. Определение ширины канала полного профиля на криволинейных участках

При проектировании участков извилистых ВВП и, в частности, каналов на криволинейных участках трассы, необходимо учитывать особенности управляемости судна — его циркуляции.

Под *циркуляцией судна* понимается:

- 1) траектория центра тяжести судна при перекладке и дальнейшем удержании в заданном положении руля или другого средства управления;
- 2) процесс поворота судна.

Циркуляцию судна подразделяют на три периода:

- первый, маневренный, по времени совпадает с продолжительностью перекладки руля;
- второй, эволюционный, начинается с момента окончания перекладки и заканчивается, когда кривизна траектории и угол дрейфа судна перестанут изменяться во времени;
- третий период, установившийся, начинается с момента окончания второго периода и длится до тех пор, пока средство управления остается в переложенном положении.

Траектория центра тяжести судна в третьем периоде называется установившейся циркуляцией судна, которая на тихой воде, при отсутствии ветра, волнения и течения, имеет правильную круговую форму. Началом циркуляции судна (рис. 3.16) является положение центра тяжести судна в момент начала перекладки руля (точка G).

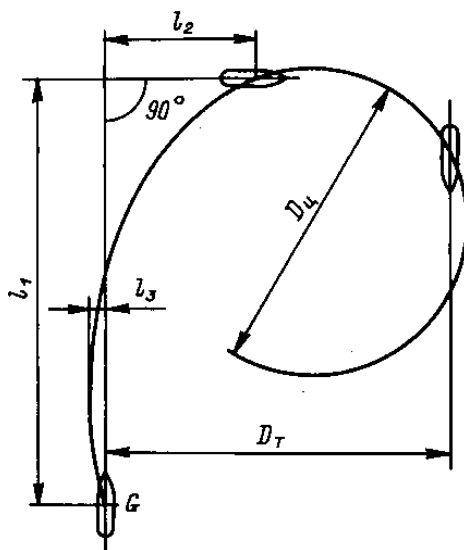


Рис. 3.16. Схема циркуляции судна

Для количественной характеристики циркуляции судна используются:

- диаметр $D_{\text{ц}}$ установившейся циркуляции судна;
- тактический диаметр $D_{\text{т}}$ — расстояние между диаметральными плоскостями судна в начале поворота и при повороте судна на 180° ;
- выдвиг l_1 — расстояние, на которое смещается центр тяжести судна в направлении первоначального курса от точки G начала циркуляции до точки, соответствующей изменению курса судна на 90° ;
- прямое смещение l_2 — кратчайшее расстояние от линии первоначального курса до центра тяжести судна в момент изменения угла курса на 90° ;
- обратное смещение l_3 — расстояние между линией первоначального курса и параллельной ей касательной к траектории движения в начальные периоды поворота.

Для судов различных классов $D_{\text{т}} = (0,9 \div 1,2) D_{\text{ц}}$; $l_1 = (0,6 \div 1,2) D_{\text{ц}}$; $l_2 = (0,5 \div 0,6) D_{\text{ц}}$, где $D_{\text{ц}} = (3 \div 5) l_c$.

При движении по каналу судно меняет направление движения в зависимости от начертания в плане судового хода. Для выполнения поворота судоводитель производит перекадку рулей в сторону поворота. Вода оказывает давление на перо руля, и судно разворачивается носом в сторону поворота. При этом скорость движения судна уменьшается вследствие возросших сопротивлений, примерно до 25 %.

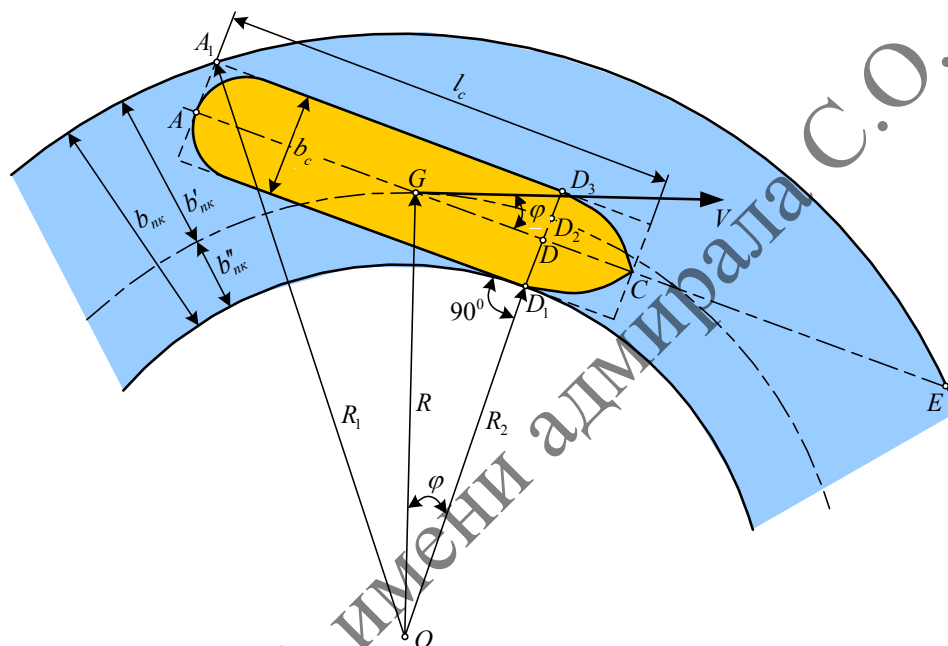
На совершающее круговое движение судно действует центробежная сила. Ее действие аналогично влиянию бокового ветра, течения и волнения, поэтому судно движется на повороте с углом дрейфа и занимает в канале ширину полосы, большую ширины судна (рис. 3.17).

Выход судна из прямолинейного движения на циркуляцию не происходит мгновенно из-за сил инерции движущегося прямолинейно судна. В момент перехода от прямолинейного движения к циркуляции разные части судна имеют различные по величине и направлению окружные скорости и углы дрейфа; в начале циркуляции происходит смещение центра тяжести судна в сторону противоположную повороту примерно до 5 % длины радиуса циркуляции. Установившаяся циркуляция наступает после по-

ворота примерно на 90° . На закруглениях судоходных каналов углы поворота обычно меньше прямого, и установившейся циркуляции не наступает. При выходе из неустановившейся циркуляции приходится снова изменять угол поворота рулей и т. д.

Положение судна на повороте определяется углом дрейфа φ между диаметральной плоскостью AC и направлением окружной скорости V центра тяжести судна G посередине его длины.

а) при малом угле дрейфа



б) при большом угле дрейфа

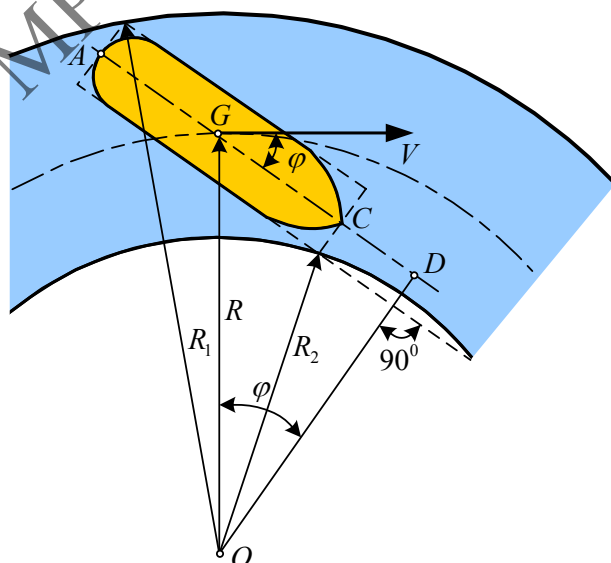


Рис. 3.17. Расчетные схемы для определения уширений на криволинейных участках канала полного профиля

С увеличением угла дрейфа центр поворота (точка D) перемещается и при $\alpha = 0,5$ будет находиться в районе носа судна. При дальнейшем увеличении угла дрейфа ширина полосы ограничивается окружностями, проходящими через крайние точки судна (рис. 3.17, б). Для каналов с односторонним движением она приблизительно равна сумме проекций длины и ширины судна на радиус, проходящий через центр тяжести

$$b_{mk} = l_c \sin \varphi + b_c \cos \varphi. \quad (3.14)$$

На практике углы дрейфа на поворотах трассы имеют значения от 3 до 6° ($\cos \varphi$ для таких углов близок к единице).

Размеры канала на криволинейных участках с уширениями должны быть не меньше размеров, определенных для прямолинейных участков (3.12) с учетом боковых ветра и (или) течения.

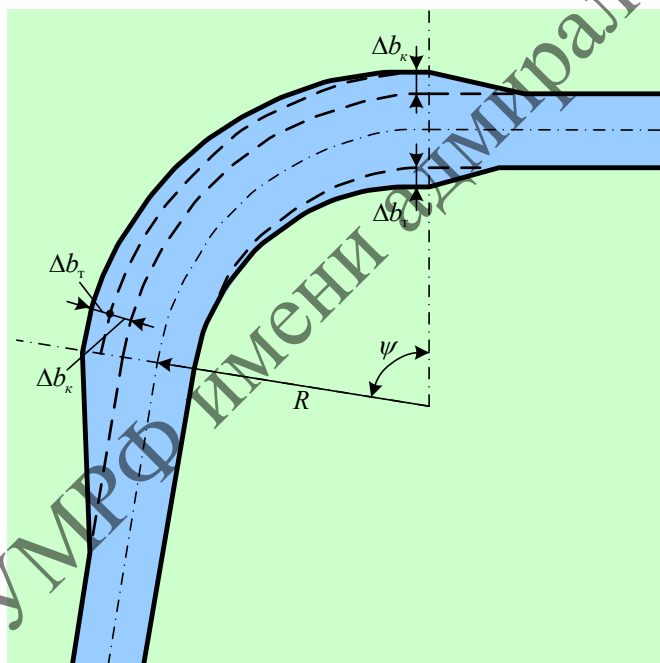


Рис. 3.18. Схема уширения подходного канала на криволинейном участке

Уширение канала Δb_k (рис. 3.18) в общем случае рекомендуется устраивать с внешней стороны от оси судового хода по вогнутому берегу канала, но для улучшения условий расхождения судов при двухстороннем движении большую часть уширения располагают со стороны вогнутого берега, а меньшую часть — со стороны выпуклого берега. При наличии в районе постоянно действующего течения уширение на повороте дополнительно увеличивается на величину Δb_t .

Библиографический список к разделу 3

1. Новосельцев Б. Ф. Внутренний водный транспорт России / Б. Ф. Новосельцев, Н. А. Ефремов, В. М. Воронцов, В. И. Поспелов. — М.: ООО «Журнал "РТ"», 2006. — 222 с.
2. Дегтярев В. В. Водные пути / В. В. Дегтярев, В. М. Селезнев, Р. Б. Фролов. — М.: Транспорт, 1980. — 328 с.
3. Гарибин П. А. Судоходные каналы: учеб. пособие / П. А. Гарибин, Д. В. Марченко, А. Б. Мошков. — СПб.: ЛГТУ, 1991. — 94 с.
4. Гапеев А. М. Водные пути, гидротехнические сооружения и их эксплуатация (Волго-Балтийский водный путь): учеб. пособие / А. М. Гапеев, П. А. Гарибин, В. В. Ключев. — СПб.: СПГУВК, 2005. — 200 с.

Раздел 4. Судопропускные сооружения

4.1. Основные элементы и принцип работы шлюза

Судоходный шлюз (голл. *sluis*, от лат. *excludo* — удерживаю, отделяю) — это напорное ГТС, предназначенное для подъема и опускания (шлюзования) судов с одного уровня воды на другой за счет распределения воды (перетекания) между основными частями шлюза.

Судопропуск через шлюз включает в себя, помимо непосредственно шлюзования, еще ряд операций, связанных с прохождением судном шлюза. Как правило, судоходный шлюз (рис. 4.1) имеет в своем составе следующие основные части: верхний подходной канал, верхнюю голову, камеру, нижнюю голову, нижний подходной канал.

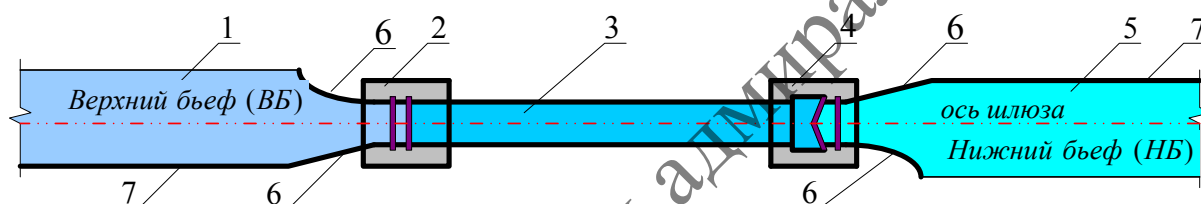


Рис. 4.1. Схематический план судоходного шлюза:

- 1 — верхний подходной канал; 2 — верхняя голова;
3 — камера шлюза; 4 — нижняя голова; 5 — нижний подходной канал;
6 — направляющие палы; 7 — причальные стенки

Камера шлюза — место, где происходят подъем-опускание находящихся на плаву судов. Подъем осуществляется за счет выравнивания уровней воды в камере и верхнем подходном канале путем наполнения камеры. Опускание — за счет выравнивания уровней воды в камере и нижнем подходном канале путем опорожнения камеры. В состав камеры входят устройства для обеспечения безопасности шлюзования (плавучие рымы, швартовные тумбы, предохранительные устройства для защиты ворот от навала судов).

Головы шлюза — конструкции, воспринимающие разность уровней воды (напор) между подходным каналом и камерой при ее наполнении и опорожнении. На головах размещается оборудование для обеспечения судопропуска.

Примыкающие к головам шлюза подходные каналы имеют плановые размеры, обеспечивающие расхождение судов, ожидающих входа в камеру, и судов, выходящих из нее. В подходных каналах обеспечиваются безопасные условия движения судов и стоянки их у причальных стенок.

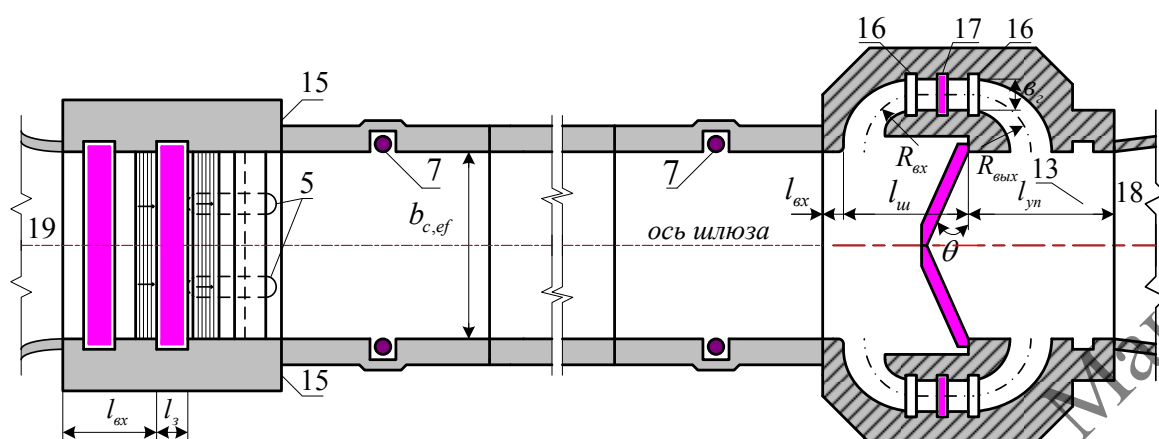
Для входа судов в относительно узкий судоходный пролет голов шлюза сооружаются направляющие палы (отдельно стоящие опоры, предназначенные для восприятия горизонтальных нагрузок от судов при швартовке и стоянке), которые имеют в плане криволинейное очертание.

Из-за простоты конструкции широкое распространение в России получил тип шлюза (рис. 4.2) с наполнением камеры из-под подъемно-опускных ворот верхней головы и опорожнением через короткие галереи, проходящие в устоях нижней головы (ВБВП, ВДСК и др.).

Пролет между устоями верхней головы перекрывается воротами в виде металлического щита, который поднимается на определенную высоту для наполнения камеры. При подъеме ворот вода из верхнего бьефа поступает в камеру шлюза через отверстие, образующееся между нижней кромкой щита ворот и железобетонным порогом верхней головы (верх стенки падения в пролете между устоями перед воротами). После выравнивания уровней воды в камере и в верхнем бьефе ворота опускаются вниз, освобождая входной пролет для прохода судов.

Пространство, в которое поступает вода из верхнего бьефа при наполнении камеры шлюза, называется *камерой гашения* энергии воды. В данном случае она ограничена стенкой падения (см. рис. 4.2), а за пазами ворот — гасительным экраном (конструкцией, обеспечивающей отражение струи с направлением в водобойный колодец камеры гашения). Из водобойного колодца вода проходит через балочную распределительную решетку (конструкцию, предназначенную для выравнивания скоростей потока по глубине при выходе в камеру шлюза) на выходе из камеры гашения. За распределительной решеткой должен находиться успокоительный участок (длиной l_y), который не входит в полезную длину камеры шлюза ($l_{c,ef}$). Гасительный экран по ширине шлюза (полезная ширина камеры шлюза $b_{c,ef}$) опирается на бычки, служащие также и для крепления съемных балок распределительной решетки.

План шлюза



Продольный разрез

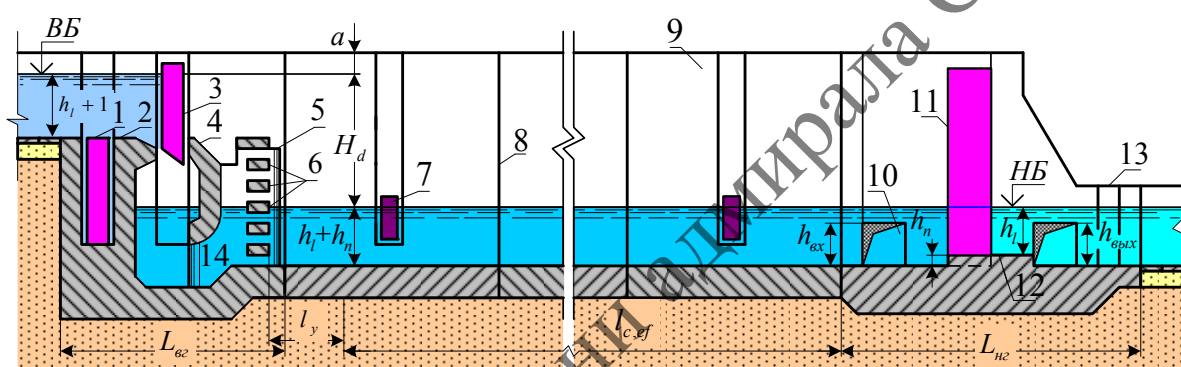


Рис. 4.2. Конструкция унифицированного однокамерного шлюза ВБВП:

- 1 — аварийно-ремонтные ворота верхней головы;
- 2 — порог верхней головы и стенка падения;
- 3 — основные подъемно-опускные ворота; 4 — гасительный экран;
- 5 — опорный бычок; 6 — распределительная решетка; 7 — плавучий рым;
- 8 — температурно-осадочный шов; 9 — секция камеры; 10 — галерея опорожнения;
- 11 — рабочие двустворчатые ворота; 12 — порог нижней головы;
- 13 — паз ремонтных ворот нижней головы; 14 — камера гашения;
- 15 — устой верхней головы; 16 — пазы ремонтных затворов галерей опорожнения;
- 17 — рабочий затвор галереи опорожнения; 18 — нижний подходный канал;
- 19 — верхний подходный канал

Судоходный пролет между устоями нижней головы перекрывается двустворчатыми воротами — затвором, состоящим из двух поворотных створок с вертикальной осью вращения. В закрытом положении ворот створки в плане образуют трехшарнирную арку из взаимно упирающихся друг в друга и в устои плоских щитов, поддерживающих уровень воды с напорной стороны. При открытии створки ворот, вращаясь на вертикаль-

ных осях, убираются в шкафные ниши (углубления в устоях головы), освобождая судоходный пролет. Опорожнение камеры шлюза (см. рис. 4.2) осуществляется через две короткие обходные водопроводные галереи, расположенные в устоях нижней головы. В каждой галерее имеется один рабочий и два ремонтных затвора.

Для осушения, осмотра и ремонта всего шлюза предусмотрены ремонтные ворота верхней и нижней голов шлюза. На верхней голове они выполняются как аварийно-ремонтные ворота, которые могут перекрывать судоходный пролет и в текущей воде при возникновении нештатных ситуаций.

Совокупность устройств и механизмов, служащих для наполнения (опорожнения) камеры, составляет систему питания шлюза.

В гидравлическом отношении системы питания камер судоходных шлюзов должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать время наполнения и опорожнения камер в соответствии с заданной пропускной способностью шлюза;
- обеспечивать безопасные условия стоянки шлюзуемых судов в камере и судов, ожидающих шлюзования у причальных стенок подходных каналов;
- не допускать при наполнении и опорожении камер водой разрушения отдельных элементов шлюза, размывов дна подходных каналов, кавитацию, вибрацию затворов водопроводных отверстий и других негативных явлений, нарушающих нормальную эксплуатацию шлюзов.

4.2. Классификация шлюзов

Судоходные шлюзы различают между собой по материалу, напору, числу камер и их расположению в плане, типу систем питания, а также по способу сбережения воды на шлюзование.

В зависимости от материала для изготовления камеры шлюзы могут быть деревянными, каменными, из металлического шпунта, бетонными и железобетонными.

В зависимости от напора на камеру судоходные шлюзы условно разделены на три группы:

- низконапорные с расчетным напором меньше 10 м;
- средненапорные больше 10 и меньше 30 м;
- высоконапорные больше 30 м.

В зависимости от числа последовательно расположенных камер шлюзы подразделяются на *однокамерные* и *многокамерные* (определяющими факторами при выборе типа шлюза являются напор на гидроузел и грузооборот), а по числу параллельно расположенных камер — на *однониточные* и *многониточные*. Количество ниток определяется расчетом пропускной способности шлюза.

В однокамерном шлюзе суда преодолевают весь напор на гидроузле в одной камере. С середины XX в. в составе низко- и средненапорных гидроузлов однокамерные шлюзы получили самое широкое распространение, как в России, так и за рубежом.

В некоторых случаях для уменьшения объема сливной призмы $V_{сл}$ и сокращения времени шлюзования одиночных судов однокамерные шлюзы могут возводиться с промежуточной (средней) головой (рис. 4.3, а).

В составе средне- и высоконапорных гидроузлов иногда целесообразно строительство однокамерных шлюзов шахтного типа (рис. 4.3, б). Камера такого шлюза имеет вид шахты, ограниченной со стороны нижнего бьефа забральной стенкой со шлюзными воротами глубинного типа. Отметка низа забральной стенки делается такой, чтобы под стенкой проходили суда.

Если напор разбит на несколько равных частей и суда преодолевают части напора последовательно в нескольких камерах одного шлюза, то такой шлюз называется *многокамерным* или *многоступенчатым* (рис. 4.3, в). В отличие от однокамерного шлюза, многокамерный шлюз имеет средние головы, сопрягающие две смежные камеры.

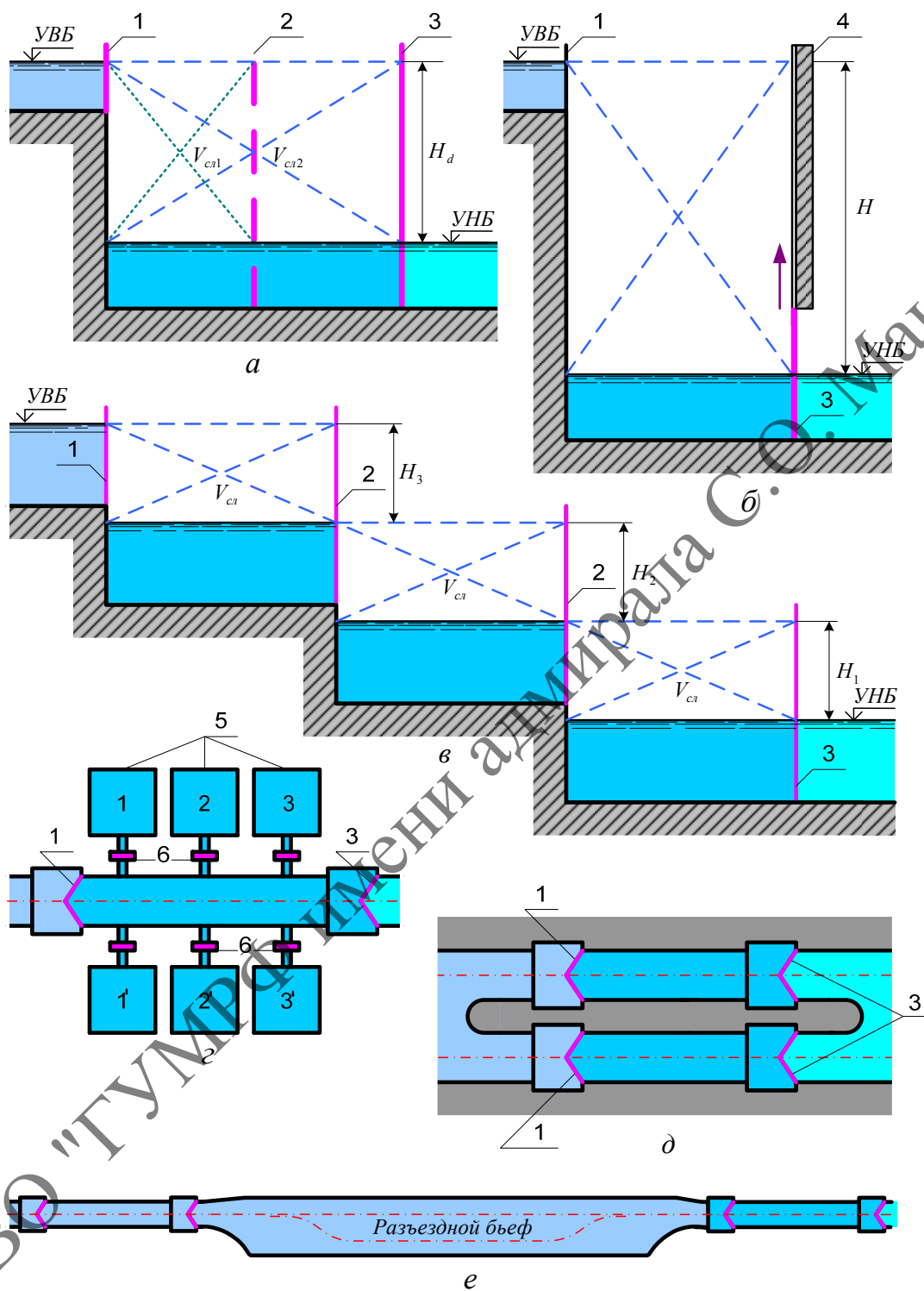


Рис. 4.3. Схемы шлюзов:

- а — продольный разрез однокамерного шлюза;
 б — продольный разрез шахтного шлюза; в — продольный разрез трехкамерного шлюза;
 г — план шлюза со сберегательными бассейнами; д — план двухниточного шлюза;
 е — план шлюза с коротким разъездным бьефом.
 1 — верхние ворота; 2 — средние ворота; 3 — нижние ворота;
 4 — забральная стенка; 5 — сберегательные бассейны; 6 — затворы;
 $V_{сл}$ — сливная призма

При шлюзовании судов в многокамерных шлюзах объем сливной призмы уменьшается пропорционально числу камер, но увеличивается время шлюзования при двухстороннем движении судов. Для увеличения пропускной способности этих шлюзов применяют серийные шлюзования, заключающиеся в пропуске судов в порядке одностороннего движения сверху вниз, а затем наоборот снизу вверх. Многокамерные шлюзы строят в случаях, когда по водохозяйственным (требуется уменьшить количество воды на шлюзование), геологическим или экономическим условиям целесообразно уменьшить напор на одну камеру.

Для экономии, расходуемой при шлюзовании воды и с целью улучшения условий стоянки судов в подходных каналах устраиваются шлюзы со сберегательными бассейнами (рис. 4.3, г). Рядом с камерой шлюза (слева или справа) возводят открытые или закрытые бассейны, которые забирают воду из камеры при ее опорожнении и отдают обратно при наполнении. Каждый бассейн соединен с камерой шлюза при помощи водопроводов, снабженных затворами. По высоте бассейны располагаются таким образом, что перетекание воды всегда происходит самотеком.

До настоящего времени в России шлюзы со сберегательными бассейнами не строили. На ВВП стран ЕС с высокими экологическими требованиями к транспорту и зарегулированными водотоками строительство таких шлюзов носит массовый характер. В частности, на канале Рейн – Майн – Дунай из 16 современных шлюзов 13 построено со сберегательными бассейнами, расположенными рядом со шлюзом в виде лестницы (рис. 4.4).

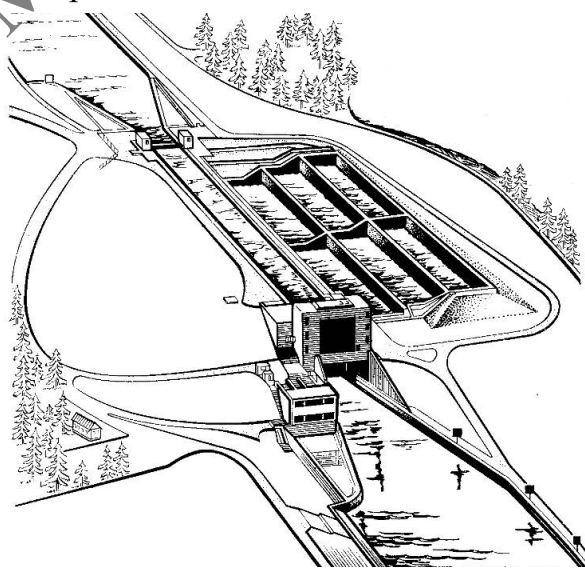


Рис. 4.4. Шлюз с открытыми сберегательными бассейнами

На водных путях с интенсивным судоходством строят рядом друг с другом несколько шлюзов, которые условно называют *многониточными*.

В Волжско-Камском бассейне в одном створе построено по два шлюза, называемых *двухниточными* или *парными* (см. рис. 4.3, д). Парные шлюзы удобны в эксплуатации, позволяют экономить сливную призму (при устройстве системы питания с перепуском воды из одной камеры в другую) и при необходимости периодически осуществлять очистку камер и мелкие ремонтные работы без остановки судопропуска.

На участках рек и каналов с большим падением приходится размещать шлюзы на близких расстояниях. Такие системы шлюзов носят название — *шлюзы с короткими разъездными бьефами* (см. рис. 4.3, е). Минимально допустимое расстояние между шлюзами, обеспечивающее расхождение встречных судов определяется размерами подходных каналов.

4.3. Системы питания шлюзов

Системы питания судоходных шлюзов подразделяются:

1) по способу подачи воды в камеру и выпуска из нее — на *сосредоточенные, головные* (наиболее распространены), *распределительные* и *комбинированные*;

2) по способу забора воды из верхнего бьефа и выпуска ее в нижний — на системы с забором и выпуском воды в подходных каналах шлюза и системы с боковым забором и выпуском воды (вне подходных каналов).

Головные системы питания шлюзов условно разделены на две основные группы: *безгалерейные* и *с короткими обходными галереями*. В безгалерейных системах питания наполнение и опорожнение камер шлюзов малого напора может производиться через отверстия в воротах (клинкеты) или через отверстия под воротами. В шлюзах со стенкой падения наполнение камер чаще всего осуществляется из-под ворот

различной конструкции. В системах питания с короткими обходными галереями наполнение и опорожнение камер производится по водоводам, располагаемым в головах.

Галерейные системы питания с камерой гашения под порогом используются в основном для осуществления процесса наполнения, которое производится с двух сторон верхней головы по галереям круглого сечения, перекрываемым цилиндрическими затворами (рис. 4.5, а). В России данная система питания использована на 19 шлюзах Беломорско-Балтийского канала

Гашение энергии воды при наполнении камеры шлюза осуществляется в камере гашения путем соударения двух встречных потоков. Вода, поступающая в камеру шлюза, оказывает гидродинамическое воздействие на шлюзуемые суда и, кроме того, вызывает образование бугра у рабочих ворот, растекание которого также приводит к значительному увеличению гидродинамических сил.

Гидравлические показатели системы наполнения могут быть улучшены, если предусмотреть за камерой гашения установку балочной решетки для равномерного распределения скоростей по глубине и частичного гашения энергии потока.

Системы питания с галереями в устоях в обход рабочих ворот применяются как для наполнения, так и для опорожнения камер (рис. 4.5, б). Их использование в качестве системы наполнения ограничено напором на камеру, а в качестве системы опорожнения они получили самое широкое распространение при любых напорах. Наиболее крупным (по напору) в России шлюзом с использованием такой системы для наполнения является шлюз № 14 Цимлянского гидроузла с напором 10 м, а для опорожнения камеры — Павловский шлюз на р. Уфе ($H_d = 32$ м). Входные и выходные отверстия водопроводных галерей (прямоугольного или квадратного сечения) в таких системах питания могут располагаться в стенах или днище камер шлюзов.

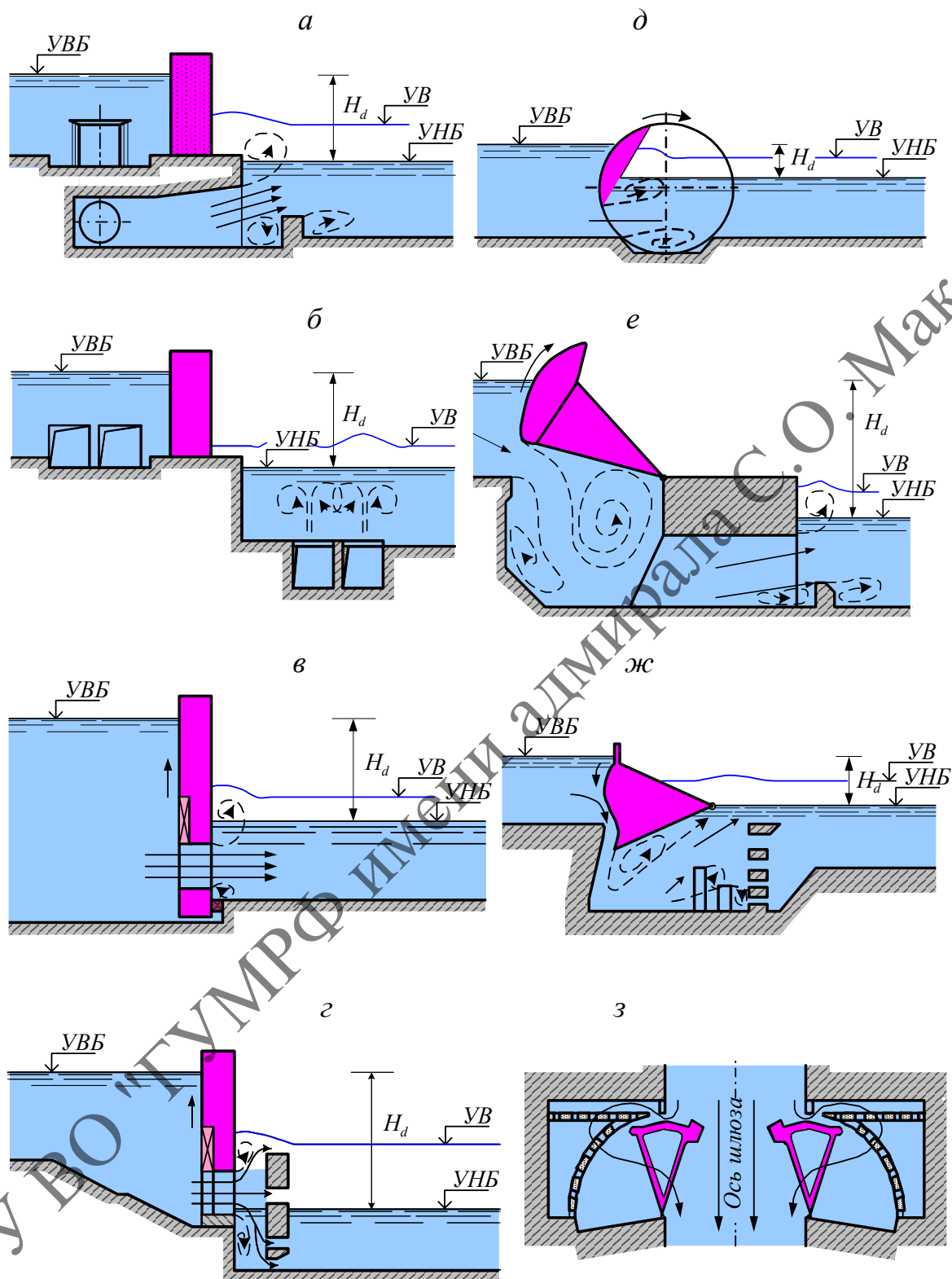


Рис. 4.5. Схемы систем питания камер низконапорных шлюзов:

- а — галерейная с камерой гашения;
 б — с обходными галереями в устоях головы; в — с отверстиями в рабочих воротах;
 г — с отверстиями в рабочих воротах и гасителями;
 д — из-под уравновешенных полноповоротных ворот; е — из-под сегментных ворот;
 ж — при помощи опускающих сегментных ворот; з — при помощи секторных ворот

Наиболее простой разновидностью безгалерейной системы питания является система питания с водопропускными отверстиями в воротах, перекрываемыми затворами различной конструкции (клинкетами). Они широко использовались для наполнения и опорожнения камер на многих шлюзах России и Европы с напорами 3 – 4 м (рис. 4.5, в).

Шлюзы с клинкетным наполнением и опорожнением возводились преимущественно на водных путях местного значения с ограниченным судопотоком. В России единственными шлюзами данного типа, построенными на сверхмагистральных водных путях, являются Пермские шлюзы с габаритами камер 240×30×6 м. и напором на камеру 3,3 м.

Иногда шлюзы с клинкетами возводились и для преодоления более значительных напоров. Эксплуатируемый шлюз в Германии с клинкетным наполнением (рис. 4.5, г) рассчитан на напор 9 м, имеет стенку падения высотой 2,2 м и балочные гасители за отверстиями.

В нашей стране при реконструкции шлюзов малого напора постепенно начали отказываться от систем питания через отверстия в воротах. На отдельных шлюзах Москворецко-Окской системы с размерами камер 270×18×2,5 м и напором около 3 м при модернизации вместо двустворчатых ворот с клинкетами были установлены сегментные полноповоротные уравновешенные затворы. Наполнение и опорожнение камеры осуществляется через отверстие, образуемое при повороте сегмента вверх на определенную высоту (рис. 4.5, д).

При средних напорах на камеру и наличии стенки падения для наполнения использовались сегментные ворота. Наполнение камер шлюзов канала им. Москвы при напоре от 8 до 13 м осуществляется через отверстие, образуемое при подъеме ворот (рис. 4.5, е), а шлюза *Spandau* (Германия) — при опускании ворот (рис. 4.5, ж).

Для малых напоров при небольшой грузонапряженности водного пути может быть использовано питание камер через отверстия, образуемые при открытии секторных ворот. Секторными двустворчатыми воротами оснащены пять шлюзов с напорами 4 – 5 м канала *Keitele-Paijanne* в Финляндии (рис. 4.5, з). Вода в таких системах может поступать в обход створок ворот и через отверстие между секторами.

Применение плоских затворов для наполнения и опорожнения камер считается более эффективным. При отсутствии стенок падения питание

камер может осуществляться из-под плоских подъемных ворот, например, шлюз *Bad-Abbah* на р. Дунай (рис. 4.6, *а*).

При наличии стенок падения для наполнения могут быть использованы плоские поворотные затворы Г-образной формы, рекомендуемые при напорах 5 – 8 м (рис. 4.6, *б*).

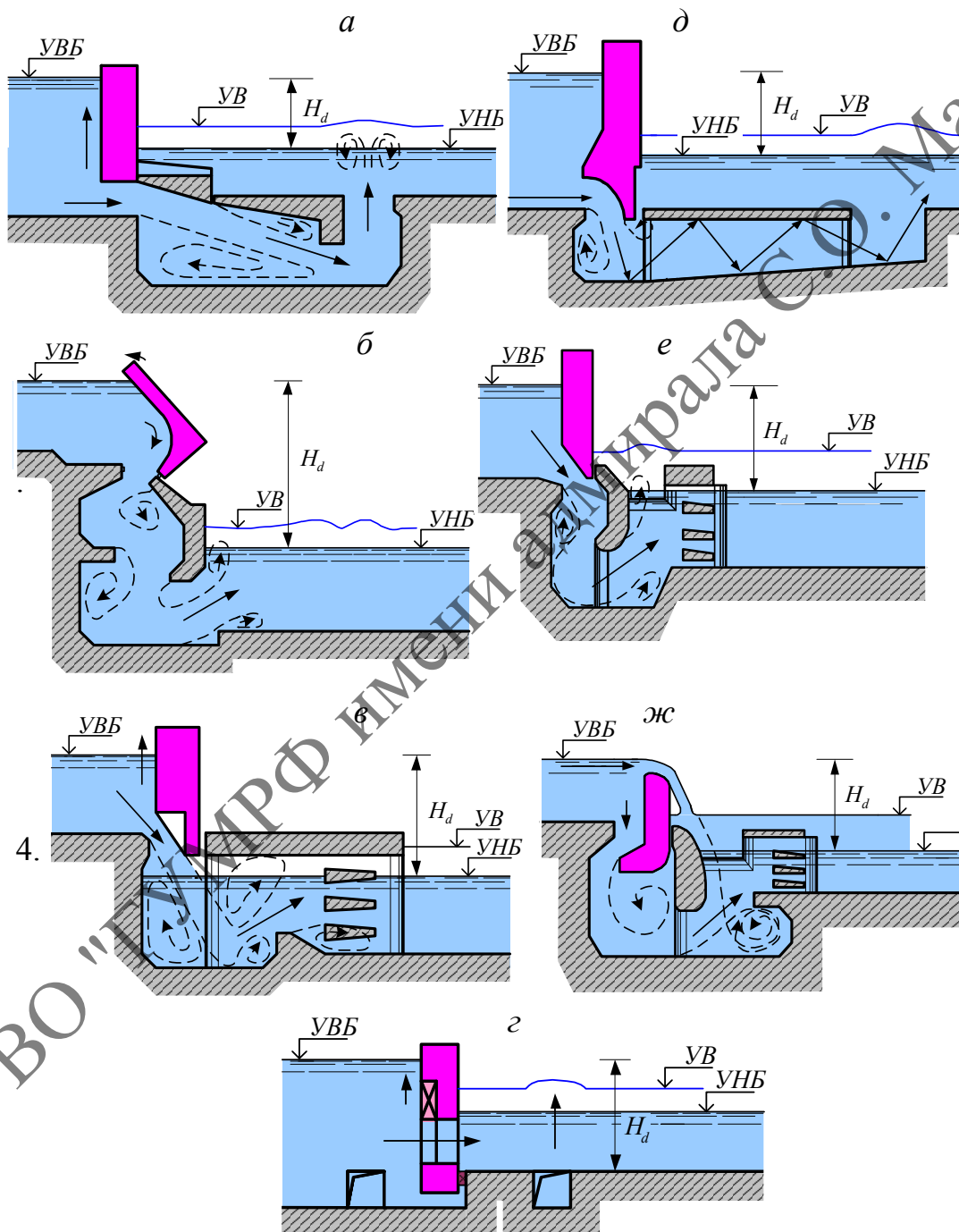


Рис. 4.6. Перспективные схемы систем питания камер низконапорных шлюзов:
а — из-под плоских подъемных ворот; *б* — при помощи плоских поворотных ворот;
в — из-под плоских подъемно-опускных ворот; *г* — комбинированная;
д — из-под плоских подъемных ворот; *е* — из-под плоских подъемно-опускных ворот
 (шлюз № 8 Шексна); *ж* — комбинированная с опускными воротами

В России самое широкое распространение при наличии у шлюза стенки падения получила система наполнения камер из-под плоских подъемно-опускных ворот. Она реализована на шлюзах ВБВП при напорах 12 – 17,2 м, ВДСК — 8 – 12 м, Городецких — 8 – 9 м. (рис. 4.6, в), Новосибирском — 6,6 м. и других шлюзах.

Если не удастся установить оптимальное время наполнения и опорожнения камер для предварительно принятой системы питания, то в этом случае рассматривают другие разновидности систем питания, в том числе и комбинированные.

Из комбинированных систем питания камер, осуществленных на практике для низконапорных шлюзов, известны только системы с обходными галереями в устоях голов и отверстиями в воротах (рис. 4.6, г).

Удачной системой с использованием плоских ворот является вариант системы питания шлюза *Magdeburg* (Германия), показанный на рис. 4.6, д. Наиболее совершенной системой головного наполнения камер из-под плоских подъемно-опускных ворот по многим признакам считается система наполнения камеры шлюза № 8 Шекснинского гидроузла (рис. 4.6, е).

В настоящее время на основании ряда теоретических проработок и лабораторных исследований перспективной в гидравлическом отношении, по конструктивным и эксплуатационным признакам считается система наполнения из-под плоских опускных ворот с переливом воды через гребень. В данной системе предусмотрен весь известный комплекс элементов для гашения энергии подаваемого в камеру шлюза потока воды (рис. 4.6, ж).

Распределительные системы питания судоходных шлюзов характеризуются тем, что подача воды и выпуск ее из камер производится через большое число отверстий (выпусков) из продольных галерей, расположенных в днище или стенах камеры. По конструктивному признаку распределительные системы питания разделены на простые и сложные. Сложные системы питания, обеспечивающие равномерное распределение поступающего в камеру расхода воды на разных ее участках, называют *экви-инерционными*.

В 1926 г. в СССР в составе Волховского гидроузла был построен первый крупногабаритный шлюз с простой распределительной системой питания (рис. 4.7).

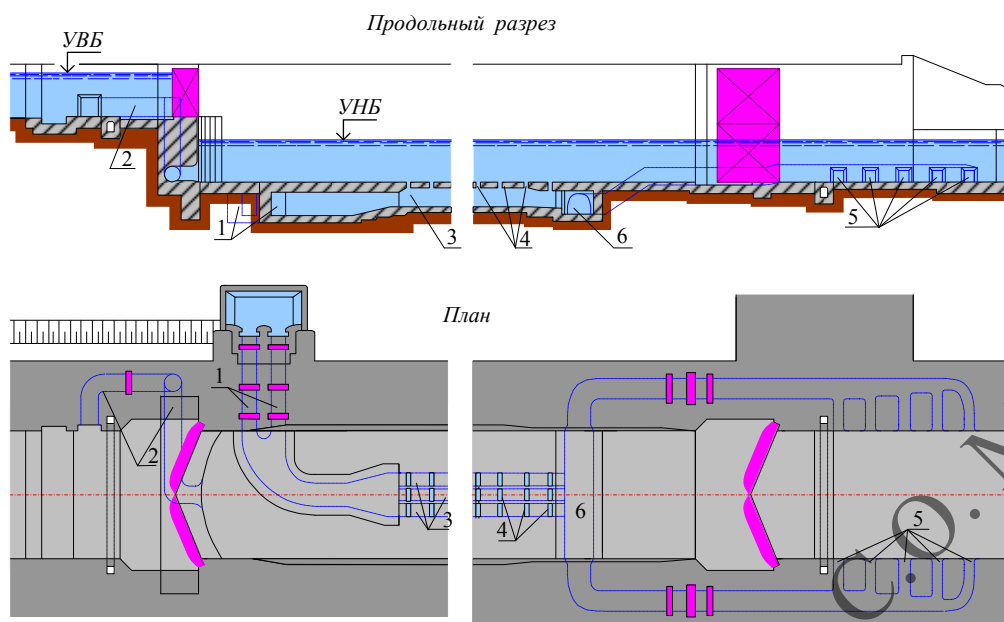


Рис. 4.7. Схема системы питания Волховского шлюза:

1 — водозаборные галереи; 2 — дополнительная галерея; 3 — донные галереи;
4 — водовыпуски; 5 — выходные отверстия; 6 — поперечная галерея

Примером наиболее удачной простой системы питания с расположением распределительных галерей в днище камеры является парный шлюз Воткинского гидроузла (г. Чайковский) с плановыми габаритами камеры 290×30 м (глубина на пороге $h_l = 5,5$ м). Такая компоновка водопроводных галерей (рис. 4.8) позволяет подавать воду по всей площади камеры и осуществлять экономию воды при шлюзованиях с использованием галерей перепуска.

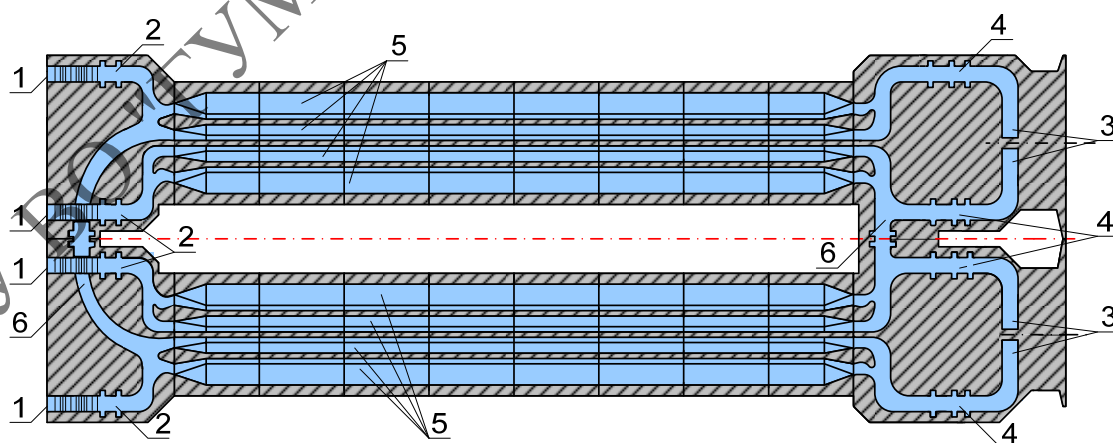


Рис. 4.8. Простая распределительная система парного Воткинского шлюза (перекрытие галерей условно снято):

1 — водоприемники; 2 — затворы наполнения; 3 — водосброс;
4 — затворы опорожнения; 5 — продольные донные водоводы; 6 — галереи перепуска

Из действующих шлюзов такого типа оригинальными являются шлюзы Сайменского канала (рис. 4.9), имеющие простую распределительную систему наполнения через продольные донные водоводы. Опорожнение камеры происходит сосредоточенно через клинкеты в двухстворчатых воротах.

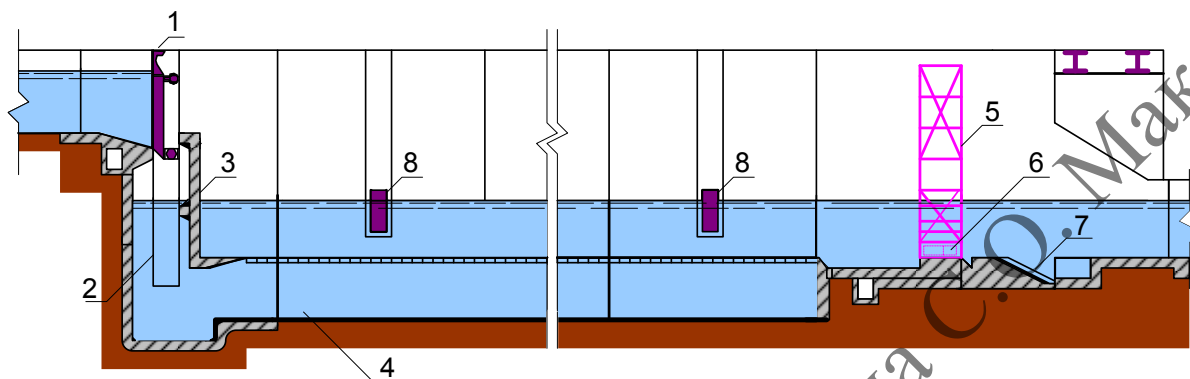


Рис. 4.9. Система питания типового шлюза Сайменского канала:
1 — верхние подъемно-опускные ворота; 2 — ниша верхних ворот;
3 — балка-экран-гаситель; 4 — продольный водовод;
5 — нижние двухстворчатые ворота; 6 — клинкет опорожнения;
7 — камера гашения; 8 — плавучие рымы

При этом, применяя принцип совмещения функций, на данных шлюзах в качестве затвора наполнения используют (как в головных системах) рабочие подъемно-опускные ворота.

На американском шлюзе *Port Allen*, на отечественных шлюзах Павловском и Нижне-Свирском (рис. 4.10) распределительные галереи расположены в стенках камер. При таком устройстве продольных галерей выпуски направлены горизонтально.

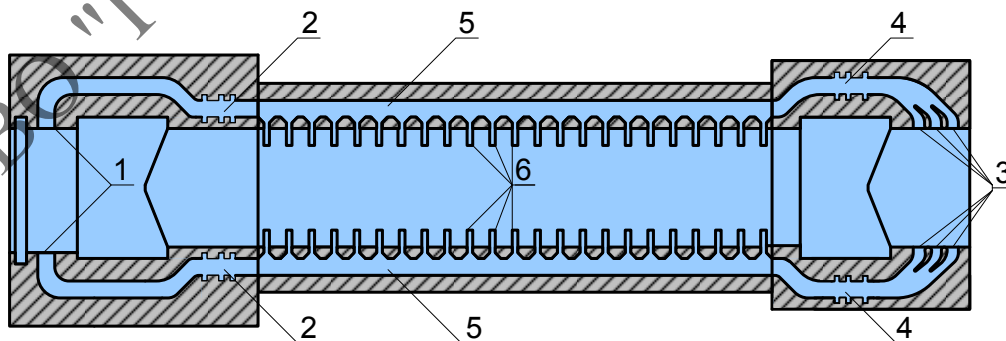


Рис. 4.10. Простая распределительная система питания
Нижне-Свирского шлюза с продольными водопроводными галереями в стенках камер:
1 — водоприемники; 2 — затворы наполнения; 3 — водосброс;
4 — затворы опорожнения; 5 — продольные галереи; 6 — водовыпуски

В случае если простые распределительные системы питания не обеспечивают необходимых условий стоянки при шлюзовании судов, используют более дорогие улучшенные (сложные) системы, имеющие более высокие эксплуатационные показатели.

К таким системам относятся системы с продольными галереями, каждая из которых питает определенный участок камеры. Затворы галерей, у которых участки с выпусками расположены дальше от начала камеры, открывают с небольшим опережением по времени по сравнению с открытием остальных. При этом для распределения поступающего расхода воды по ширине камеры конструктивно создаются поперечные водовыпускные галереи.

Распределительные системы такого типа применены на крупнейших отечественных парных шлюзах — Волгоградских и Самарских (рис. 4.11).

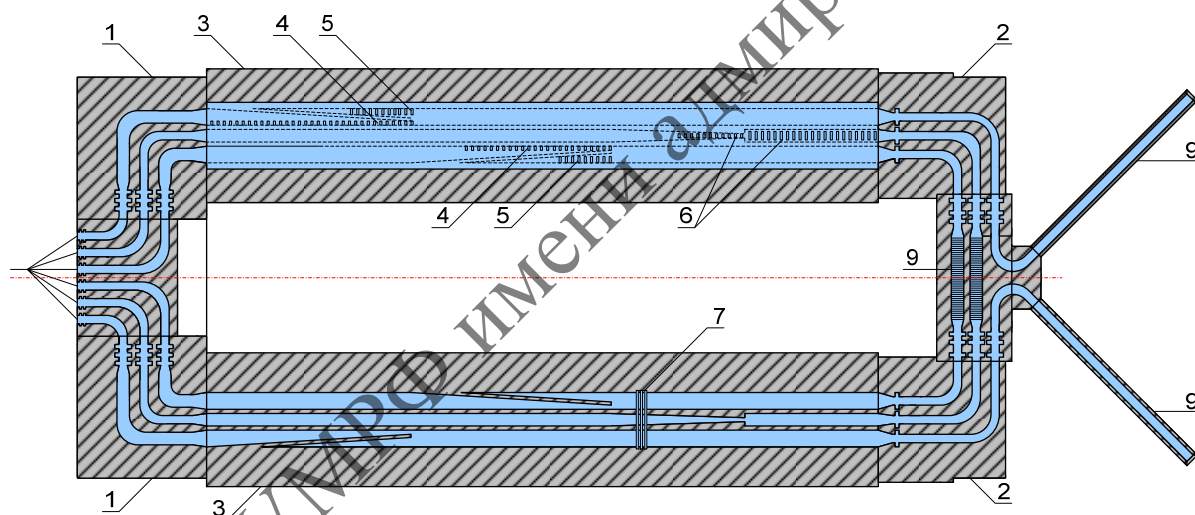


Рис. 4.11. Сложная распределительная система питания нижнего парного Самарского шлюза:

- 1 — верхняя голова; 2 — нижняя голова; 3 — камера;
- 4 — отверстия для наполнения камеры; 5 — отверстия для опорожнения камеры;
- 6 — отверстия для наполнения и опорожнения камеры;
- 7 — балки перекрытия водопроводных галерей; 8 — водозабор; 9 — водосброс

Парный Рыбинский шлюз (рис. 4.12) имеет четыре продольные галереи с отводами. Из двух галерей каждой камеры одна питает верхнюю часть длины камеры, а другая — нижнюю. Выпуск воды в камеру осуществляется по ширине при помощи отводов — системы поперечных галерей со щелевыми водовыпусками (колосниками).

Забор воды на шлюзование и сброс ее в нижний бьеф осуществляют на Рыбинском шлюзе с помощью бокового двухъярусного водозаборно-водовыпускного сооружения, а не из подходных каналов.

В целях экономии идущей на шлюзование воды между парными камерами предусмотрены две перепускные галереи, оборудованные плоскими рабочими затворами двустороннего действия. Синхронная работа камер с использованием перепуска позволяет экономить около 50 % воды, которая необходима для шлюзования при независимом наполнении и опорожнении камер. При этом время наполнения (опорожнения) увеличивается всего на 1,5 – 2,5 мин.

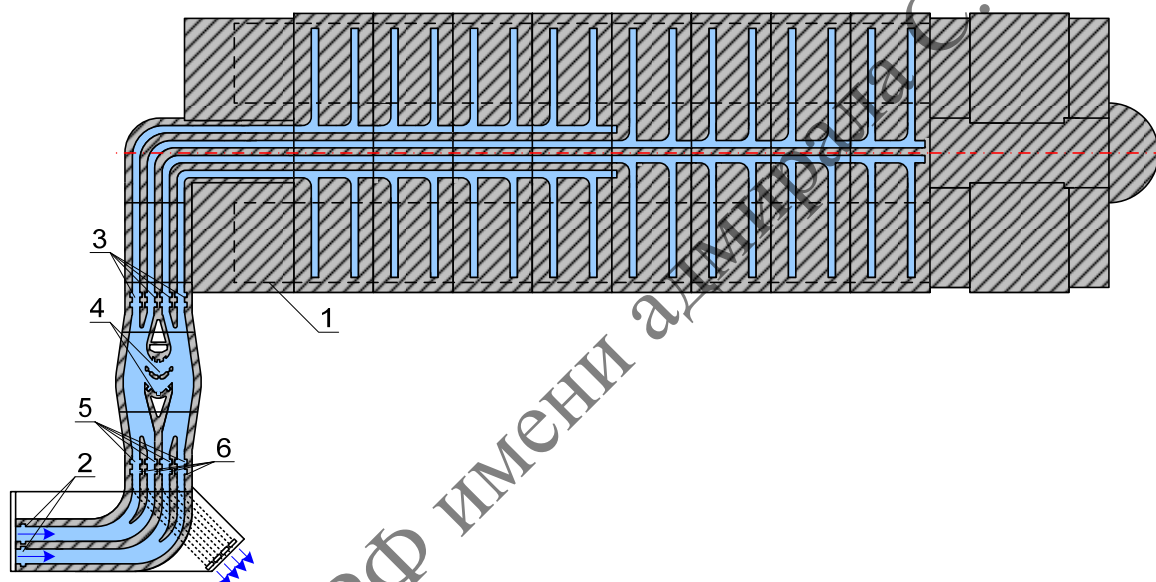


Рис. 4.12. Сложная распределительная система питания парного Рыбинского шлюза с галереями перепуска с совмещенным боковым забором и выпуском воды:

- 1 — речная нитка шлюза; 2 — затворы наполнения № 1;
- 3 — нижние затворы наполнения № 2; 4 — галереи перепуска и затворы перепуска;
- 5 — затворы опорожнения № 3 (нижний ярус);
- 6 — затворы наполнения № 4 (верхний ярус)

Предельное уменьшение волновых гидродинамических воздействий на шлюзующиеся суда обеспечивают системы питания шлюзов, имеющие независимые распределительные галереи каждая на определенный участок длины камеры, к которому осуществлен самостоятельный подвод воды (эквиинерционные системы питания).

Принцип действия эквиинерционной системы состоит в преодолении инерции масс воды, заключенных во всех ответвлениях каждого подводя-

щего водовода, питающих участки с выпусками, без сдвижек по времени. В результате происходит одновременное включение в работу всех выпусков и одинаковое нарастание расходов.

На рис. 4.13 представлена схема эквиинерционной системы питания, состоящая из двух основных продольных водоводов, каждый из которых подводит воду к четырем участкам с выпусками.

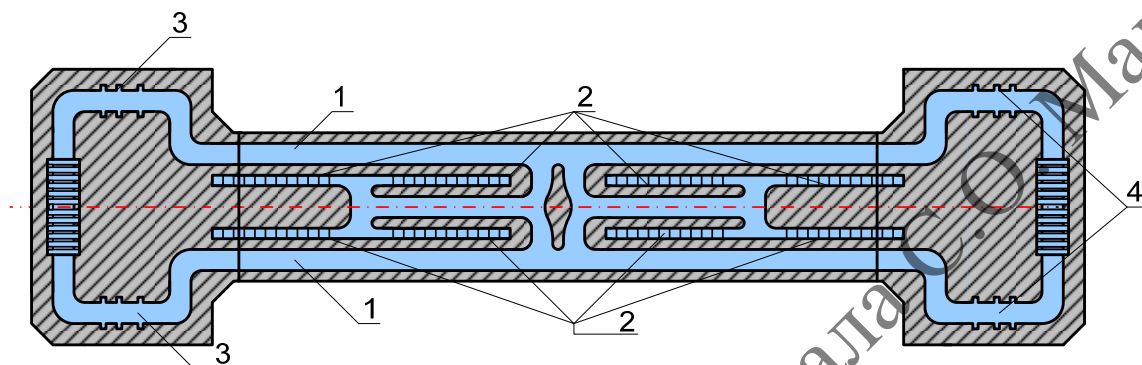


Рис. 4.13. Схема водоводов эквиинерционной системы питания симметричного типа (проект типового шлюза на головном канале переброски части стока сибирских рек в район Средней Азии):
1 — основные водоводы; 2 — участки с выпусками; 3 — затворы галерей наполнения;
4 — затворы галерей опорожнения

Эквиинерционные системы питания уже построенных шлюзов показали преимущества в эксплуатации перед шлюзами с простой распределительной системой питания, оправдывающие сложности строительства шлюзов с такой системой и некоторое увеличение капитальных затрат.

Комбинированное питание камер судоходных шлюзов может быть выполнено на основе использования как головных, так и распределительных систем питания. Конструктивные решения комбинированных систем питания могут быть самыми разнообразными. Так, в распределительных системах питания при более высоких уровнях воды в камере может быть дополнительно использовано головное питание, позволяющее существенно ускорить процесс шлюзования. Наиболее простой схемой комбинированного головного питания камер малого напора, осуществленной на практике, является система наполнения камер через короткие обходные галереи и через отверстия в воротах (клинкеты).

4.4. Подходные каналы шлюзов

4.4.1. Компонувочные решения для однокамерных шлюзов

Безопасные условия маневрирования и стоянки судов у шлюзов обеспечиваются параметрами подходных каналов, представляющих собой прямолинейные расширенные участки водного пути с причалами и направляющими сооружениями с обеих сторон судопропускного сооружения.

Решающее значение имеют выбор компоновки и сечения каналов, прогнозирование русловых переформирований, обоснование типов и конструкций направляющих сооружений и причалов с использованием специальных швартовых и наводочных устройств.

Судоходная трасса шлюза (рис. 4.14) выполняется прямолинейной на участке не менее длины l_{st} , определяемой по формуле

$$l_{st} = l_l + 2(l_a + l_s), \quad (4.1)$$

где l_l — длина шлюза, включая головы; l_a — длина верхнего (нижнего) участка подхода; l_s — длина расчетного судна.

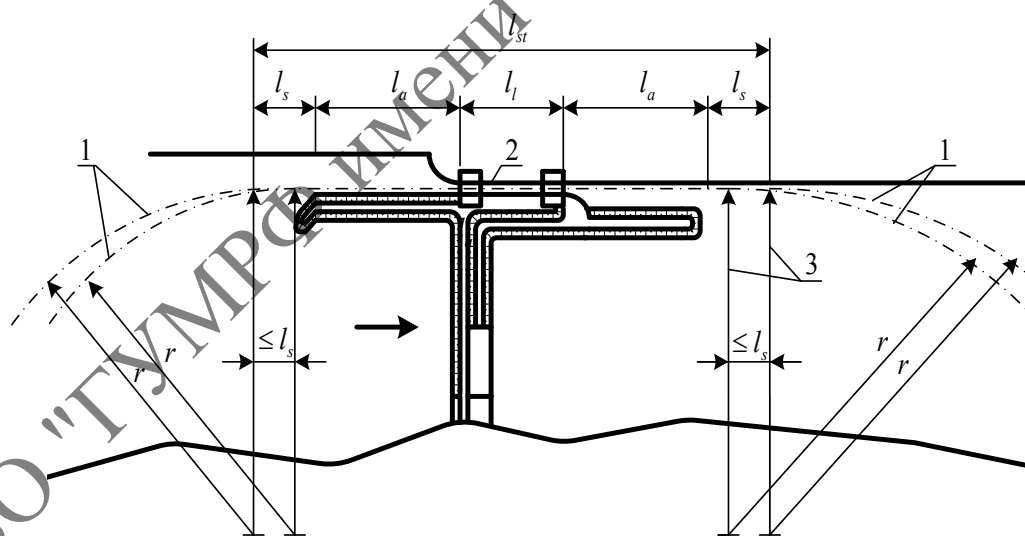


Рис. 4.14. Схема судоходного шлюза с подходами:

1 — ось судоходного хода; 2 — шлюз; 3 — радиусы поворота судоходного хода

Ось прямолинейного участка подходного канала сопрягается с осью судоходного хода по кривой, очерченной радиусом r (радиус поворота судна), который должен быть не менее пяти длин расчетного судна или трех длин расчетного толкаемого состава.

На длине подхода к шлюзу l_a участки каналов имеют ограждения во всех случаях, когда высота поперечной и косой (с углом более 45°) ветровой волны у причалов шлюзов может превысить 0,6 м.

Причальные сооружения располагаются в пределах длины l_a с правой стороны судового хода для входящих в шлюз судов, принимая направление их движения, как правило, правосторонним. Размеры и плановые очертания подходов к шлюзам обеспечивают расхождение шлюзуемых судов при двухстороннем движении.

В практике гидротехнического строительства России для исключения сверхнормативных скоростей поперечных течений принято несколько удалять вход низового подходного канала шлюза от створа плотины.

В устьевой части подходных каналов (рис. 4.15) входной участок несколько уширяется в целях улучшения условий входа судов и предотвращения навала их на откосы под воздействием ветра, волнения и течения.

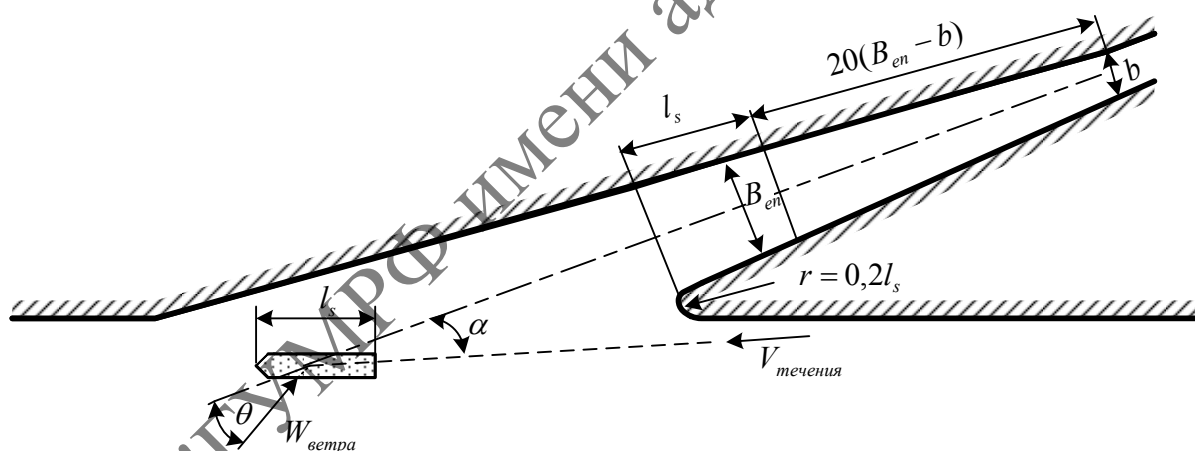


Рис. 4.15. Схема выхода в реку нижнего подходного канала шлюза:

θ — угол между расчетным направлением ветра и осью канала;

α — угол между направлением течения в реке и осью канала;

B_{en} — ширина канала в сопряжении с руслом

В устьевом участке отклонение оси судового хода от фарватера реки допускается под углом до $25 - 30^\circ$, что определяется категорией водного пути. Практика эксплуатации показывает, что в районе сопряжения подходных каналов с бьефом наибольшие продольные скорости течения не должны превышать $2 - 2,5$ м/с, а нормальная к оси судового хода состав-

ляющая скорости течения должна быть не более 0,25 м/с в створе входа в канал, 0,4 м/с на подходе к устью в реке.

Предшлюзовые рейды, предназначенные для стоянки ожидающих шлюзования судов, перемены тяги, переформирования составов и штормового отстоя, должны располагаться на огражденных акваториях. Расстояние от рейда до конца причала в подходе не должно превышать трех полезных длин камер. Высота волны с расчетной обеспеченностью 2% на судовых рейдах не должна превышать 1 м.

Опыт проектирования и эксплуатации подходов к судоходным шлюзам выработал три схемы их плановых очертаний (рис. 4.16).

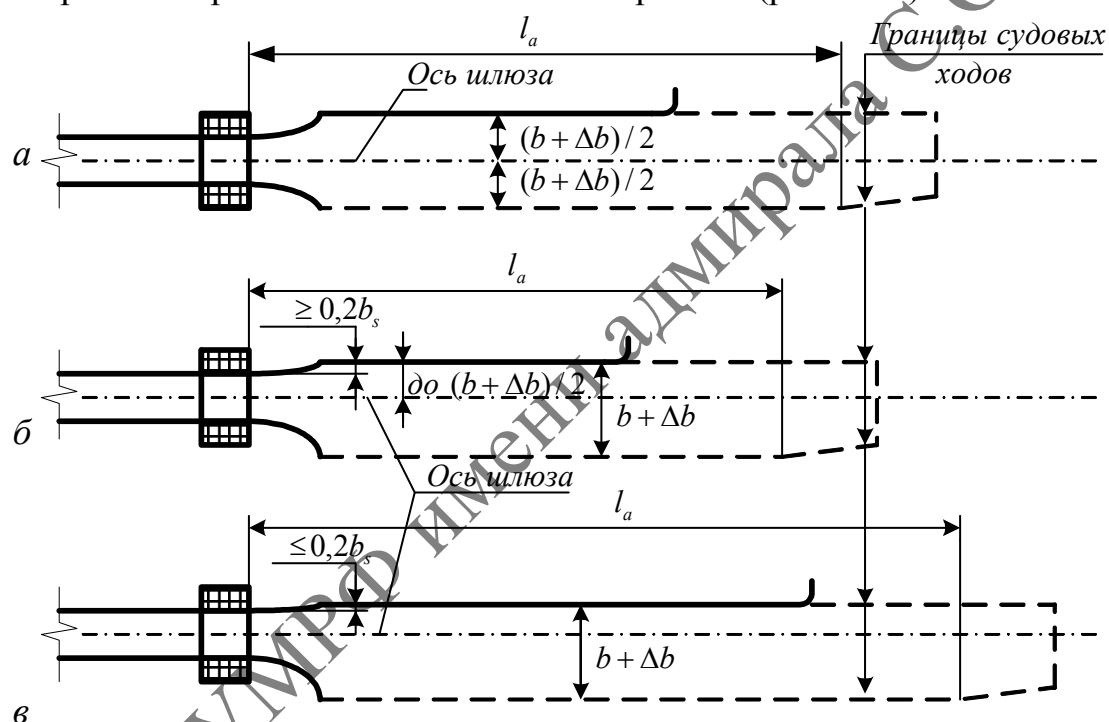


Рис. 4.16. Схемы подходных каналов шлюза:

a — симметричный; *б* — полусимметричный; *в* — несимметричный

Первая схема (рис. 4.16, *a*) предусматривает симметричное очертание подходов, когда ось подходного канала совпадает с осью судоходного шлюза, а направляющие пал имеют зеркальное очертание. При данной схеме как входящее, так и выходящее судно выполняет свой маневр — первое при входе в шлюз, второе при выходе из шлюза.

Вторая, полусимметричная схема (рис. 4.16, *б*) дает предпочтение входящему судну, поскольку причалы по сравнению с первой схемой

смещены к оси шлюза на расстояние, не менее 0,2 ширины расчетного судна.

Третья схема (рис. 4.16, в), несимметричной компоновки, дает еще большее предпочтение входящему в шлюз судну. Здесь причальная линия или продолжает лицевую грань устоев головы, или смещена от нее на расстояние не более 0,2 расчетной ширины судна.

Симметричная схема создает одинаковые условия для входящего и выходящего составов, которые в равной степени вынуждены совершать поперечное движение. Преимуществом данной схемы является то, что при наполнении и опорожнении камеры водный поток распределяется равномерно по всей ширине подходного канала.

При несимметричной схеме поперечное движение осуществляется только выходящим составом. Однако при данной форме получается самая большая длина канала.

Полусимметричная схема устраняет некоторые недостатки несимметричной схемы. Выходящий состав хотя и совершает криволинейное движение, но при этом его задняя часть не задевает пал, что имеет место, когда линия причала является продолжением лицевой стенки шлюза. Ожидающее шлюзования судно находится у причала, расположенного снаружи на расстоянии от грани стены шлюза. При входе в камеру состав испытывает меньшее сопротивление, так как он удален от причала на значительное расстояние. Выходящий состав совершает более простые маневры и также движется безопаснее и с большей скоростью. Длина такого подходного канала меньше, чем несимметричного.

4.4.2. Размеры подходов к шлюзам

Очертание и размеры подходных каналов в плане зависят от размеров расчетного судна (состава) и условий расхождений расчетных судов (составов) при двухстороннем движении. В отечественной практике наибольшее распространение получили подходные каналы с полусимметричным очертанием в плане (рис. 4.17).

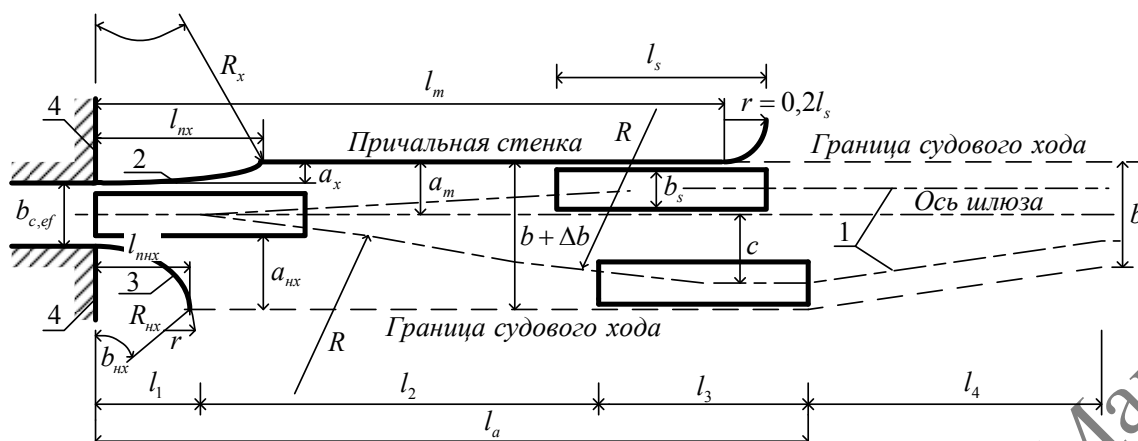


Рис. 4.17. Схема полусимметричного подходного канала:
1 — оси судовых ходов; 2 — ходовая пала; 3 — неходовая пала;
4 — грань нижней головы

Длина верхнего (нижнего) участка подхода l_a , в пределах которого предусматривается расхождение судов определяется по формуле

$$l_a = l_1 + l_2 + l_3, \text{ м}, \quad (4.2)$$

где l_1 — длина участка, характеризующего полный выход судна из камеры шлюза, принимается равной половине длины расчетного судна (толкаемого состава; $0,5l_s$); l_2 — длина второго участка, на котором судно при встречном движении переходит с оси шлюза на ось судового хода в канале

$$l_2 = \sqrt{l_s^2 + c(4r - c)}. \quad (4.3)$$

Здесь r — радиус траектории центра тяжести судна (радиус поворота), м, принимаемый не менее трех длин расчетного судна ($r \geq 3l_s$); c — смещение оси судового хода в канале относительно оси шлюза при входе или выходе судна, м.

4.4.3. Устройство для наводки судна на ось шлюза

В современных условиях процесс входа-выхода судов и составов в шлюз занимает более 60 % от общего времени судопропуска. Какие-либо мероприятия по ускорению движения судов в каналах всегда сопряжены с опасностью столкновения судов.

Повысить безаварийность движения судов на подходах к шлюзу, а также сократить время, затрачиваемое на расхождение судов в подходных каналах можно в том случае, если использовать технические предложения по поперечному перемещению судов (рис. 4.18).

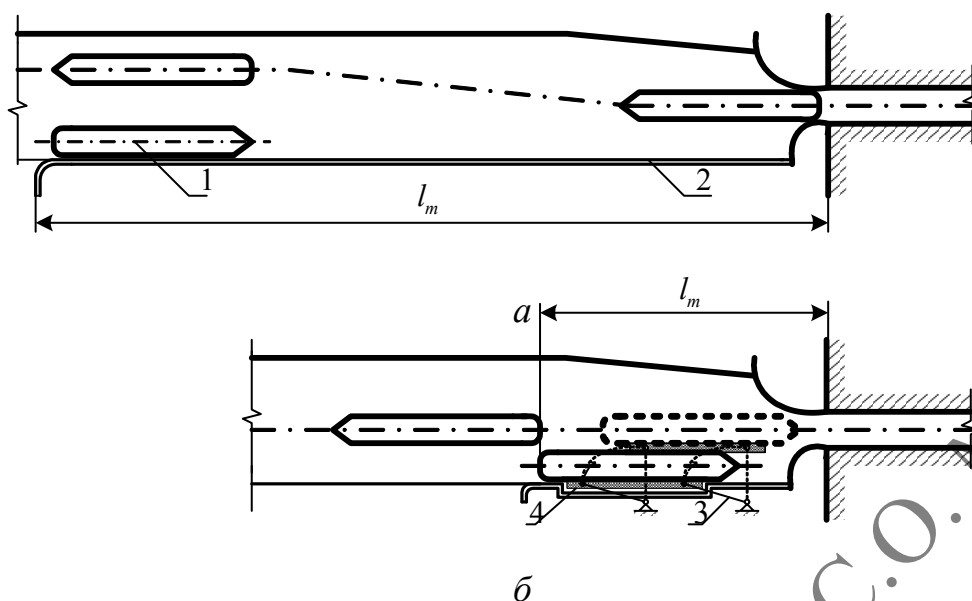


Рис. 4.18. Сравнительная компоновка подходов:
 а — традиционная; б — с использованием причально-наводочного устройства (ПНУ);
 1 — судно, ожидающее шлюзования; 2 — причальная линия;
 3 — направляющие штанги; 4 — понтон; l_m — длина причальной линии

В настоящее время разработаны решения по ряду механических устройств, обеспечивающих вывод судна на ось шлюза. Наилучшим образом отвечает безопасности вывода судна на ось шлюза устройство в виде шарнирно-сочлененного параллелограмма, которое позволяет применить для поперечного перемещения судов гидравлический цилиндр (рис. 4.19).

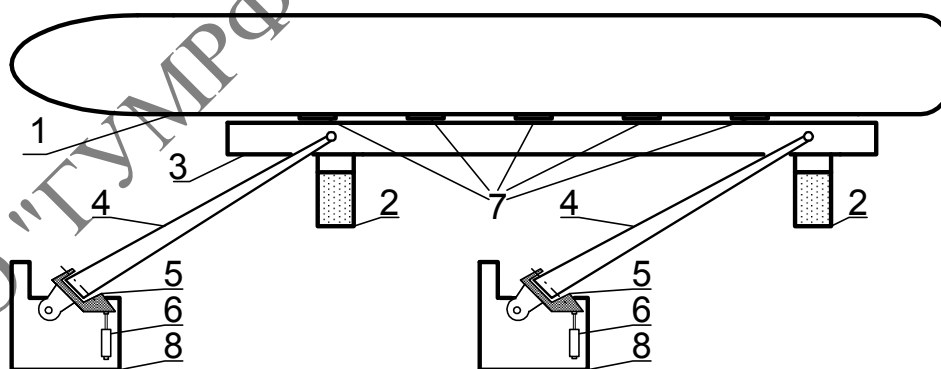


Рис. 4.19. Конструкция ПНУ:
 1 — перемещаемое судно; 2 — опорные устои; 3 — понтон;
 4 — штанги; 5 — треугольное звено; 6 — гидроцилиндры;
 7 — швартовые устройства; 8 — береговые устои

Данное устройство, названное причально-наводочным (ПНУ), состоит из плавучего понтона, сопряженного двумя параллельными штангами

с береговыми устоями. Штанги соединены с понтонами и устоями посредством шарниров с двумя степенями свободы. Судно швартуется к понтонам.

Наряду с ускорением судопропуска, применение ПНУ создает условия для повышения безопасности процесса шлюзования. При этом обязательно следует предусмотреть автоматическую швартовку судна к понтону (и снятие швартовых тросов при выводе судна на ось шлюза). С этой целью могут быть использованы как вакуум-присосы, удерживающие судно за подводный борт, так и падающие швартовые тумбы, автоматически сбрасывающие чалочный канат при выводе судна на ось шлюза. Эффективность автоматизированной швартовки подтверждена результатами натурных исследований на шлюзах Волго-Балтийского и Волго-Донского судоходных каналов.

4.5. Транспортные судоподъемники

Одним из эффективных путей экономии воды при эксплуатации высоконапорных судопропускных сооружений или судоходных соединений через водоразделы рек является использование вместо шлюзов различных типов судоподъемников. Судоподъемник, как правило, имеет подвижную камеру (или тележку), в которой помещается судно на плаву (или насухо). Камера судоподъемника может перемещаться из одного бьефа в другой вертикально или по наклонному пути. В зависимости от этого судоподъемники делят на вертикальные и наклонные. Оригинальным судопропускным сооружением является водоклиновый судоподъемник, в котором перемещается по наклонному каналу не камера, а клин воды с находящимся в нем судном.

В подвижной камере суда транспортируются как на плаву, так и насухо, а на тележках — только насухо. При перемещении на плаву не имеет значения, какое судно находится в камере груженое или порожнее или его совсем нет, так как при постоянном уровне воды в камере *масса камеры с водой не изменяется*. Это позволяет произвести уравнивание камеры судоподъемника. В случае перемещения судов насухо судоподъемник получается более легким и дешевым, однако необходим комплекс мероприятий по предотвращению недопустимых деформаций корпуса, а совершаемая при транспортировке судна таким способом механическая работа зависит от массы судна.

4.5.1. Вертикальные судоподъемники

Для варианта вертикального перемещения судов в камере с обоих концов имеются ворота (рис. 4.20). Сопряжение камеры с верхним или нижним бьефом осуществляется через полушлюзы, в которых также имеются ворота.

Рассмотрим цикл работы такого судоподъемника, например, для подъема судна из нижнего бьефа в верхний. Камера находится в нижнем положении, а пространство между нижними воротами камеры и воротами полушлюза нижнего бьефа заполнено водой. Ворота полушлюза бьефа и камеры открывают и в камеру входит судно. Затем ворота закрывают, удаляют заключенную между ними воду и поднимают камеру до тех пор, пока уровень воды в ней не сравняется с уровнем верхнего бьефа. Для перекрытия зазора между воротами полушлюза верхнего бьефа и торцом камеры, по всему периметру выдвигают уплотнение и заполняют водой пространство между верхними воротами камеры и воротами полушлюза верхнего бьефа, открывают те и другие ворота и выводят судно в бьеф. Спуск судна из верхнего бьефа в нижний бьеф производится по аналогичному алгоритму.

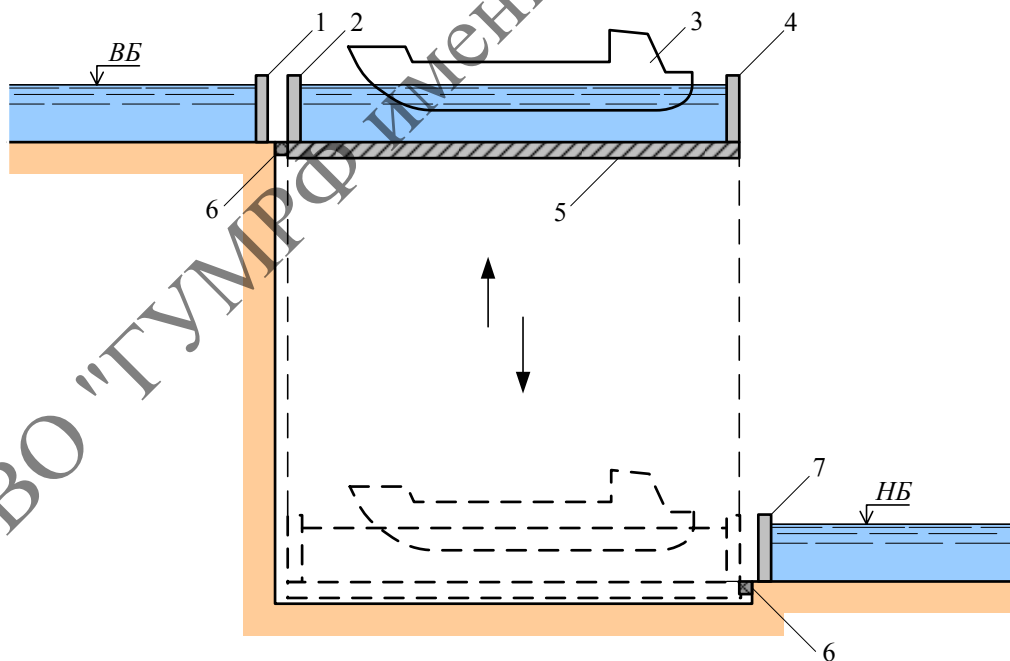


Рис. 4.20. Схема вертикального судоподъемника:

- 1 — ворота полушлюза верхнего бьефа;
- 2, 4 — соответственно верхние и нижние ворота камеры;
- 3 — транспортируемое судно; 5 — камера судоподъемника;
- 6 — контурное уплотнение; 7 — ворота полушлюза нижнего бьефа

Вертикальные судоподъемники по способу уравнивания подвижной части и характерным конструктивным признакам подразделяют на гидравлические (поршневые), поплавковые и механические.

Гидравлический судоподъемник (рис. 4.21) всегда строят парным, т. е. с двумя камерами. Каждая камера опирается на один поршень, который движется в цилиндре. Цилиндры заполнены водой и соединены между собой трубопроводом с установленным на нем затвором. Между поршнем и цилиндром имеется уплотнение. Давление воды в цилиндре, действуя на поршень, уравнивает вес поршня и камеры с водой.

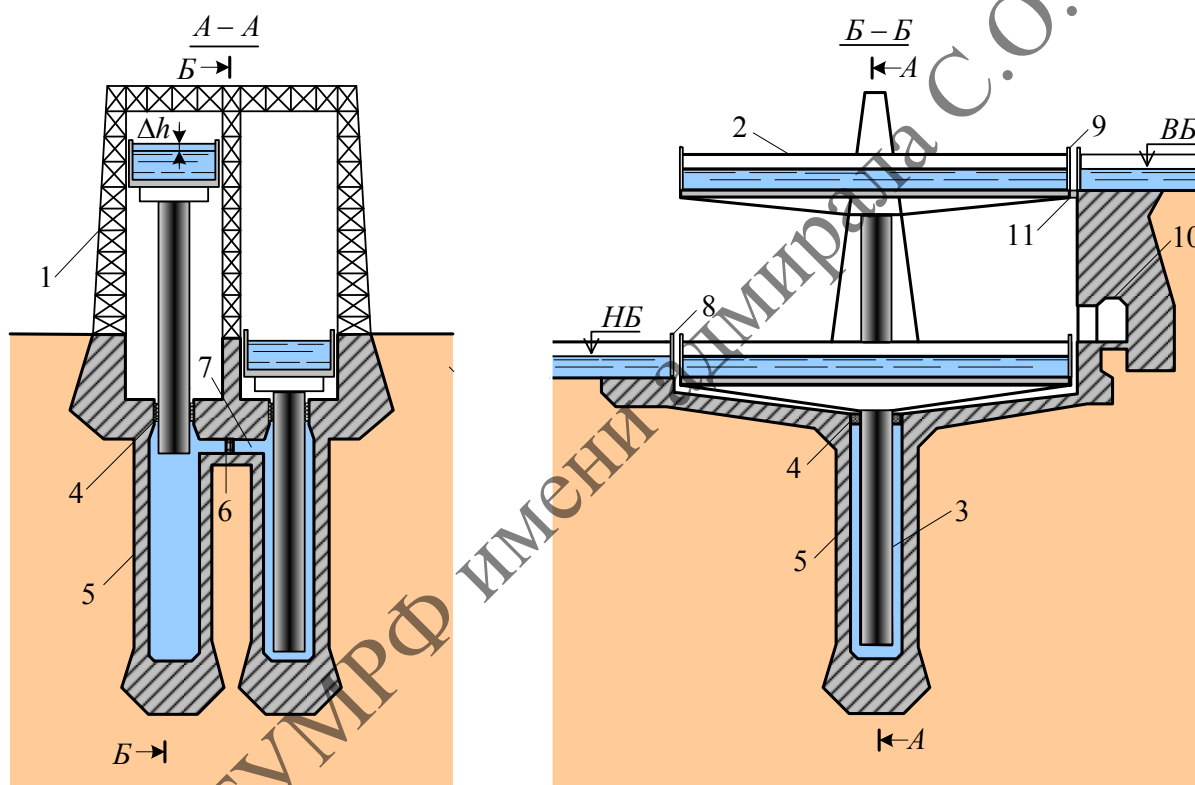


Рис. 4.21. Схема гидравлического судоподъемника:

- 1 — направляющий каркас; 2 — подвижная камера; 3 — поршень;
- 4 — сальниковое уплотнение; 5 — цилиндр (шахта); 6 — затвор на трубопроводе;
- 7 — соединительный трубопровод; 8 — ворота полушлюза бьефа;
- 9 — ворота камеры; 10 — мост канал;
- 11 — уплотнение между камерой и стенкой бьефа

Давление в цилиндре зависит от веса подвижной части судоподъемника и диаметра поршня.

Камеры перемещаются вследствие того, что верхняя из них наполнена водой больше (на значение Δh), чем нижняя. Добавочный слой воды

в верхнюю камеру поступает из верхнего бьефа, после чего уровни воды в камере и бьефе становятся одинаковыми.

При открытии затвора вода начинает перетекать по трубопроводу из одного цилиндра в другой и камеры приходят в движение (одна вниз, другая вверх). После опускания камеры, имеющей водяную пригрузку, лишнюю воду из нее выпускают в нижний бьеф.

Наиболее крупные из построенных судоподъемников этого типа обслуживают суда водоизмещением до 800 т при разности уровней до 20 м.

У поплавкового судоподъемника (рис. 4.22) для уравнивания камеры с водой и поддерживающих ферм вертикальный поплавок погружен в наполненную водой шахту, которая может быть расположена под камерой (чаще всего), сбоку от нее или над ней.

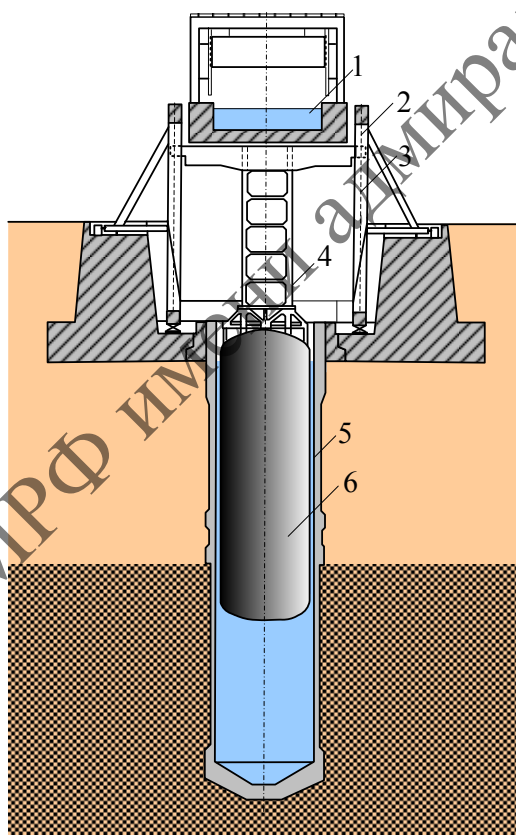


Рис. 4.22. Поплавковый судоподъемник (Ротензее): 1 — подвижная приемная камера; 2 — направляющие конструкции; 3 — ходовой винт; 4 — конструкция, поддерживающая камеру; 5 — шахта; 6 — поплавок

Шахты имеют цилиндрическую форму. Число поплавков и их размеры зависят от подъемной силы. Построенные судоподъемники имеют 2 – 5 поплавков; наибольший диаметр поплавок 10 м, высота 36 м.

Подъемная сила поплавков, всегда погруженных в воду, остается постоянной и равной весу всех подвижных частей, если камера поднята. Почти уравновешенная камера перемещается между направляющими каркасами механизмом, который преодолевает лишь сопротивление движению.

Поплавковый судоподъемник Генрихенбург (*Schiffshebewerk Henrichenburg*) с полезными размерами камеры $93 \times 12 \times 3$ м, построенный в 1962 г. в ФРГ, преодолевает высоту 14,5 м. Он позволяет пропускать суда грузоподъемностью до 1500 т.

Поплавковые судоподъемники нерационально применять для преодоления значительных высот, так как при этом, как правило, возникает необходимость устройства глубоких шахт, что значительно увеличивает стоимость сооружения и усложняет эксплуатацию.

Механический судоподъемник (рис. 4.23) позволяет преодолевать значительную разность уровней бьефов. Камеры в одноподъемнике уравниваются с помощью противовесов. Противовесы не нужны в парных судоподъемниках, так как камеры их, будучи взаимосвязанными (пластинчатыми цепями, стальными канатами), уравнивают друг друга.

Механический судоподъемник в нескольких километрах севернее г. Люнебурга (*Schiffshebewerk Scharnebeck*) был построен в 1976 г. на обводном канале р. Эльба (*Mittellandkanal*), преодолеваемый напор равен 38 м. Размеры камеры $100 \times 12 \times 3,6$ м. Камера перемещается с помощью четырех механизмов (по два с каждой стороны камеры). В каждом механизме имеется звездочка, которая находится в зацеплении с вертикальной цевочной рейкой на каркасе сооружения. От этих механизмов вращаются также четыре вертикальные винта, находящиеся в зацеплении с вертикальными гаечными колоннами и выполняющие функции противоаварийного стопорного устройства.

Каркас судоподъемника выполнен в виде четырех башен, объединенных в рамную систему. Подвижная камера, закрытая с торцов воротами, подвешена с помощью стальных канатов. Канаты перекинуты через блоки диаметром 3,5 м, укрепленные на верху каркаса. К свободным концам канатов подвешены противовесы.

Вертикальная скорость перемещения камеры — 24 см/с, является максимальной для всех построенных типов судопропускных сооружений.

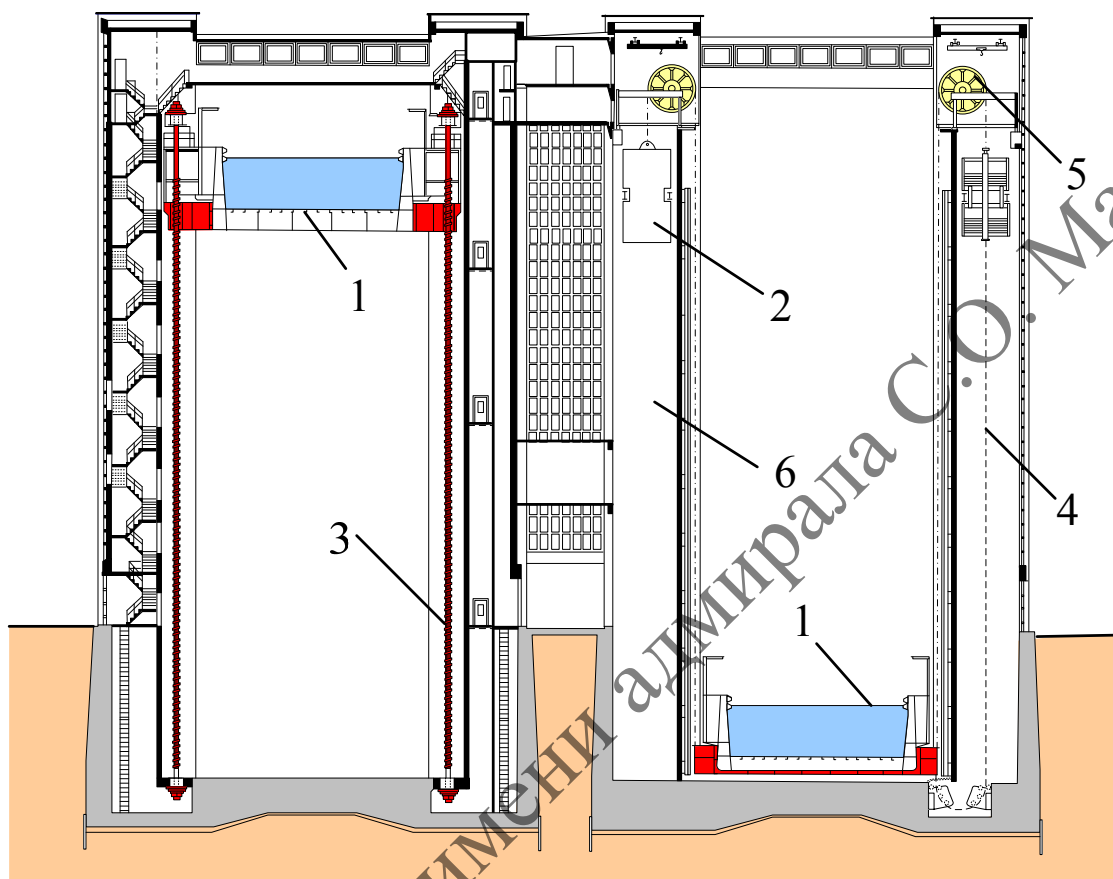


Рис. 4.23. Механический судоподъемник (*Schiffshebewerk Scharnebeck*)

- 1 — подвижная камера; 2 — противовес;
3 — аварийно-стопорное устройство (винт);
4 — уравнивающая цепь; 5 — блок; 6 — башня

В наиболее крупном механическом судоподъемнике Стрепи-Тье (*L'ascenseur funiculaire de Strépy-Thieu*, Бельгия, 2002 г.) полезные размеры камеры $112 \times 12 \times (3,35 - 4,15)$ м, что позволяет пропускать суда грузоподъемностью до 1350 т. Масса камеры с водой — 8000 т. Камера преодолевает разность уровней бьефов 73,15 м за 7 мин.

4.5.2. Наклонные судоподъемники

В том случае, если вертикальная диаметральной плоскость судна совпадает с направлением движения, судоподъемник является продольным, а если перпендикулярна направлению движения — поперечным.

Продольные судоподъемники по форме продольного профиля пути делят на двускатные и односкатные.

Двускатный судоподъемник простейшего типа состоит из колесной тележки, на которой судно поднимается из одного бьефа до гребня сооружения (т. е. до наивысшей точки), преодолевает его, затем спускается во второй бьеф. Тележка перемещается с помощью канатной лебедки.

В таком судоподъемнике маломерные суда перевозят в осушенном состоянии. Для обеспечения при перевозке горизонтальности положения судна, рельсы для передних и задних колес тележки располагают на разных уровнях (рис. 4.24) или применяют косяковые тележки клиновидной формы (рис. 4.25). В последнем случае на каждом скате пути располагают самостоятельную косяковую тележку и перемещают судно на гребне путей с одной косяковой тележки на другую.

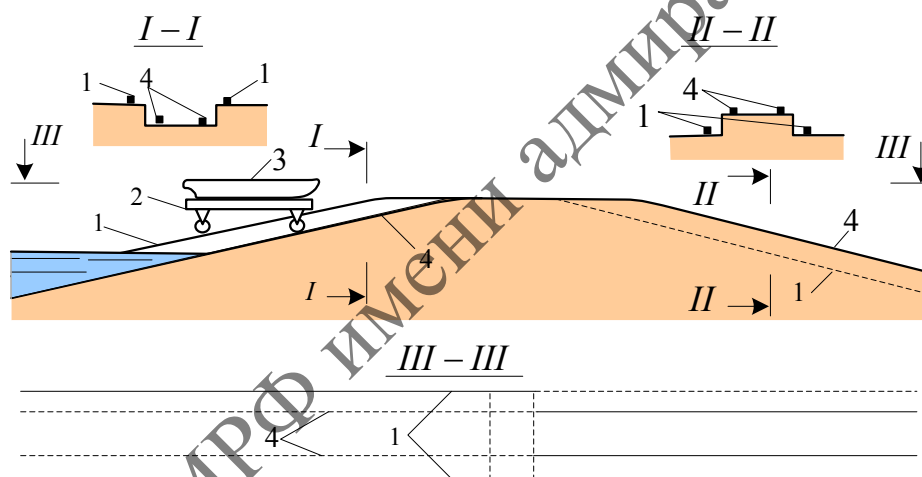


Рис. 4.24. Наклонный продольный двускатный судоподъемник для маломерных судов с путями на двух уровнях:
1, 4 — судовозные пути; 2 — тележка; 3 — судно

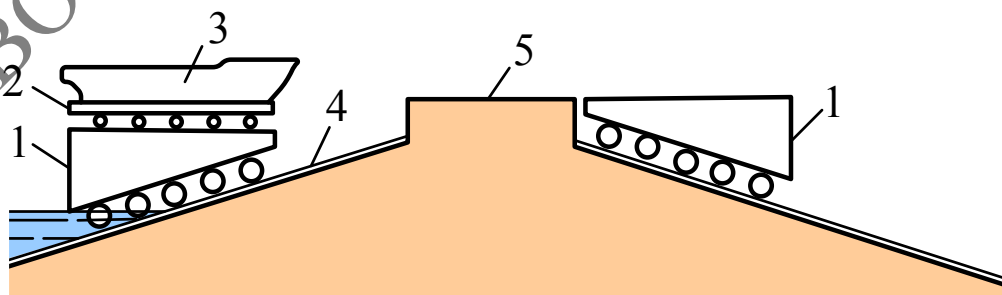


Рис. 4.25. Наклонный продольный двускатный судоподъемник для маломерных судов:
1 — косяковая тележка; 2 — тележка для передачи судна с одного склона на другой;
3 — судно; 4 — судовозный путь; 5 — разделяющая опора

Крупнотоннажные суда перемещают в камере с водой (например, на судоподъемнике Красноярского гидроузла). Самый крупный в мире двухскатный наклонный судоподъемник построен в составе Красноярского гидроузла на р. Енисее (рис. 4.26). Судоподъемник с поворотным устройством 1 и пультом управления 2, с самодвижущейся судовозной камерой 3 был спроектирован в соответствии с особенностями створа гидроузла: значительным (до 100 м) перепадом воды между бьефами, большими амплитудами колебаний уровней в бьефах (в верхнем — 13 м, в нижнем — 6,3 м). Судходный шлюз в таких условиях имел бы недопустимо большой расход воды на шлюзование и был бы чрезвычайно дорогим сооружением с недостаточной пропускной способностью.

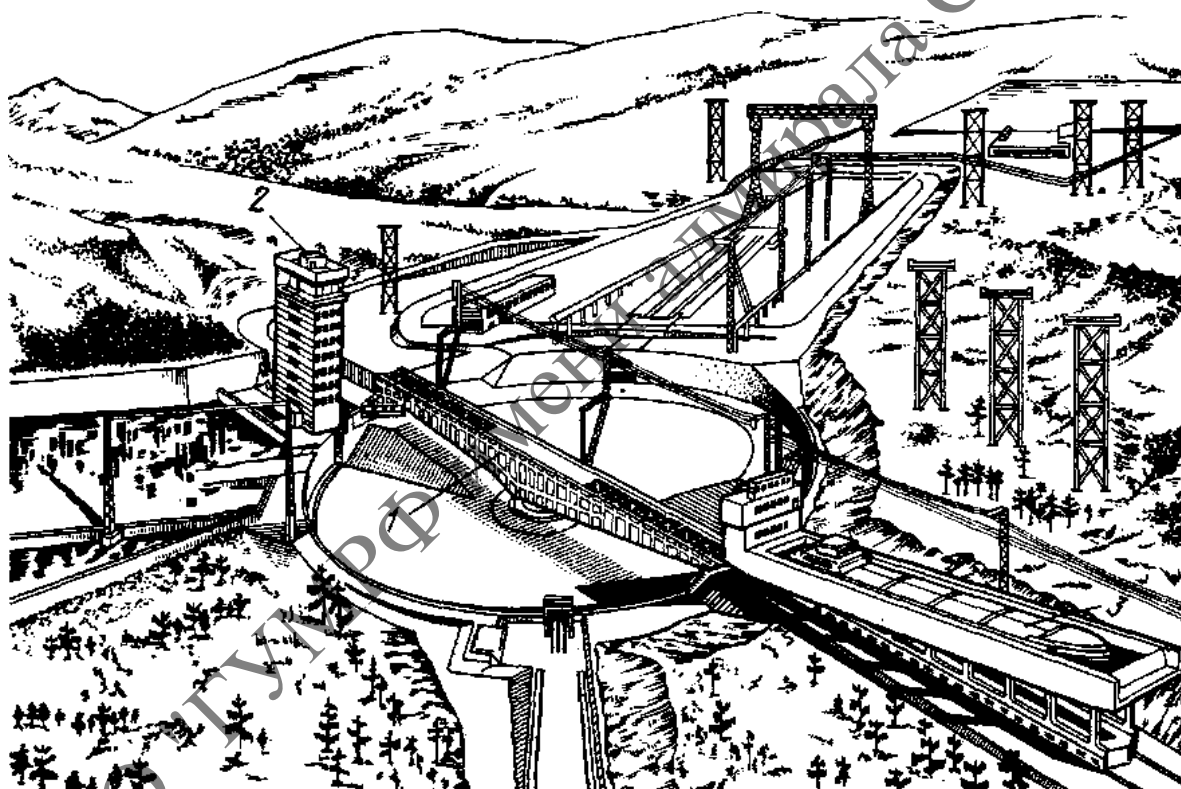


Рис. 4.26. Красноярский судоподъемник

Суда перевозятся из бьефа в бьеф на плаву (рис. 4.27). Общая масса судовозной камеры с водой и перевозимым в камере судном 6720 т, длина камеры 108,2 м, ширина 26,5 м. Один из торцов камеры глухой, другой, через который заходят (выходят) в камеру суда, перекрыт сегментными воротами. Судовозная камера оборудована устройством для механической заводки судов и швартовными приспособлениями.

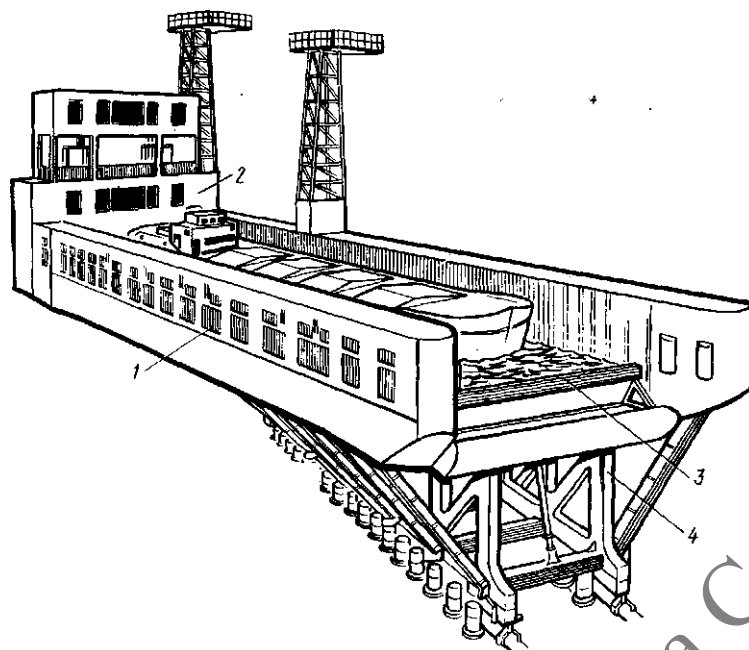


Рис. 4.27. Судовозная камера Красноярского судоподъемника:

- 1 — насосное отделение; 2 — торцовое помещение;
3 — сегментные ворота; 4 — косяковая часть камеры

Суда транспортируются следующим образом. Заполненная водой судовозная камера по наклонным путям спускается в нижний бьеф до положения, при котором уровни воды в камере и бьефе совпадают. После полной остановки камеры в ее входном торце опускаются сегментные ворота, открывая вход заходящему судну. После учалки судна ворота закрываются. На верхнем участке низового судовозного пути камера накатывается на наклонную балку поворотного устройства. В этот момент рельсы на балке поворотного устройства являются как бы продолжением тех судовозных путей, к которым балка в данный момент примыкает.

Вслед за этим балка поворотного устройства вместе с камерой делает разворот в плане на угол 142° , и в конце поворота ее направление совпадает с осью верховых судовозных путей. После разворота судовозная камера поворачивается входным торцом в направлении предстоящего спуска и начинает движение. При достижении верхнего бьефа и совпадении уровней воды в камере и водохранилище ворота открываются и судно выходит.

Односкатный судоподъемник (рис. 4.28) с перемещением судов на плаву необходимо отделять от верхнего бьефа напорным сооружением.

При больших колебаниях бьефа (верхнего или нижнего) напорное сооружение выполняют в виде шлюза, а при малых колебаниях — полушлюза.

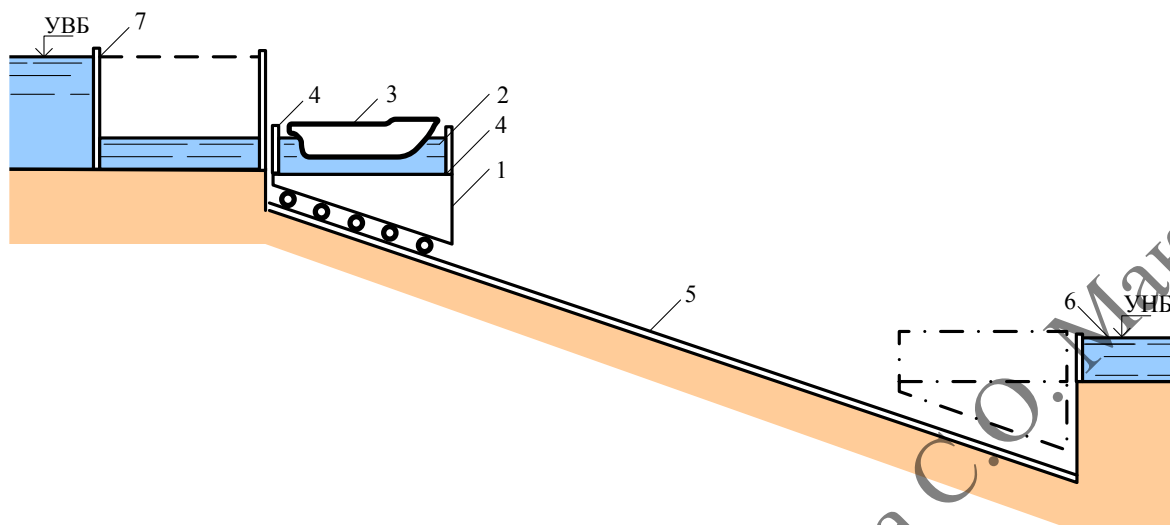


Рис. 4.28. Наклонный продольный судоподъемник: 1 — косяковая тележка; 2 — камера с водой; 3 — судно; 4 — ворота камеры; 5 — судовозные пути; 6 — полушлюз в нижнем бьефе; 7 — шлюз в верхнем бьефе

Таким образом, камера судоподъемника движется на всем протяжении по сухому пути и может быть достаточно точно уравновешена.

К подобным сооружениям относится парный судоподъемник Ронкьер (*Ronquiures sur le canal de Charleroi*, Бельгия, 1968 г.) с двумя полушлюзами. Судоподъемник позволяет преодолевать разность уровней бьефов 68 м судам грузоподъемностью 1650 т. Две наполненные водой камеры длина $91 \times 12 \times (3 - 3,7)$ м работают независимо одна от другой. Камеры установлены на косяковых тележках, которые перемещаются по путям, уложенным с уклоном 1:20, при помощи канатного механизма, состоящего из нескольких лебедок с противовесами.

Поперечные судоподъемники применяют для преодоления судами большой разности уровней бьефов при значительных уклонах берегов. В этом случае низовой конец косяковой тележки должен иметь большую высоту, а, следовательно, требуется большая глубина заложения путей в месте примыкания к нижней голове.

Наиболее крупный поперечный наклонный судоподъемник Арзвиль на канале Рейн-Марна (*St Louis-Arzviller Inclined Plane Canal de La Marne au Rhin, Alsace-Lorraine*, Франция, 1969 г.), позволяет преодолевать судам

грузоподъемностью 350 т разность уровней бьефов 44,5 м. Размеры камеры 42,5×5,5×2,5 м, вес с водой — 900 т. Судоподъемник парный уравни-
вешенный, камеры на косяковых тележках перемещаются по двум судо-
возным путям, имеющим уклон 1:2,44.

Конструкция водоклинового судоподъемника (рис. 4.29) довольно не-
обычна. Если шлюз состоит из неподвижной камеры, а вертикальные и
наклонные судоподъемники имеют передвижную камеру, то водоклиновый
судоподъемник не имеет камеры вообще, а представляет собой наклонный
канал прямоугольного или трапецеидального поперечного сечения, по кото-
рому заслонкой (щитом) перемещается призма воды, на поверхности кото-
рой находится транспортируемое судно. Оптимальный уклон дна канала со-
ставляет 2 – 5 %, а наибольший напор технически не ограничен.

Судоподъемник работает одновременно только в одном направлении.
Время пропуска регулируется скоростью движения тягача, перемещающего
щит. При перепаде уровней 100 м пропуск судна занимает около 25 мин.
Поступательное перемещение судна вдоль пути и его подъем во времени
совмещены, так как у водоклинового судоподъемника нет остановок при
вертикальном перемещении судна, как в шлюзах и иных судоподъемниках.

Во Франции построены два судоподъемника подобного типа. Пер-
вый — у г. Монтеш (*Pente d'eau de Montech*) пропускает суда водоизмеще-
нием до 400 т, которые преодолевают напор 13 м. Второй — в Фонсеранне
(*Pente d'eau Fonsérannes*) на канале де-Миди имеет перепад уровней 13,6 м.

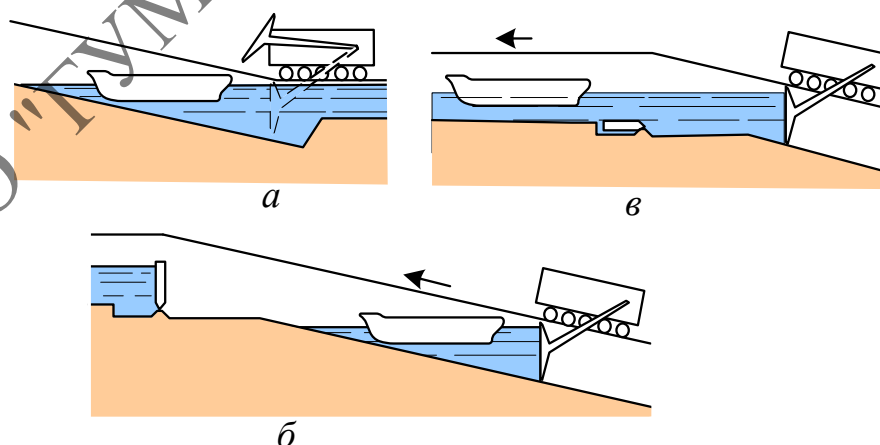


Рис. 4.29. Последовательность операций при пропуске судна
через водоклиновый судоподъемник:

а — ввод судна с нижнего бьефа в водяной клин; б — перемещение судна вверх;
в — выход судна в верхний бьеф

Преимуществами водоклинового судоподъемника являются, во-первых, возможность регулирования объема сливной призмы в зависимости от водоизмещения перемещаемых судов, в то время как сливная призма шлюзов неизменна, и, во-вторых, водоклиновый судоподъемник обеспечивает стабильность уровней воды в верхнем и нижнем бьефах. Кроме того, в шлюзах при больших напорах резко возрастает время шлюзования, тогда как для водоклинового судоподъемника удлинение канала при увеличении напора не изменяет характера его работы.

При напоре до 15 м шлюз несколько экономичнее водоклинового судоподъемника, однако при перепаде уровней 50 м содержание такого судоподъемника в 3 раза дешевле содержания шлюза.

Библиографический список к разделу 4

1. Гарибин П. А. Речные судоходные шлюзы: учеб. пособие / П. А. Гарибин, А. М. Гапеев. — СПб.: СПбГПУ, 2002. — 104 с.
2. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87: СП 101.13.330. 2012. — М., 2012. — 69 с.
3. Дегтярев В. В. Охрана окружающей среды: учеб. пособие. — М.: Транспорт, 1989. — 208 с.
4. Семанов Н. А. Судоходные каналы, шлюзы и судоподъемники / Н. А. Семанов, Н. Н. Варламов, В. В. Баланин. — М.: Транспорт, 1970. — 352 с.
5. Михайлов А. В. Судоходные шлюзы / А. В. Михайлов. — М.: Транспорт, 1966. — 528 с.
6. Качановский Б. Д. Гидравлика судоходных шлюзов / Б. Д. Качановский. — М.; Л.: Речиздат, 1951. — 271 с.
7. Гарибин П. А. История гидротехники. Морские порты и водные пути России: учеб. пособие / П. А. Гарибин, М. Е. Миронов. — СПб.: ООО «ИПК» ИНТАН», 2006. — 192 с.
8. Гарибин П. А. Инженерные сооружения водного туризма и спорта. Речные судоходные шлюзы: учеб. пособие / П. А. Гарибин, С. А. Головков. — СПб.ГПУ. — СПб., 2009. — 132 с.

Раздел 5. Порты и портовые гидротехнические сооружения

5.1. Компоновка порта и оградительные сооружения

Одной из важнейших составляющих водной транспортной системы, обеспечивающей ее нормальную работу, являются порты.

Современный порт — крупный транспортный узел с комплексом сооружений и устройств, обеспечивающих спокойную стоянку судов, быструю и удобную передачу грузов и пассажиров с одного вида транспорта на другой, хранение, комплектацию грузов, а также обеспечение находящихся в порту судов всем необходимым.

Территория порта — участок суши, на котором располагается береговое хозяйство: сооружения, здания, дороги, устройства и оборудование, коммуникации. Портовую территорию условно разделяют на прикордонную и тыловую.

Прикордонная территория (примыкающая к кордону) используется для размещения перегрузочных машин, прикордонных железнодорожных путей, автомобильных проездов, открытых складских площадок.

В *тыловой части территории* порта размещаются крытые склады и открытые складские площадки, склады материально-технического и продовольственного снабжения, различные подсобные предприятия порта, мастерские, гаражи, служебные и административные здания.

Там, где это необходимо по природным условиям, портовую акваторию защищают от воздействия волнения оградительными сооружениями — молами и волноломами. *Молами* называются сооружения, примыкающие к берегу или к искусственно созданной территории порта, *волноломами* — сооружения, не соединяющиеся с берегом (рис. 5.1).

По расположению оградительных сооружений порты могут быть отнесены к следующим типам:

- порты без оградительных сооружений с естественной защитой, расположенные в бухтах или устьях рек, в закрытых или открытых бассейнах (рис. 5.1, а, б, в);

– порты, расположенные в бухтах, с дополнительной защитой одиночными молами и волноломами (рис. 5.1, з, д);

– порты на открытых побережьях, защищенные системой волноломов и молов (рис. 5.1, е – к).

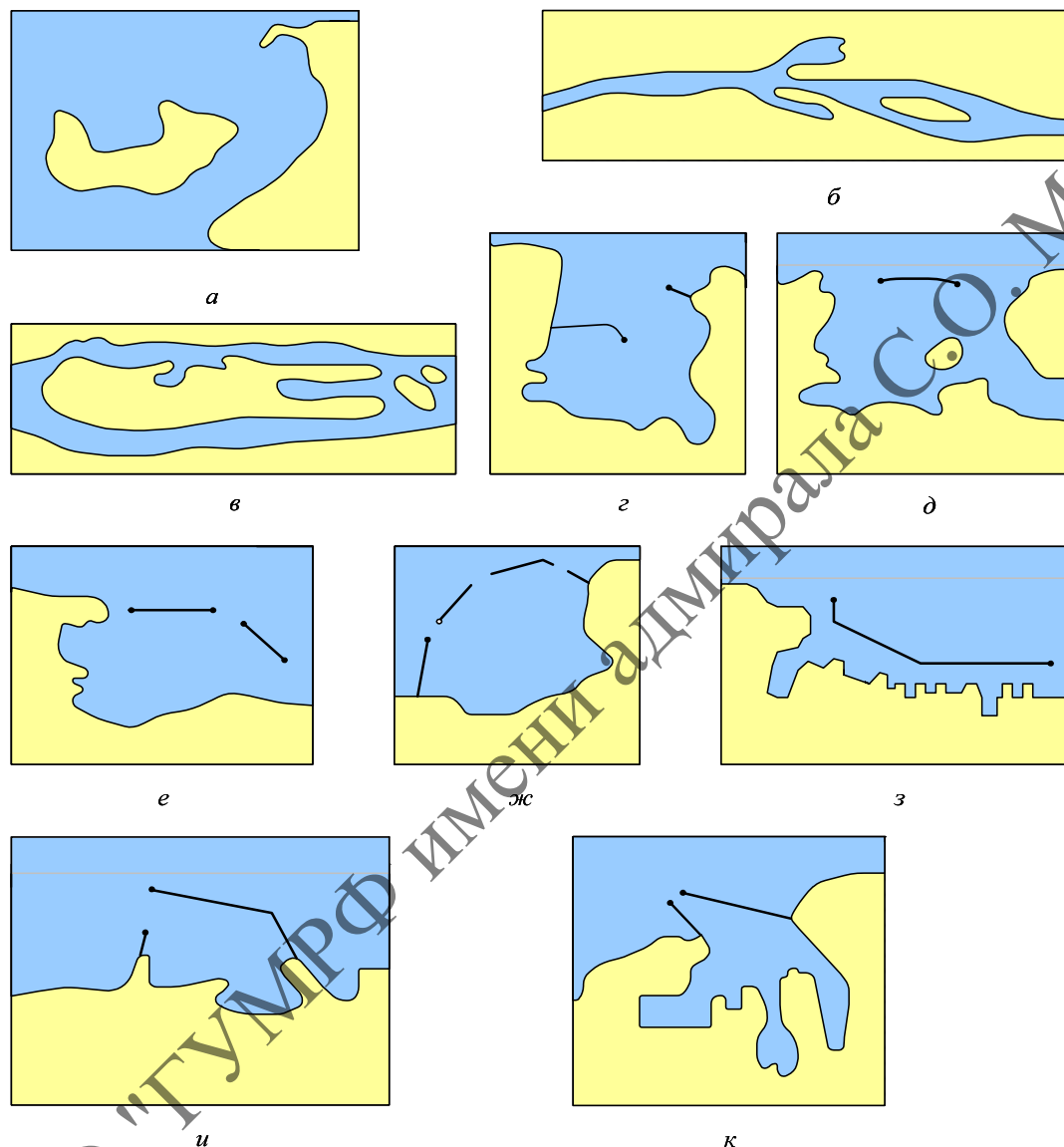


Рис. 5.1. Схемы ограждений акватории порта:
а – в — порты без оградительных сооружений;
з, д — порты в бухте с одиночным молем, волноломом;
е – к — порты в бухте, огражденные системой волноломов и молов

По расположению оградительные сооружения делятся на внешние и внутренние. Первые предназначены для защиты акватории порта от проникновения со стороны моря волнения, течений, наносов и движущегося льда. Иногда внешние оградительные сооружения строятся для защиты

подходных каналов от заносимости (оградительные дамбы). Внутренние; оградительные сооружения возводятся на акватории порта, отделяя одну ее часть от другой, и служат для предотвращения образования волн на самой акватории или для ограждения от волнения бассейнов специального назначения, например, нефтегаваней.

По принципу гашения энергии волнения оградительные сооружения делятся на сплошные (в виде стенок), сквозные, плавучие, пневматические и гидравлические.

Сплошные стенки по форме поперечного сечения бывают вертикального, откосного и смешанного профиля (рис. 5.2).

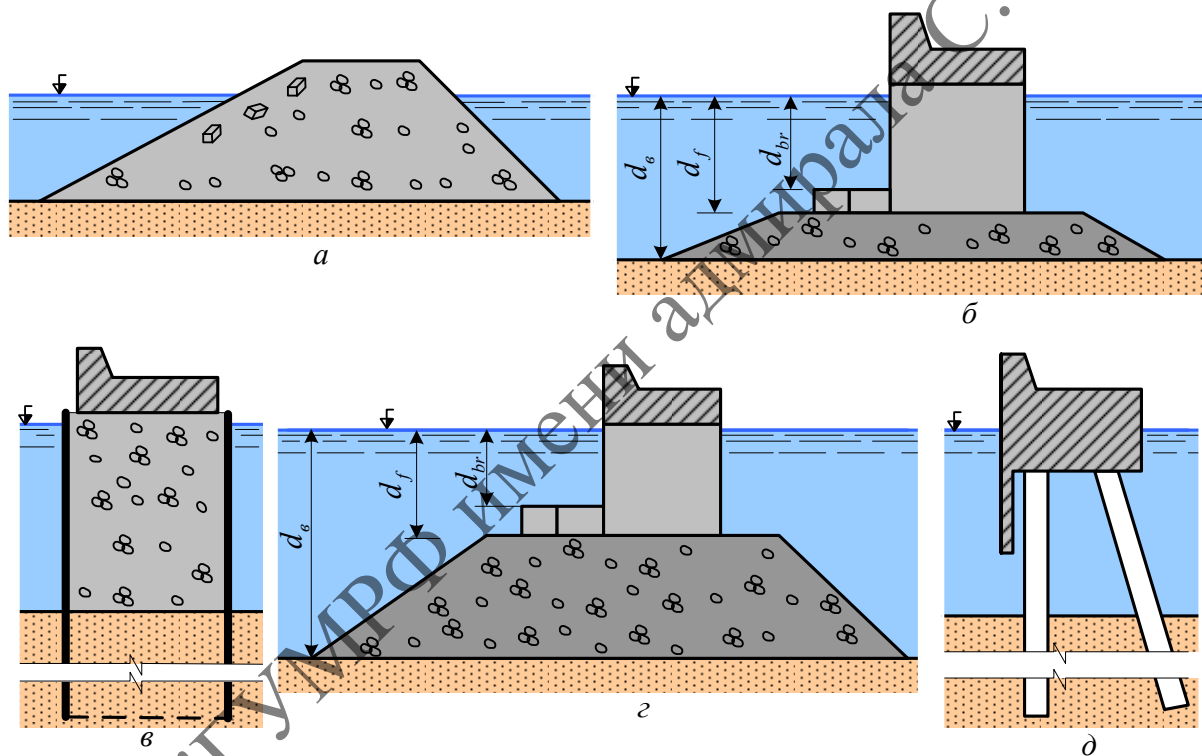


Рис. 5.2. Поперечные профили оградительных сооружений:
а — откосный; б, в — вертикальные; г — смешанный; д — сквозного типа

Оградительные сооружения вертикального типа в свою очередь могут быть гравитационными и свайными. Устойчивость гравитационных сооружений обеспечивается благодаря силам трения, развивающимся по контакту сооружения с основанием. В связи с тем, что силы трения пропорциональны массе сооружения, можно считать, что устойчивость на опрокидывание и сдвиг гравитационных сооружений от волны обеспечивается их собственной массой.

Ограничением к применению откосных сооружений являются: большая занимаемая ими площадь по дну; невозможность использования их в качестве причала; высокая стоимость при больших глубинах; трудность получения камня необходимой крупности. В последнее время сооружения откосного профиля находят преимущественное распространение в связи с применением фасонных массивов различного типа.

Сквозные конструкции преграждают путь волновому воздействию только в верхней части водной среды. Возможность применения такой конструкции основывается на том, что 98 % волновой энергии сосредоточено в приповерхностном слое водной.

Плавучие оградительные сооружения используют свойства плавающих на поверхности водной среды тел гасить волны. В последнее время плавучие оградительные сооружения стали применяться чаще, так как они успешно могут использоваться на больших глубинах, где сооружение стационарных волноломов технически невозможно.

Применение плавучих оградительных сооружений целесообразно также для организации временной защиты от волнения отдельных участков. Плавучие оградительные сооружения, как и сквозные конструкции, перекрывают путь волнению в верхних слоях водной среды и состоят из плавучего волногасящего элемента и якорных систем.

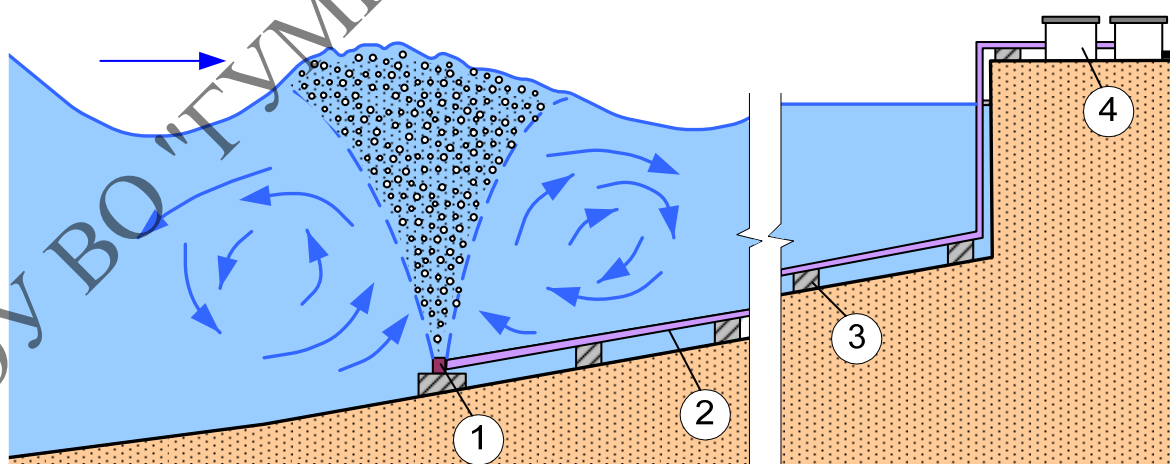


Рис. 5.3. Принципиальная схема пневматического волнолома:
1 — рабочий трубопровод; 2 — магистральный трубопровод;
3 — опорные устройства для трубопроводов;
4 — компрессорная станция

Пневматические и гидравлические оградительные сооружения основаны на принципе гашения волн водовоздушной завесой, которая образуется от нагнетания воздуха в подводный трубопровод снабженный отверстиями, находящимися на определенном расстоянии одно от другого по длине трубы, или водяной струей, вытекающей из аналогичного трубопровода, расположенного близко к поверхности воды.

Пневматический волнолом (рис. 5.3) отличается невысокой строительной стоимостью (его строительство практически не зависит от глубины воды и от свойств грунта дна), быстрота и простота возведения, возможность пропуска судов над собой и т. п. Однако его работа эффективна лишь при крутых коротких волнах, редко встречающихся в морских условиях.

Гидравлический волнолом представляет собой установку, искусственно создающую встречное поверхностное течение, разрушающее волны. Один из вариантов такой установки представляет собой протянутый вдоль линии ограждения у поверхности воды трубопровод (опирающийся на стационарные или плавучие опоры) с боковыми насадками, через которые выбрасываются горизонтальные струи воды. Эффективная работа гидравлического волнолома происходит только при коротких крутых волнах.

5.2. Классификация и конструктивные формы причальных сооружений

Причальными называются гидротехнические инженерные сооружения, предназначенные для стоянки судов при перегрузочных операциях, с целью их снабжения, отстоя и ремонта, а также для швартовки вспомогательного и технического флота. Существуют различные признаки, по которым классифицируются причальные сооружения.

По расположению в плане различают (рис. 5.4):

- набережные;
- пирсы (широкие и узкие);
- рейдовые причалы.

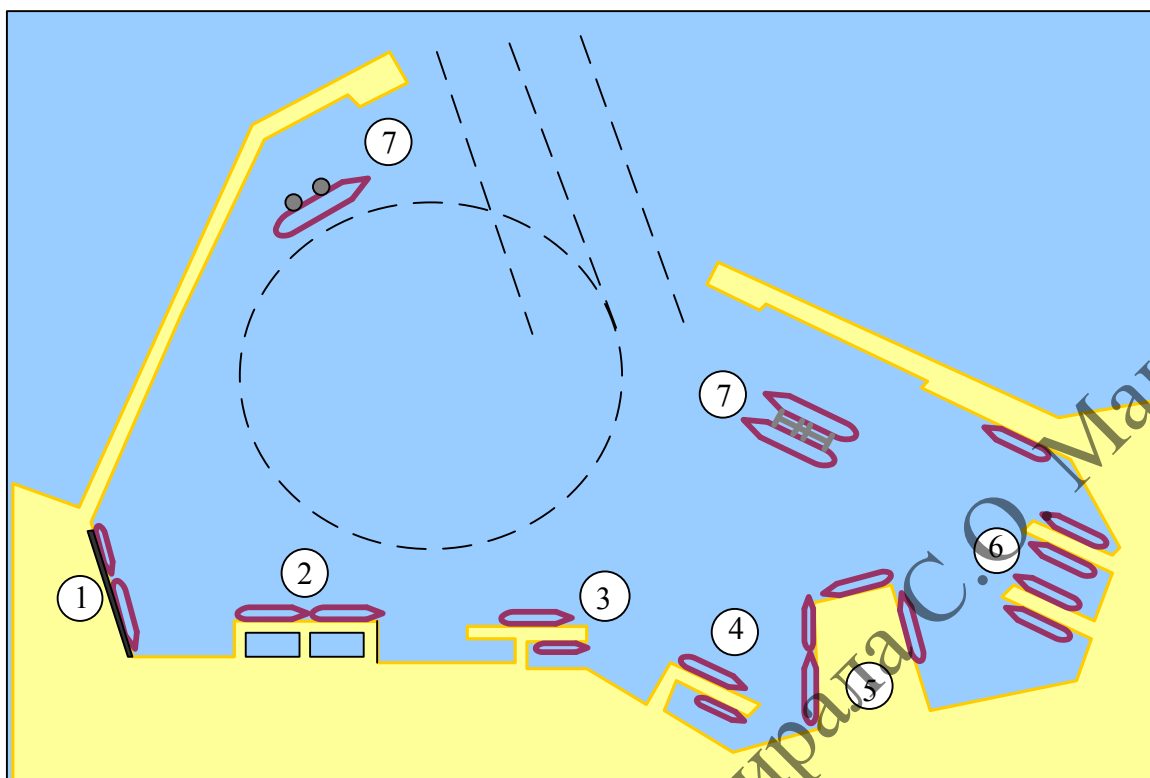


Рис. 5.4. Классификация причальных сооружений по расположению в плане:

- 1 — набережная стенка; 2 — набережная эстакада со съездами;
3, 4 — набережная эстакада с одним съездом (Т-образный и Г-образный пирс);
5 — широкий пирс; 6 — узкие пирсы; 7 — рейдовые причалы

Набережные — причальные сооружения, примыкающие к берегу и расположенные вдоль уреза воды. По признаку восприятия бокового давления грунта различают:

- набережные-стенки — распорные сооружения, включающие в свою конструкцию сплошную стенку и воспринимающие боковое давление (распор) грунта со стороны берега;

- сквозные набережные или набережные-эстакады — безраспорные сооружения, возводимые на откосе берега так, что боковое давление (распор) грунта на конструкцию практически исключается.

Сквозные набережные могут примыкать к берегу по всей своей длине или располагаться на некотором удалении от берега и соединяться с ним съездами.

Для приема судов с большой осадкой впереди набережных стенок иногда устраивают сквозные сооружения, получившие название оторочек. Оторочка верхним строением примыкает к набережным.

Пирсы — причальные сооружения, выступающие от берега на акваторию порта под некоторым, часто прямым, углом к урезу воды и допускающие швартовку судов с обеих сторон. *Широкие пирсы* представляют собой участки территории шириной обычно 100 – 250 м, выступающие на акваторию и оконтуренные по периметру набережными. Широкие пирсы строятся, как правило, в торговых портах. *Узкие пирсы* шириной обычно 10 – 20 м имеют форму эстакад и наиболее часто строятся в пунктах базирования.

Рейдовые причалы — причальные сооружения, расположенные на расстоянии от берега, в том числе на внутреннем или внешнем рейде. Рейдовые причалы возводятся на значительных глубинах для обслуживания судов большого водоизмещения. Они имеют, как правило, *сквозную конструкцию*, воспринимающую небольшое волновое давление. Конструктивной частью рейдовых причалов нередко являются палы — отдельно стоящие опоры, предназначенные для восприятия горизонтальных нагрузок от судов при швартовке и стоянке. Распространены рейдовые причалы в виде плавучих буйев (*бочек*), закрепленных с помощью якорных систем. С берегом рейдовые причалы могут связываться подводными трубопроводами, подвесными канатными дорогами, конвейерными эстакадами, по которым транспортируются грузы.

В последнее время, в основном для обслуживания морских месторождений нефти и промышленных комплексов по ее переработке, проектируются и строятся островные порты — крупные портовые комплексы на искусственных островах.

В зависимости от работы конструкции по обеспечению устойчивости различают причальные сооружения: гравитационные, свайного типа, смешанного типа, специального типа, плавучие на якорях.

Сооружения гравитационного типа — причальные сооружения, устойчивость которых на сдвиг, опрокидывание и пр. обеспечивается их собственным весом. Конструкции гравитационных сооружений весьма разнообразны. К ним относятся набережные-стенки из:

- кладки массивов (рис. 5.5);
- массивов-гигантов (рис. 5.6);
- уголкового типа (рис. 5.7);
- оболочек большого диаметра (рис. 5.8);
- ряжей (рис. 5.9).

Основными конструктивными элементами гравитационных сооружений являются:

- искусственное основание (*постель*);
- подводная стенка;
- надводная часть (*надстройка*).

С тыловой стороны стенки может отсыпаться каменная призма, уменьшающая боковое давление грунта. Широкое распространение получили гравитационные набережные из оболочек большого диаметра (до 10 м и более), заполняемые песком или гравием. Возводятся сборные железобетонные уголкового причалы из горизонтальных (фундаментных) и вертикальных (лицевых) панелей. Гравитационные сооружения нередко выполняются в виде *мостовых конструкций*, состоящих из отдельных гравитационных опор, соединенных пролетными строениями.

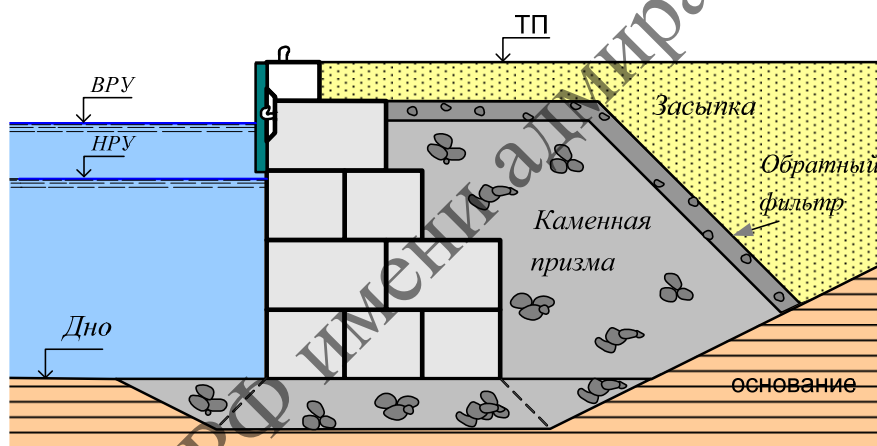


Рис. 5.5. Набережная стенка из кладки массивов

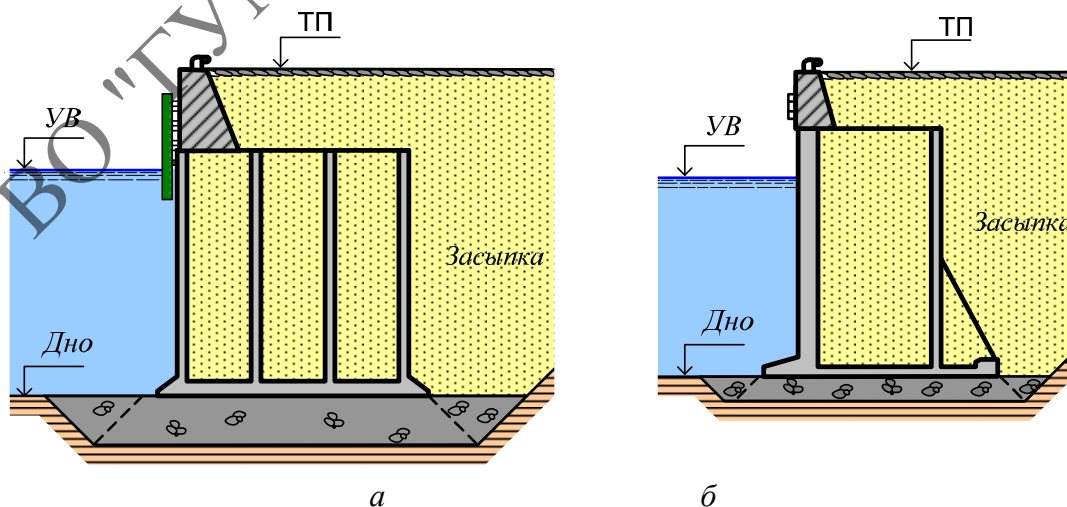


Рис. 5.6. Набережные из массивов-гигантов:

а — симметричного профиля; б — несимметричного профиля

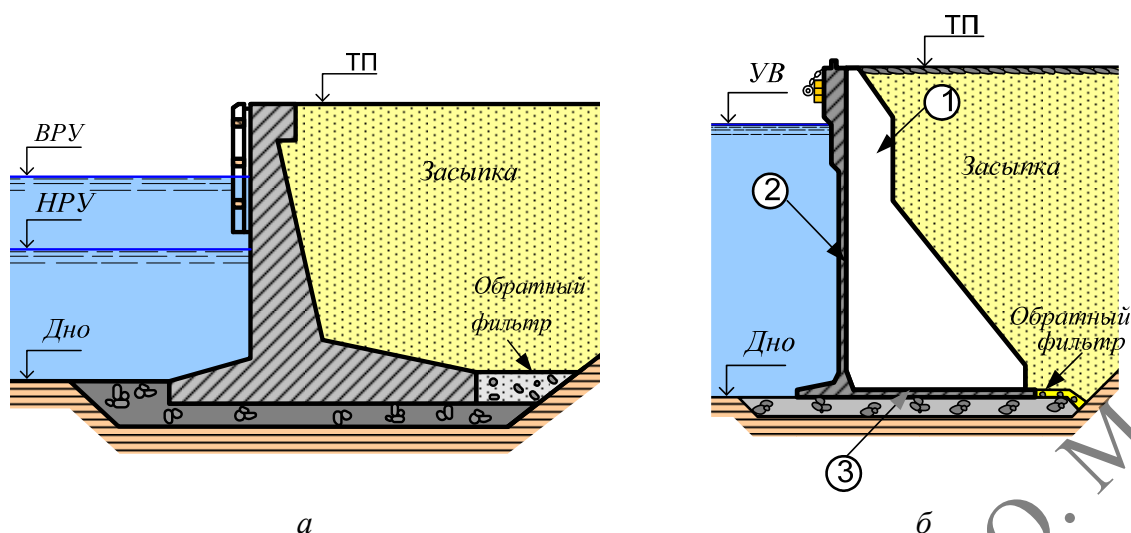


Рис. 5.7. Монолитные набережные углового типа:
 а — монолитные; б — контрфорсные.
 1 — контрфорс; 2 — лицевая плита; 3 — фундаментная плита

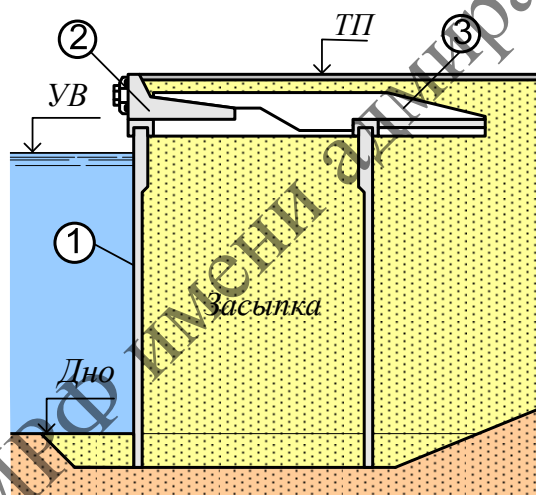
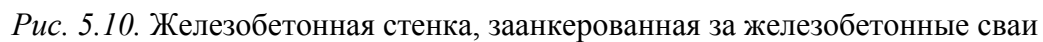
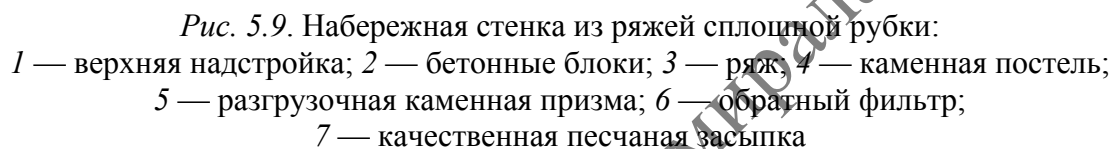


Рис. 5.8. Подпорная стенка из колодцев оболочек:
 1 — круглая железобетонная оболочка; 2 — надстройка; 3 — разгружающая консоль

Сооружения свайного типа — причальные сооружения, прочность и устойчивость которых обеспечивается несущей способностью свай, погруженных в грунт дна. Основными конструктивными формами причальных сооружений свайного типа являются:

- бoulderки — сооружения в виде тонкой стенки (рис. 5.10, 5.11);
- набережные — стенки с высоким свайным ростверком и передней (рис. 5.12) или задней (рис. 5.13) шпунтовой стенкой;
- сквозные сооружения (рис. 5.14).



157

заанкерованными. Больверки в основном выполняются из металлических, реже железобетонных шпунтовых свай со специальными соединениями (замками), обеспечивающими грунтонепроницаемость.

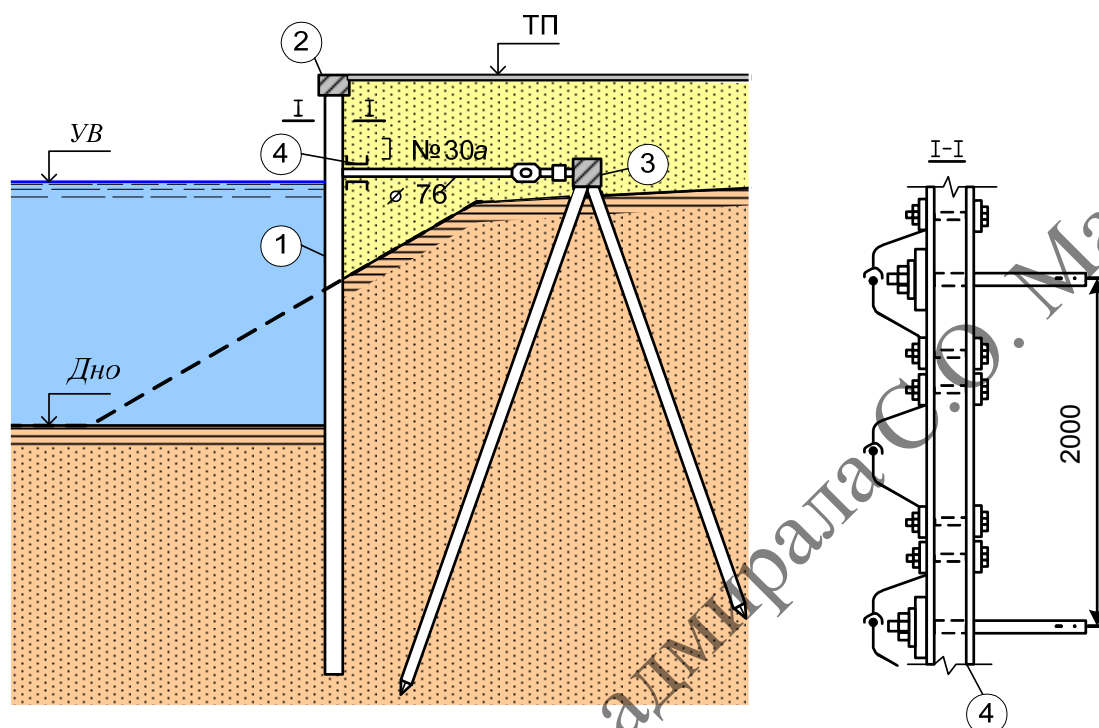


Рис. 5.11. Стальная одноанкерная стенка с козловыми опорами из железобетонных свай

Набережные — стенки с высоким свайным ростверком и передней или задней шпунтовой стенкой — сооружения, состоящие из сплошной свайной стенки, рядов вертикальных и наклонных свай и верхнего строения — ростверка. Сплошная свайная стенка может устраиваться с лицевой стороны сооружения (*передний шпунт*) или с тыловой стороны (*задний шпунт*).

Сквозные сооружения — свайные сооружения, конструкция которых не содержит сплошных свайных стенок. Такие сооружения или полностью безраспорные, или воспринимают незначительное боковое давление грунта. В конструктивном отношении сквозные сооружения могут быть эстакадного или мостового типа. Различают (см. рис. 5.4):

- набережные эстакады, примыкающие к берегу по всей своей длине (рис. 5.14, 5.15) или набережные эстакады со съездами;
- пирсы — эстакады сквозной конструкции (рис. 5.16).

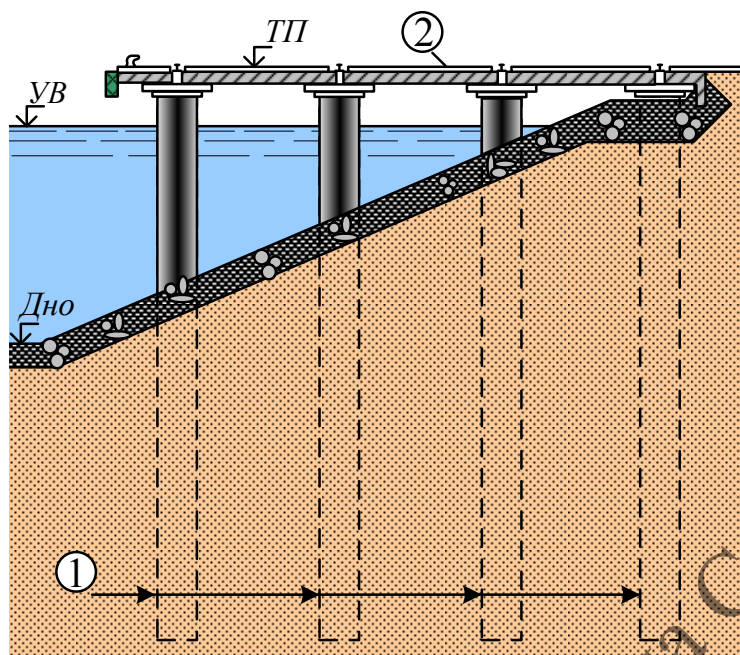


Рис. 5.14. Эстакада на сваях-оболочках с верхним строением в виде плит:
1 — железобетонные сваи оболочки; 2 — верхнее строение

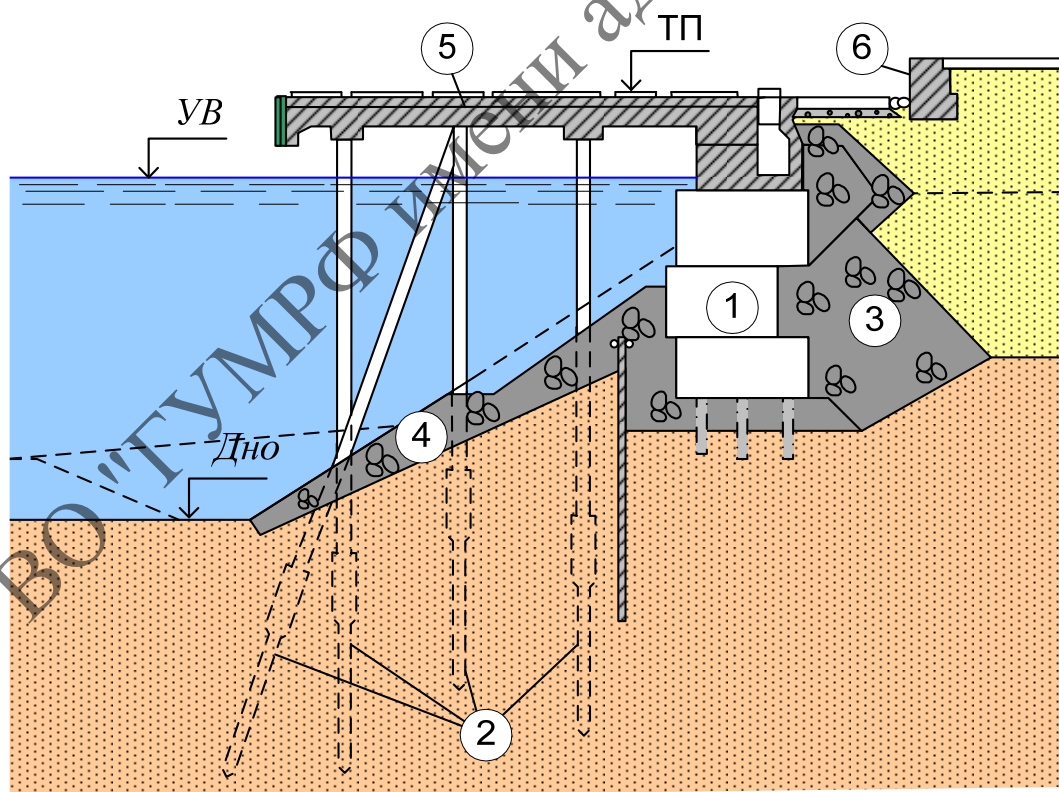


Рис. 5.15. Оторочка на железобетонных сваях:
1 — старая набережная; 2 — железобетонные призматические сваи;
3 — каменная разгрузочная призма; 4 — покрытие подпричального откоса;
5 — ригель; 6 — сопрягающая стенка

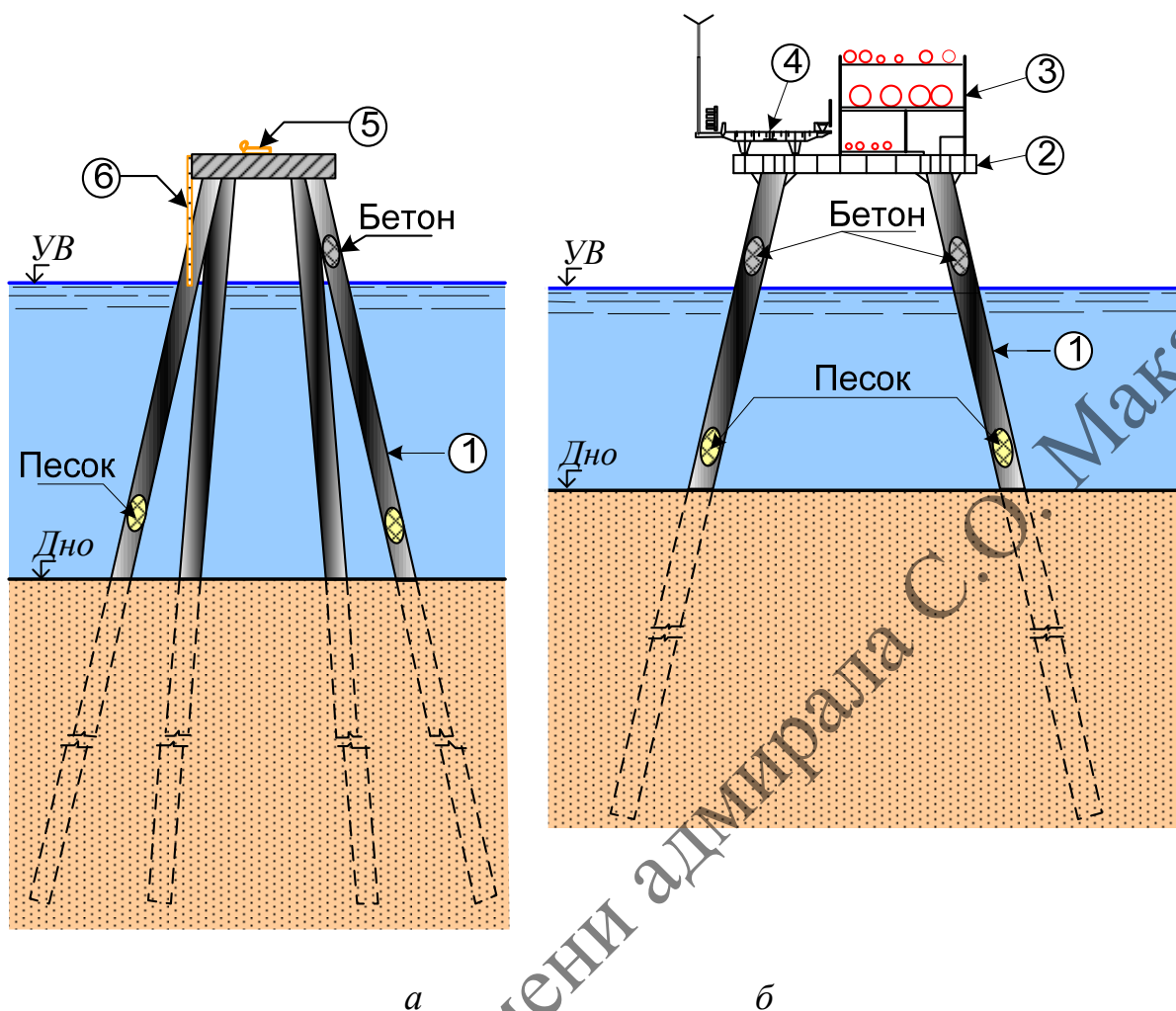


Рис. 5.16. Пирс на опорах из трубошпунта:

а — швартовый пал, *б* — морская соединительная эстакада;

1 — металлические сваи из труб; *2* — ригель;

3 — эстакада технологических трубопроводов; *4* — пролетное строение;

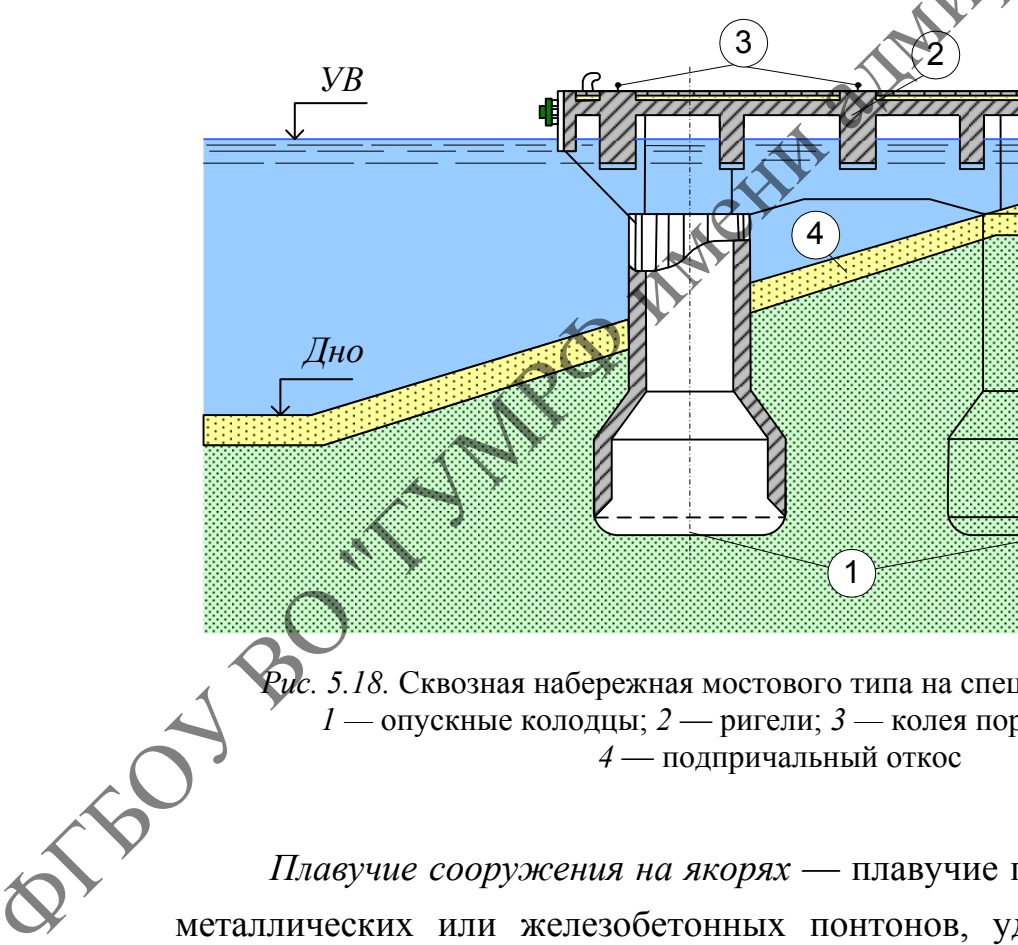
5 — самоотдающее гаковое швартовное устройство; *6* — стремянка

В набережных и пирсах мостового типа отдельные свайные опоры перекрываются пролетными строениями. Опорные элементы конструкции (сваи, сваи-оболочки) выполняются из железобетона, металла; верхнее строение обычно сборное железобетонное.

Сооружения смешанного типа (рис. 5.17) — причальные сооружения, в конструкцию которых включены элементы, характерные для различных конструктивных типов сооружений. (Конструктивной частью свайных набережных и пирсов могут быть отдельные гравитационные опоры для восприятия горизонтальных нагрузок от судов).



Сооружения специального типа (рис. 5.18) — причальные сооружения на специальных основаниях: опускных колодцах, кессонах и др. Строятся в редких случаях при сложных геологических условиях. Как правило, это сооружения мостовой конструкции.



4 — подпричальный откос

ФГБОУ ВПО «Металлургический институт имени А.Г.Дзержинского»

Плавучие причалы имеют ряд преимуществ по сравнению со стационарными: небольшие сроки возведения; возможность установки на больших глубинах независимо от геологии и уровня режима; возможность многоразового использования. Недостатки: худшие условия стоянки при волнении, более высокие эксплуатационные расходы.

В настоящее время железобетонные понтоны (рис. 5.19) с различными системами позиционирования нашли широкое применение при создании причального фронта для марин — яхтенных портов.

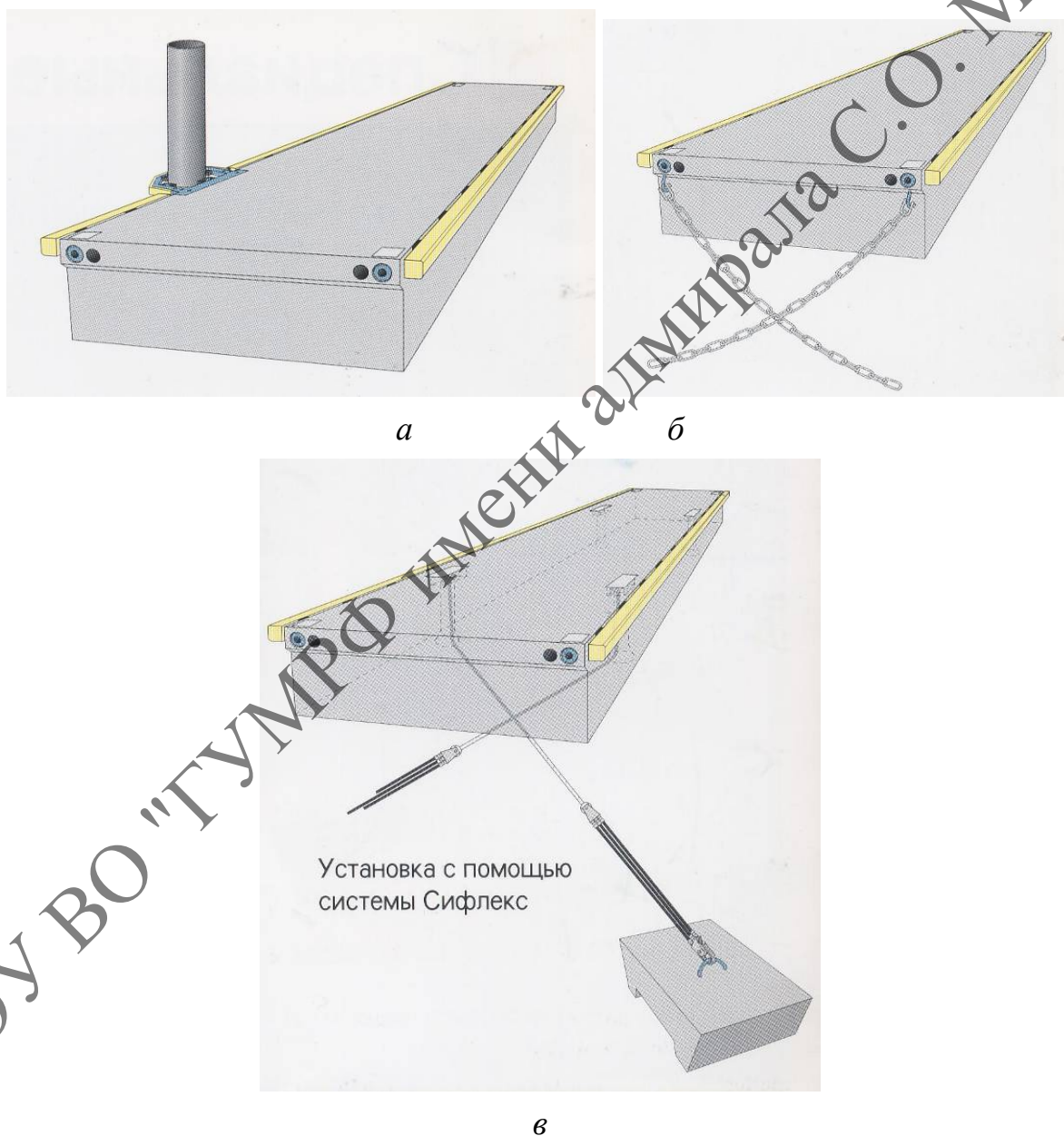


Рис. 5.19. Системы позиционирования плавучих причалов:
 а — установка с помощью свай; б — якорная система удержания;
 в — установка с помощью системы Seaflex

5.3. План порта, основные элементы порта

Акватория порта состоит из внешних рейдов и внутренней акватории. Внешние рейды подразделяются на рейды отстоя и перегрузочные. Элементами внутренней (защищенной) акватории являются:

- внутренние рейды (входной, маневровые, для отстоя судов);
- оперативная акватория;
- внутренние судовые ходы.

Рейдами называются участки акватории, укрытые от сильного волнения, где суда могут стоять на якорях в ожидании постановки к причалам или для выполнения различных операций, в том числе и грузовых, с помощью вспомогательного флота.

Внутренние рейды для отстоя судов во время шторма или в ожидании свободного причала размещаются вне судовых ходов и маневровых акваторий.

Оперативная акватория (гавань, портовые бассейны и ковши) — часть внутренней акватории порта, примыкающей к причалам.

Вход в порт — совокупность элементов, влияющих на безопасность и продолжительность входа и выхода судна. К входу в порт относятся входные ворота, примыкающий к ним участок подходного канала и входной рейд.

Входные ворота — это расстояние между головами оградительных сооружений. Ширина входных ворот B_n — проекция расстояния между головами на нормаль к оси входа (рис. 5.20, а) — не должна быть менее 0,8 длины расчетного судна. Для уменьшения опасности сноса судна на оградительные сооружения угол между осью входа и направлением луча волнения и господствующих ветров должен быть в пределах 45–70°.

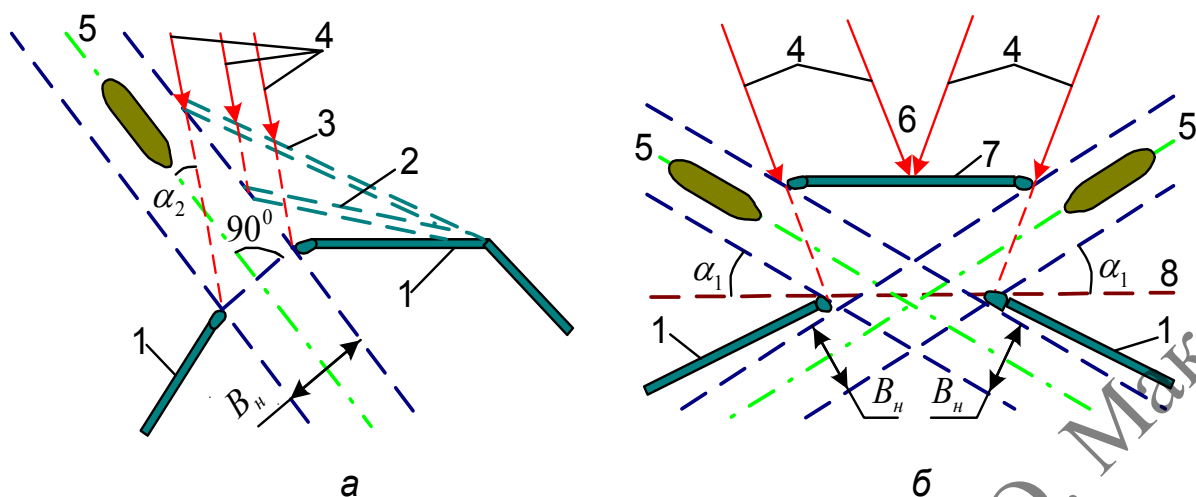


Рис. 5.20. Перекрытие входа в порт:

а — продлением одного из молов; *б* — волноломом;

1 — оградительное сооружение;

2 — продленная часть мола, обеспечивающая частичное перекрытие входа в порт;

3 — то же, полное; 4 — направление волновых лучей во время сильных штормов;

5 — ось судового хода;

6 — сектор возможных направлений волновых лучей во время сильных штормов;

7 — волнолом; 8 — прямая, параллельная береговой линии

Для устранения опасности выброса судна на берег вводят второе ограничение — угол между осью входа в порт и направлением береговой линии должен быть более 30° .

При полном совпадении направления оси входа с направлением волнения, т. е. при попутном волнении, управляемость судна ухудшается.

Если вычисленная по навигационным условиям ширина B_n не обеспечивает необходимой защищенности портовой акватории от волнения, предусматривают перекрытие входа в порт (рис. 5.20, б). Вход в порт должен быть ориентирован так, чтобы максимально препятствовать проходу на огражденную акваторию льда при его подвижках и способствовать очистке акватории ото льда ветром, направленным от порта в море.

Размеры и очертания в плане входного рейда должны обеспечить судну при входе-выходе из порта в условиях сильного ветра выполнение следующих маневров:

— полное гашение инерции при входе в порт;

- разворот собственными средствами на требуемый угол по дуге циркуляции;
- отдачу якоря и безопасную стоянку на рейде.

Для полного гашения инерции судна необходимо, чтобы длина прямолинейного участка по направлению оси входа, считая от ворот, составила не менее $3,5L$, где L — длина судна. При тяжелых гидрометеорологических условиях и особых маневровых характеристиках судна этот размер может быть увеличен до $4,5L$. Разворот судна обеспечивается, если на площади входного рейда можно вписать окружность диаметром не менее $3,5L$. Ось входа должна пересекать или касаться этой окружности (рис. 5.21).

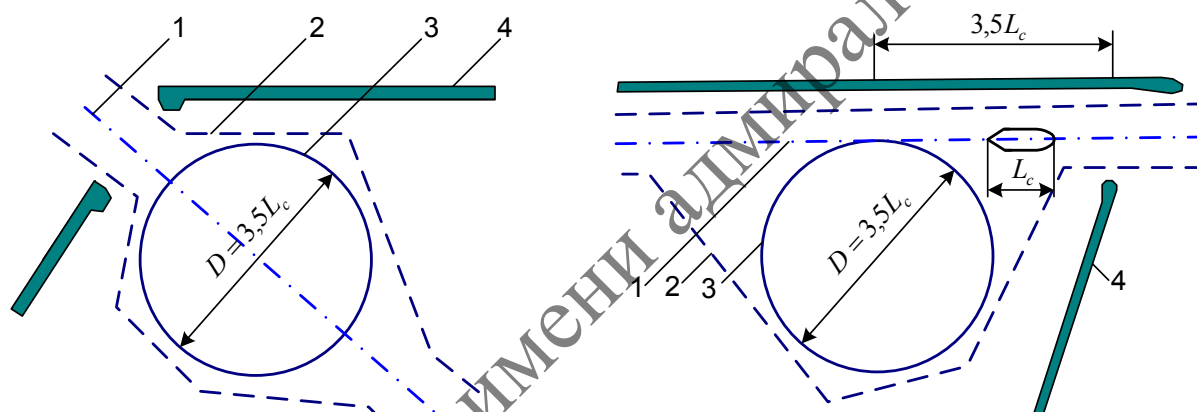


Рис. 5.21. Варианты очертания маневровой акватории входного рейда при нестесненной акватории порта:

- 1 — ось входа; 2 — граница рейда;
3 — граница маневровой акватории (разворотного места),
4 — оградительное сооружение

Для крупнотоннажных судов, вход и выход которых осуществляется с помощью буксиров, допускается диаметр разворотного круга принимать равным $1,25L + 150$ м, но не менее $2L$. Размеры входного рейда допускается принимать, описывая полуокружность диаметром не менее $2,5L$ (рис. 5.21), располагая полуокружность так, чтобы ось входа проходила ближе к середине дуги. Акватория, в которую вписывается разворотный круг или полуокружность, должна иметь глубину, определенную для максимальной осадки расчетного судна.

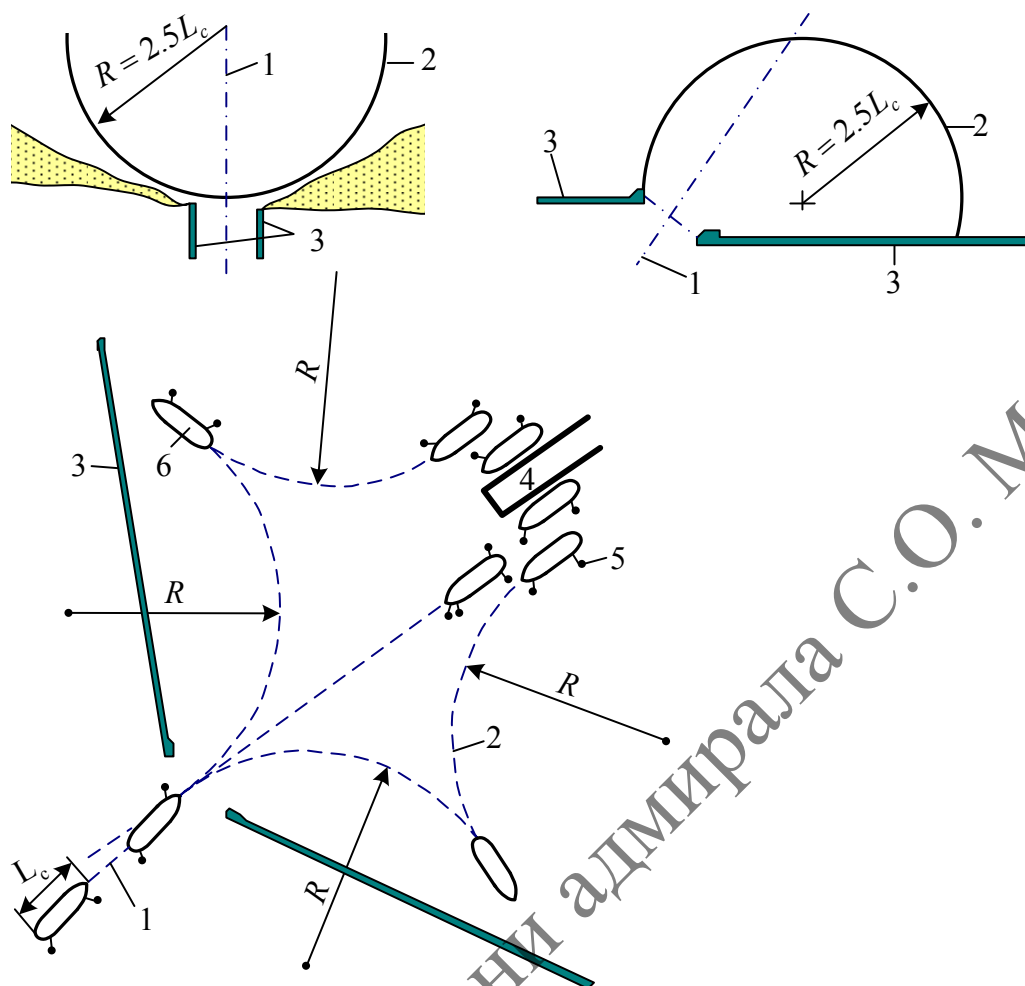


Рис. 5.22. Варианты маневровых акваторий:

1 — ось входа; 2 — граница маневровой акватории (поворотного места);
3 — оградительные сооружения; 4 — пирс; 5 — буксирное судно; 6 — грузовое судно

Размеры операционной акватории должны обеспечить безопасность и удобство маневровых операций, выполняемых буксирами, при силе ветра не менее 6 – 7 баллов. К операционной акватории относятся: водное пространство между пирсами (бассейны) и водная поверхность врезанных в территорию ковшей; акватории, примыкающие к причалам и отдельно стоящим пирсам. Бассейны бывают узкие, в которых разворот судна не предусматривается, и широкие, в которых предусматривается возможность разворота судна. Ширина узкого бассейна определяется по формуле

$$B_{\text{бас}} = nB + \Delta B_{\text{б}}, \quad (5.1)$$

где B — ширина судна, м; $\Delta B_{\text{б}}$ — сумма длины наибольшего буксира и длина буксирного троса; $B_{\text{б}}$ принимается равной для судов дедвейтом

15 тыс. т — 60 м, для судов от 15 до 30 тыс. т — 70 м, для судов более 30 тыс. т — 90 м; n — коэффициент, который при длине бассейна, равной одному причалу, расположенному с одной стороны, принимается равным 2, при двух и трех причалах $n = 4$; при двустороннем расположении причалов $n = 3$ для одного причала и $n = 5$ для двух-трех причалов с каждой стороны бассейна.

В широких бассейнах, рассчитанных на возможность разворота, ширина бассейна

$$B_{\text{бас}} = 1,5L + B. \quad (5.2)$$

Для обеспечения маневровых операций с судами, входящими в узкие бассейны на акватории, перед ними должны предусматриваться разворотные места (рис. 5.23), позволяющие вписывать полукруглость радиусом $1,5L$. Перед широкими бассейнами ширина акватории должна быть не менее $3B$. У одиночных пирсов ширина акватории, примыкающей к причалам, определяется как для бассейнов с односторонним расположением пирсов. При фронтальном расположении причалов ширина примыкающей акватории

$$B_a = 4B + \Delta B_0. \quad (5.3)$$

Размеры внешних и внутренних рейдов определяются в зависимости от схемы акватории.

Для отстоя судов на внешнем рейде рекомендуется применять якорную стоянку (рис. 5.24, а). Диаметр акватории, необходимый для стоянки на якоре одного судна, рассчитывается по зависимости

$$D = 2(L + l_{\text{я}}). \quad (5.4)$$

где L — длина корпуса судна, м; $l_{\text{я}}$ — горизонтальная проекция длины якорного каната, которая принимается при глубине до 20 м равной восьми глубинам, при глубинах 20 – 50 м — шести глубинам, м.

При стоянке на швартовой бочке или пале (рис. 5.24, б) диаметр акватории, занимаемый одним судном, рассчитывается по зависимости

$$D = 2(1,1L + 25), \quad (5.5)$$

где 25 — длина швартового троса, м.

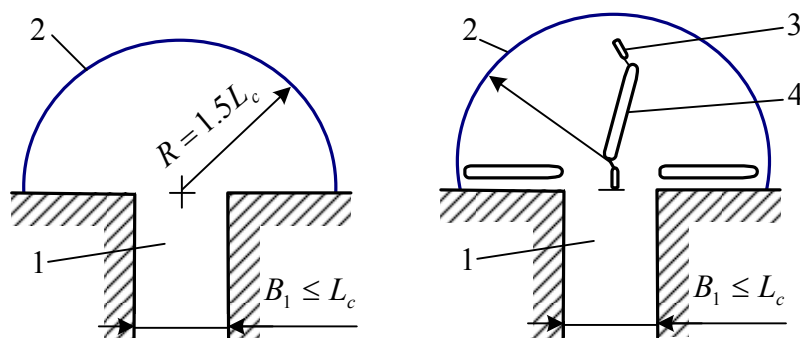


Рис. 5.23. Варианты разворотных мест перед входом в узкий бассейн:
1 — бассейн; 2 — разворотное место; 3 — буксирное судно; 4 — грузовое судно

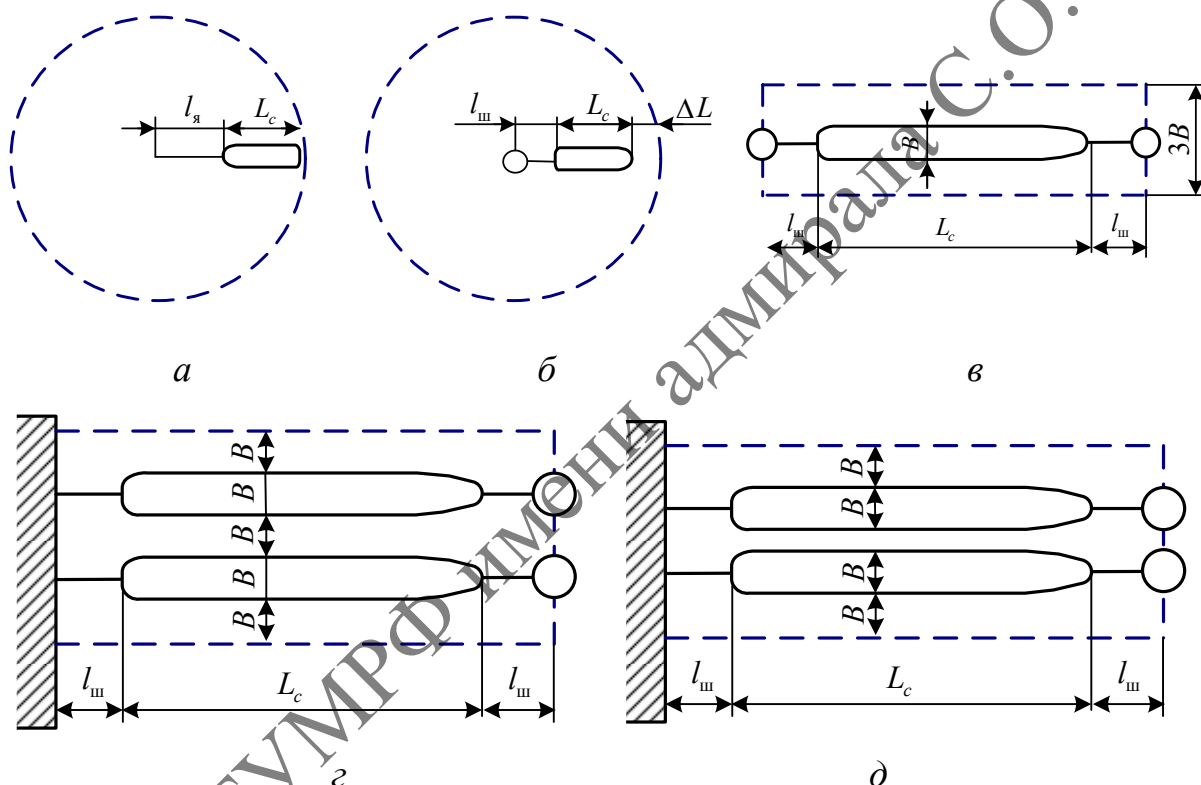


Рис. 5.24. Схемы причалов:

- а — при якорной стоянке на внешнем рейде;
- б — при швартовке судна на швартовном бье на внешнем рейде;
- в — при необходимости фиксирования положения судна на внешнем и внутреннем рейдах;
- г — при одиночной стоянке судов у стенки;
- д — при парной стоянке судов у стенки

При стоянке судов на внутреннем рейде на якорь ширина акватории для одного судна определяется по зависимости (5.3).

При фиксации положения судна путем швартовки на две бочки (рис. 5.24, в) длина швартовых тросов $l_{ш}$ принимается равной 25 м.

При отстое судов у стенки (рис. 5.5, з, д) длина швартового троса с судна на стенку зависит от метеорологических условий и принимается в пределах 5 – 20 м, а длина швартового троса с судна на бочку $l_{ш} = 25$ м.

Рейдовые причалы служат для стоянки судов танкерного флота на рейде, при которой осуществляется налив или слив перевозимых жидких грузов по трубопроводам, соединенным с береговыми емкостями. На рейдовых причалах швартовка осуществляется при помощи швартовых бочек и якорей или применяется точечная швартовка у буя или пала. В первом случае (см. рис. 5.24, з, д) носовая часть танкера закрепляется двумя якорями; кормовая крепится к плавучим бочкам, число которых зависит от дедвейта судна и глубины: при глубине 12 – 15 м и дедвейте 12 – 20 тыс. т — три бочки; при глубине 15 – 25 м и дедвейте 50 – 100 тыс. т — пять бочек; при глубине 20 м и дедвейте более 100 тыс. т — семь бочек. Во втором случае для точечной швартовки, применяемой для крупнотоннажных танкеров, требуется акватория в виде круга радиусом

$$R_{\text{точ}} = l_{ш} + L + \Delta L, \quad (5.6)$$

где $l_{ш}$ — расстояние от носа судна до причального устройства (швартовного буя или пала); $l_{ш}$ принимается равным от 30 до 60 м в зависимости от конструктивных особенностей причального устройства, м; $\Delta L = 0,1L$ — зона безопасности у кормы судна, м.

Рейдовые стационарные причалы проектируются двух типов: эстакадного и островного. Подход-отход судов осуществляется, как правило, с помощью буксиров. Предусматриваются зоны безопасности: для носовой части судна — $0,2L$, для оконечности пирса — $0,1L$. Расстояние между кормой судна и швартовым устройством определяется при проектировании в зависимости от типа судна и местных условий.

Глубина акватории у причалов определяется в зависимости от осадки расчетного судна при полной загрузке по отношению к отсчетному уровню для данного порта. Отсчетные уровни назначаются на основе графика многолетней продолжительности стояний фактических уровней воды за навигационный период с обеспеченностью 90 – 98 %. Обеспеченностью называется время в процентах, когда уровень воды

стоит выше или совпадает с расчетным. Для установления глубины на отдельных участках порта к расчетной осадке судна добавляют определенные запасы, зависящие от размерений судов, скорости движения, дифферента при погрузке и движении и ряда других факторов. Так как влияние этих факторов на различных участках порта неодинаково, расчетные глубины на отдельных его участках будут различными. В общем случае проектная глубина

$$H_0 = T + Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4, \quad (5.7)$$

где T — осадка расчетного судна в полном грузу, м; Z_1 — навигационный запас глубины, м; Z_2 — запас глубины на волнение, м; Z_3 — запас глубины на увеличение осадки судна при движении, м; Z_4 — запас глубины на заносимость, м.

Навигационный запас глубины под килем судна (Z_1) необходим для обеспечения возможности перемещения судна с небольшой скоростью и предотвращает опасность потери судном управляемости и ударов днища об отдельные неровности дна. В морских портах навигационный запас принимают от 0,3 м (при илистых грунтах и длине судов менее 85 м) до 1,6 м (при скальных грунтах и длине судов 251 – 300 м).

Если на глубине менее 0,5 м от проектной отметки дна водоема залегают более плотные грунты, чем в поверхностном слое, то навигационный запас выбирают, руководствуясь видом подстилающих грунтов.

Запас глубины на волну (Z_2) необходим в связи с тем, что в период волнения судно совершает вертикальные перемещения, сопровождаемые его качкой — продольной или поперечной в зависимости от направления волнения по отношению к судну. Указанные обстоятельства приводят к увеличению осадки судна. Запас глубины на волну

$$Z_2 = 0,3h - Z_1, \quad (5.8)$$

где h — расчетное значение высоты волны для рассматриваемого участка порта, м.

В связи с увеличением осадки судна при движении, по сравнению с осадкой его в состоянии покоя необходимо учитывать запас Z_3 , который определяется по формуле

$$Z_3 = kV, \quad (5.9)$$

где k — безразмерный коэффициент, принимаемый в зависимости от длины судна от 0,035 (при $L = 225 - 300$ м) до 0,017 (при $L = 75$ м); V — скорость движения судна, км/ч.

Запас на заносимость (Z_4) принимается таким, чтобы толщина снимаемого слоя грунта при ремонтном дноуглублении обеспечивала бы эффективную работу земснарядов. Обычно запас на заносимость принимают не менее 0,5 м. При интенсивном отложении наносов запас на заносимость может достигать 1 – 2 и более м.

Глубины на отдельных участках порта можно определить аналогично, подставляя в формулу (5.7) соответствующие значения расчетных осадок наибольших судов, посещающих данный участок порта, значения расчетной высоты волны для этого участка и скорости движения судна.

5.4. Причальное оборудование

Для нормальной эксплуатации причалы должны быть оснащены целым комплексом вспомогательных устройств. Важнейшими из них являются устройства, предназначенные для защиты причалов от повреждений при подходе и стоянке судов у причала — отбойные приспособления и устройства, которые позволяют закрепить суда у причалов и ограничить их перемещения при воздействии ветра и течений — швартовные устройства.

Швартовные тумбы

Наиболее распространенным видом швартовных устройств являются тумбы, которые в настоящее время выполняются пустотелыми из чугуна или стали. По конструктивному устройству различают монолитные и разборные (сменные) тумбы.

В монолитном варианте вся тумба, включая голову и корпус, является единым целым. Нижняя часть корпуса обычно заделывается в бетонный массив. В настоящее время монолитные тумбы применяются редко.

Разборные тумбы состоят в большинстве случаев из двух основных отдельно отливаемых частей: головной части (голова тумбы) и фундаментной части (анкерная или опорная плита). Головная часть тумбы в большинстве случаев имеет грибовидную форму с односторонним

или круговым козырьком. Фундаментная часть заделывается в конструкцию сооружения при бетонировании и крепится к сооружению с помощью анкерных болтов, а головная часть крепится к фундаментной с помощью соединительных болтов, шпилек и т. д. При необходимости головные части тумб могут заменяться.

По назначению различают два вида тумб. *Прикордонные тумбы*, которые передают воспринимаемые ими усилия от швартовов основной конструкции причала. В набережных сквозного типа нередко бетонный тумбовый массив соединяется отдельными анкерными тяжами с анкерными опорами на берегу. В этом случае сооружение только поддерживает бетонный массив с тумбой, а швартовое усилие воспринимается береговыми анкерными опорами. *Тыловые тумбы*, которые устанавливаются на специальных бетонных массивах на берегу за сооружением.

Размер тумбы подбирается исходя из значения швартовного усилия для расчетного судна. Тумбы могут быть одноголовые и двухголовые (рис. 5.25, а – в). За рубежом применяются тумбы с круглым симметричным козырьком, которые иногда называют битенгами (рис. 5.25, б).

Для ускорения швартовных операций используются специальные конструкции тумб со сбрасывающим устройством или с приводом (рис. 5.25, в, д). Головка тумбы со сбрасывающим устройством, на которую надевается петля швартового троса, может вращаться и наклоняться относительно горизонтальной плоскости. Когда петля швартова наброшена на головку, под влиянием его натяжения головка стопорится под определенным углом к горизонтали, и поворачивается в направлении действия швартовного усилия. При этом сбрасывающее устройство также стопорится. Если необходимо снять швартовный трос с тумбы, стопор сбрасывающего устройства освобождается, головка тумбы поворачивается относительно горизонтальной оси и швартов сбрасывается.

Тумба второго типа имеет головку винтообразной формы (рис. 5.25, е). Петля швартова набрасывается на верхнюю часть головки, которая поворачивается относительно вертикальной оси и закрепляет швартов в нижнем положении. При вращении в обратном направлении швартов сбрасывается.

Съемные одноголовые швартовные тумбы (рис. 5.25, а) устанавливают на причальных сооружениях, предназначенных для односторонней швартовки судов.

Двухголовые тумбы, предназначены для швартовки двух судов, стоящих на смежных причалах. Как правило, установка двухголовых тумб производится на границе смежных причалов.

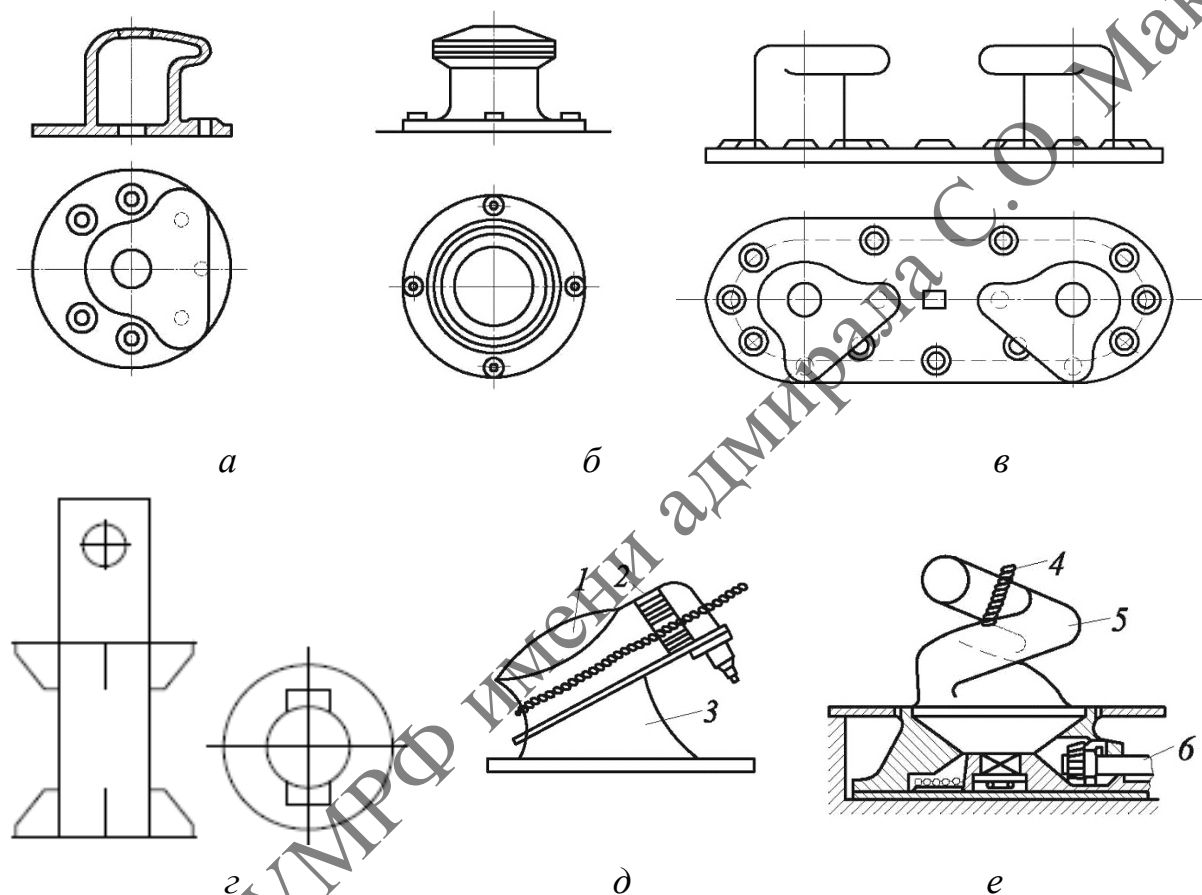


Рис. 5.25. Виды швартовных тумб:

а — одноголовая; б — с симметричной головой — битенг;

в — двухголовая; г — крестовая; д — тумба с откидной головой;

е — вращающаяся винтовая тумба.

1 — поворотная головка; 2 — стопор; 3 — опора; 4 — швартовный канат;

5 — винтовая головка; 6 — привод вращения

Крестовые швартовые тумбы, (рис. 5.25, г) выполняются под заказ, для оборудования уже существующего причала. Для изготовления тумб используются стальные трубы стандартных диаметров, впоследствии они заполняются бетоном. Такие тумбы используются для речных судов, иногда они выполняются в составе пала.

Одним из основополагающих факторов при выборе типа швартовной тумбы является водоизмещение расчетного для данного причала судна. Рекомендуемый диапазон зависимости водоизмещения расчетного судна и номинальной нагрузки на швартовную тумбу указан в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Рекомендуемые значения номинальной нагрузки на тумбу в зависимости от водоизмещения судна

Водоизмещение, т	Примерная номинальная нагрузка на тумбу, т
До 2000	10
2000 – 10000	30
10000 – 20000	60
20000 – 50000	80
50000 – 100000	100
100000 – 200000	150
более 200000	200

В неблагоприятных климатических условиях (возможны сильные ветры, течения, лед и т. д.) номинальную нагрузку на тумбы рекомендуется увеличивать на величину не менее 25 %.

Швартовные устройства на вертикальных набережных грузовых причалов должны располагаться в плане (рис. 5.26) на расстоянии 15 – 20 м друг от друга в зависимости от длины причаливающих судов, а по высоте — в один или более ярусов в зависимости от амплитуды колебания уровня воды в навигационный период (рис. 5.27).

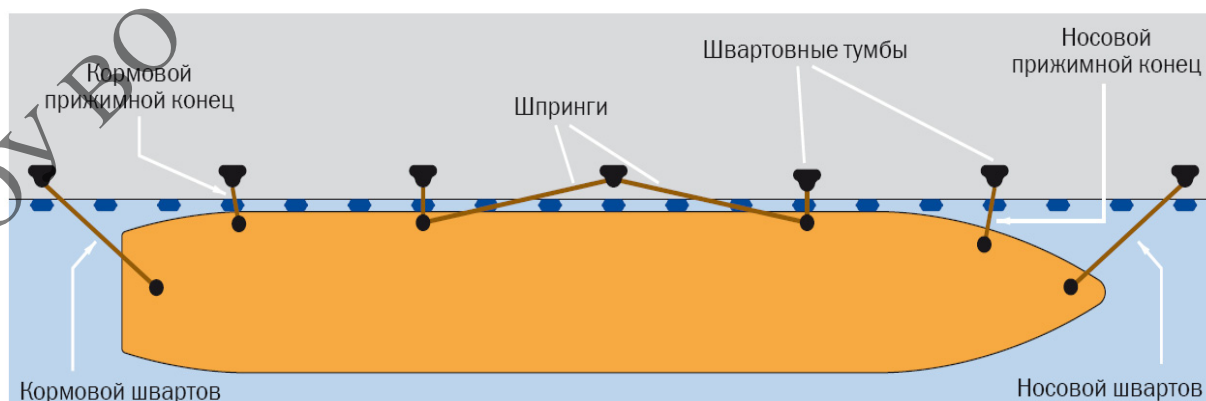


Рис. 5.26. Схема швартовки судна и расстановки швартовных тумб

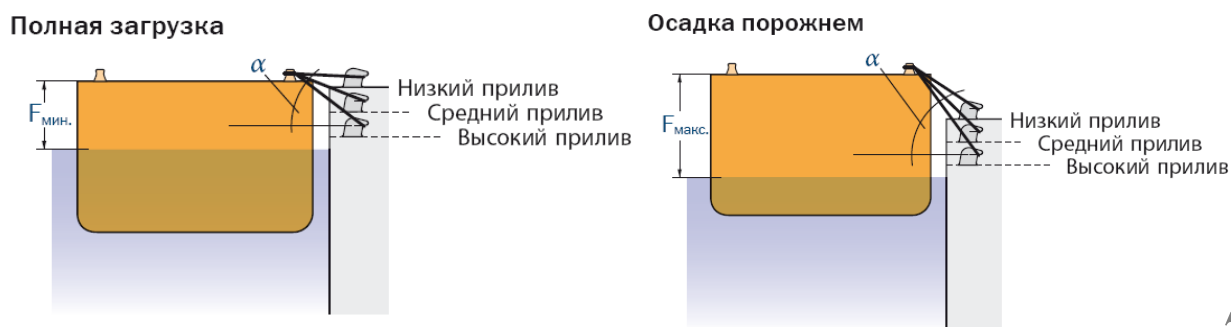


Рис. 5.27. Углы наклона швартовых связей

На набережных с возвышением кордона над низким судоходным уровнем (НСУ) до 6 м на кордоне устанавливаются швартовые тумбы, а под ними в углублении (нише) рымы с шагом по высоте 1,5 – 2,0 м.

На набережных с возвышением кордона над НСУ 6 м и более, кроме тумб, устанавливаемых на кордоне, следует устраивать тумбовые ниши не реже чем через 50 м, в которых тумбы размещать на площадках через 2,0 – 3,5 м по высоте. В промежутках между тумбовыми нишами предусматриваются рымы с шагом по высоте 1,5 – 2,0 м.

Крайние тумбы (и рымы под ними) располагаются по возможности ближе к концам набережной, но не более чем в 5 м от них.

Нижняя площадка тумбовой ниши и нижний рым находятся не выше 2 м от палубы расчетного судна (в грузу) при НСУ.

На набережных откосного профиля расстояние между швартовыми тумбами в плане назначается не более 50 м. На одиночных и концевых причалах крайние тумбы устанавливаются за границами причалов и отстоят на 20 – 50 м от оконечностей судна (в зависимости от удаления судна от бровки откоса). Тумбы располагают на бровке откоса.

Надежная расчалка судна, удобная и безопасная посадка и высадка пассажиров должны быть обеспечены при любом навигационном уровне воды.

Рекомендованные углы наклона швартова указаны в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Рекомендуемые углы наклона швартова

Носовой и кормовой швартовы*	$45^0 \pm 15^0$
Прижимные концы*	$90^0 \pm 30^0$
Шпринги*	$5^0 - 10^0$
Вертикальный угол наклона (α)	$< 30^0$

* Относительно угла швартовки

Для безопасной эксплуатации причалы обязательно оснащаются отбойными устройствами, предназначенными для защиты причалов и судов от повреждений при подходе и стоянке судов у причала.

Отбойные устройства могут быть двух видов: *жесткой конструкции* и *типа амортизаторов*. Жесткие отбойные устройства защищают от повреждений только те элементы причала, которые соприкасаются с судном. В этом случае нагрузки от судов воспринимаются причальными сооружениями.

Отбойные устройства типа амортизаторов кроме непосредственной защиты конструкций, поглощают часть энергии судна, в результате чего удается уменьшить усилия, которые передаются на сооружения от судов, а также облегчить конструкцию и уменьшить стоимость самого сооружения. Таким образом, при использовании даже относительно дорогого отбойного устройства, в конечном счете, достигается экономия средств.

На причалах для крупнотоннажных судов применяют отбойные устройства типа амортизаторов. Кроме того, в последние годы на некоторых причалах для крупнотоннажных судов используется специальная радиолокационная аппаратура, контролирующая скорость подходящего судна. Если скорость подхода судов превышает допустимую, автоматически подается соответствующий сигнал, и могут быть своевременно приняты меры для уменьшения скорости судна.

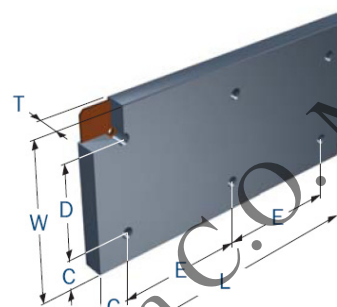
Применение рациональных по конструкции отбойных устройств и соблюдение правил швартовки позволяют предотвратить повреждения судов и сооружений, а иногда и избежать аварий. Однако отбойные устройства в неисправном состоянии могут вызвать значительные повреждения, как самих сооружений, так и судов.

Типы жестких отбойных устройств

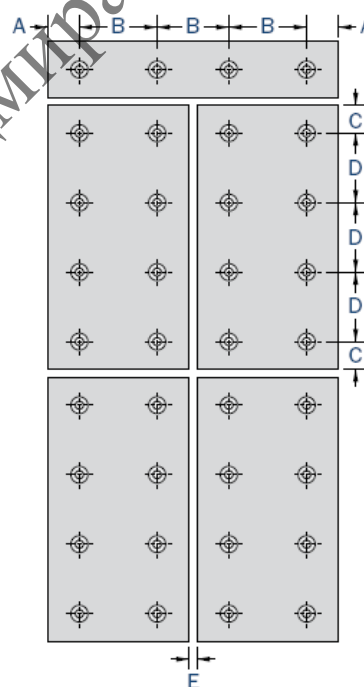
Привальные брусья служат для восприятия сверхмощных нагрузок, как на паромных причалах, так и на отбойных брусьях барж.



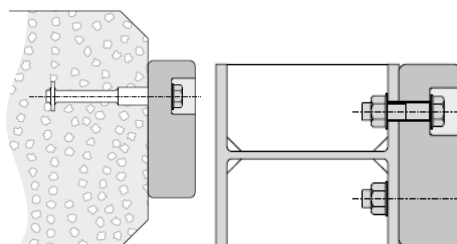
Морские защитные плиты — это упругие демпферы, для причалов маломерного флота. Отбойные устройства из морских защитных плит используются как буфер на некоторых буксирах.



Наружное покрытие из высокомолекулярного полиэтилена, используется для покрытия металлических панелей отбойника в суровых климатических условиях. Покрытие обладает низким трением, высокой ударной вязкостью и износостойкостью намного выше стали. Область применения этого вида покрытия достаточно широка, включая полозья скольжения затворов, защиту входа и стен шлюза, защиту быков мостов и т. д.

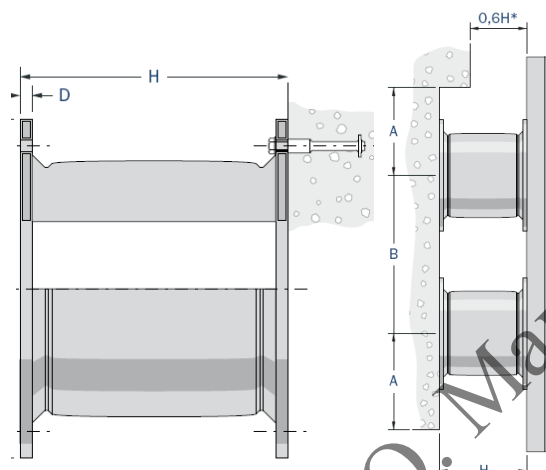


Отбойники скольжения — современная альтернатива деревянным покрытиям, имеющая еще и дополнительные преимущества перед деревом — малый коэффициент трения и улучшенную износостойкость.

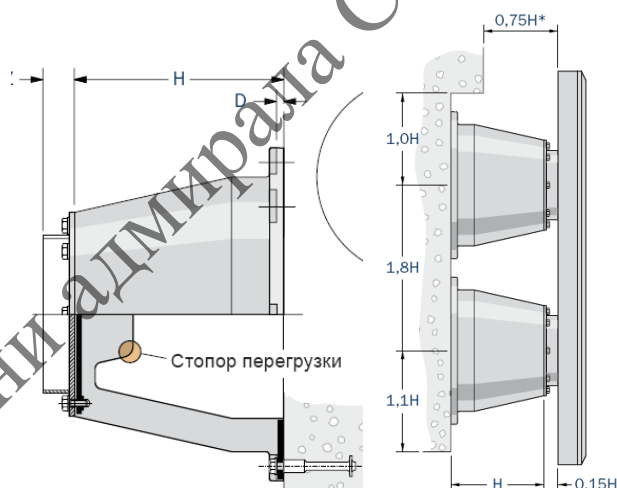


Отбойные устройства типа амортизаторов

Бочкообразные отбойники давно используются и остаются популярными благодаря прочности и высоким эксплуатационным характеристикам. Отбойники данного типа ориентированы на судовые системы с низкой посадкой.



Современное поколение «конусных» отбойников с оптимальными характеристиками. Коническая форма делает отбойник очень устойчивым даже при больших углах закручивания при сжатии и обеспечивает прекрасное сопротивление сдвигу.

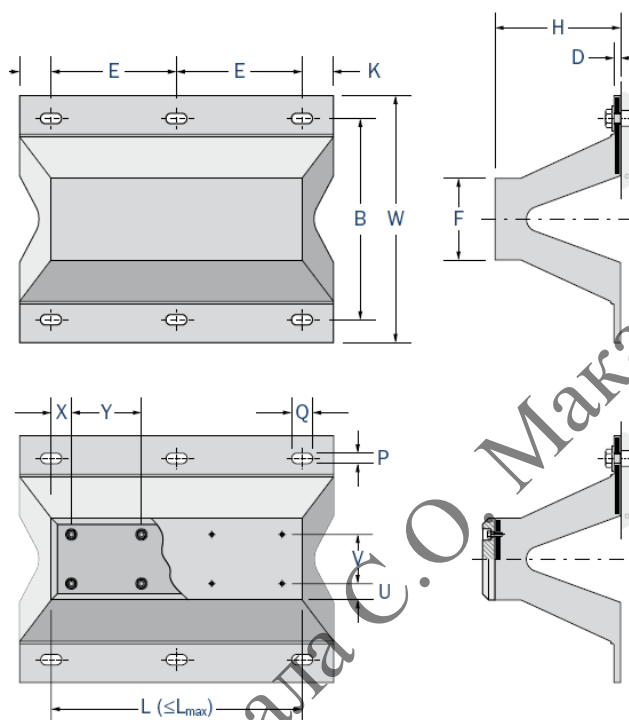


Отбойники параллельного движения в сравнении с традиционными моделями позволяют снижать силу реакции до 60 %. Панель отбойного устройства всегда остается вертикальной. В то же время такие системы эффективно работают и при больших углах швартовки.

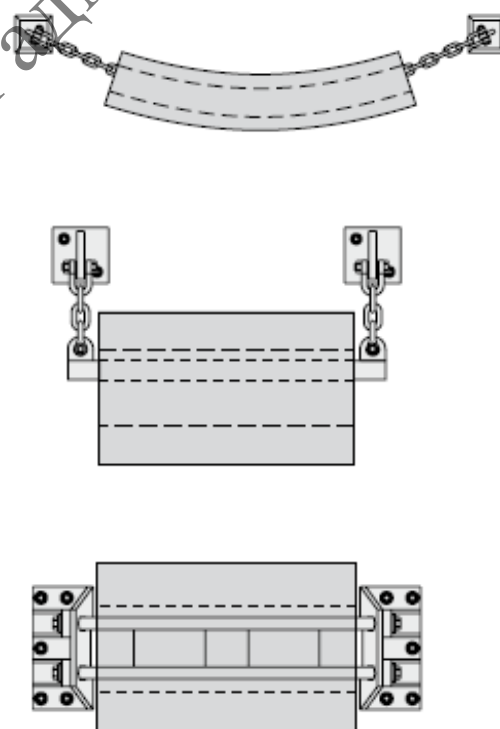


Арочные отбойники

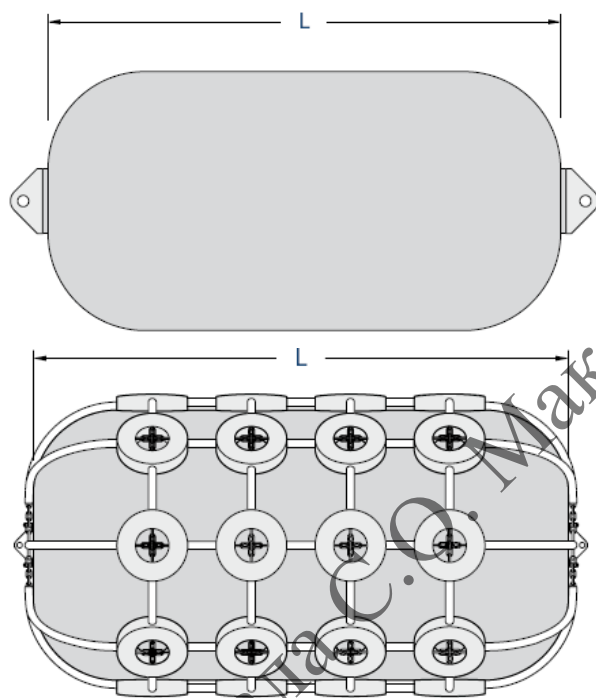
(AN, ANP) — простые жесткого типа устройства, обеспечивающие надежную и безаварийную швартовку в наиболее суровых условиях. AN-отбойник — это покрытое резиной отбойное устройство, в то время как ANP-отбойник в части, контактирующей с судном, имеет или лицевые накладки, или присоединен к стальной панели.



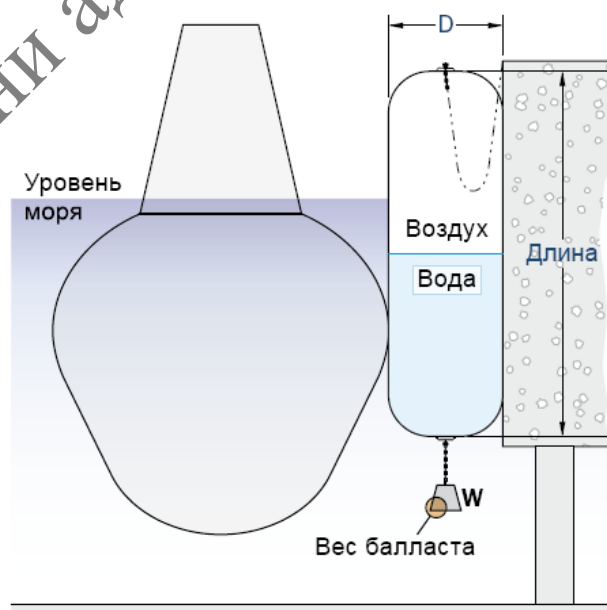
Цилиндрические отбойники используются при эксплуатации портов для защиты судов дольше, чем любые другие типы отбойных устройств. Они просты и универсальны. Сила реакции делает их весьма эффективными для причалов, обслуживающих большие и малые суда. Широкий выбор доступных типоразмеров позволяет точно подобрать цилиндрические отбойники для любых условий.



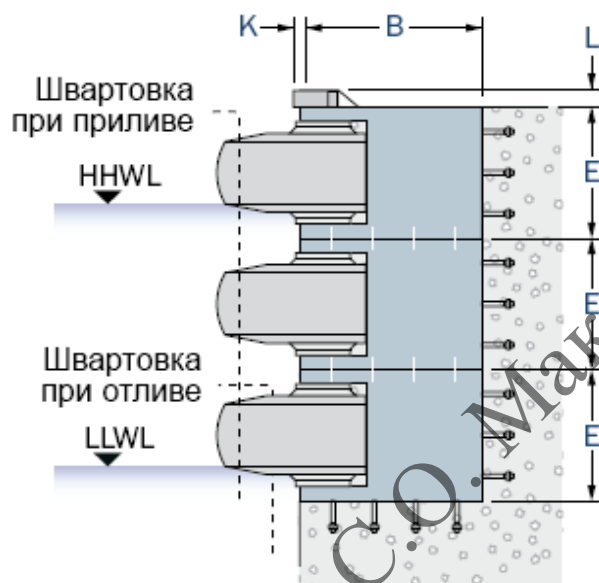
Пневматические отбойники можно использовать как для постоянного применения в портах, так и для морских перегрузок с судна на судно. Они имеют широкий диапазон типоразмеров. Отбойники меньших размеров поставляются по типу крюка, большие обычно оснащаются цепными сетями для дополнительной защиты.



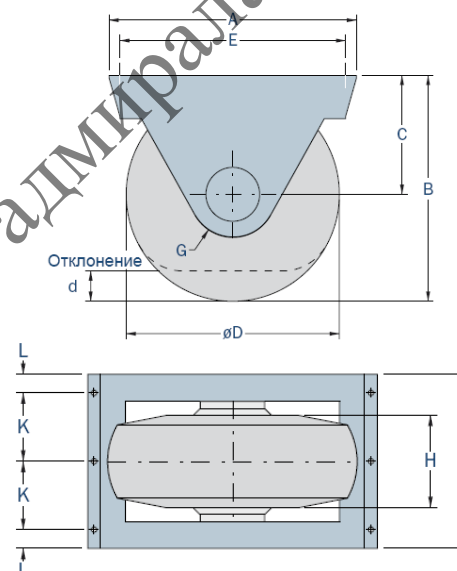
Корпус *гидропневматического отбойника* частично заполняется водой, а в свободное от воды пространство закачивается под давлением воздух. К основанию крепится балласт для поддержания отбойника в вертикальном положении. Осадка и характеристики такого устройства могут регулироваться изменением соотношения воды-воздуха и давления заполнения.



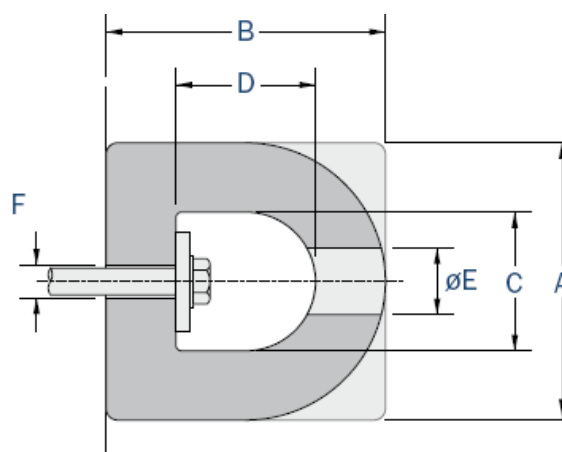
Колесные отбойники нашли самое широкое применение для защиты углов узких ковшей, в узких подходных каналах шлюзов и входах в сухие доки. Главная ось скользит на подшипниках и колесо, воздействуя на задние ролики, воспринимает (гасит) большую энергию при минимальном сопротивлении вращения.



Роликовые отбойники предназначены для направления судов в ограниченном пространстве, например в сухих доках. Кроме того, они могут использоваться на входах в шлюзы не только в качестве направляющих, но и отбойных устройств.



Экструдированные отбойники представляют собой простые резиновые профили, обычно закрепляемые болтами к конструкции. Данные профили могут быть изготовлены различной длины, затем обрезаны и просверлены под любой размер крепления.

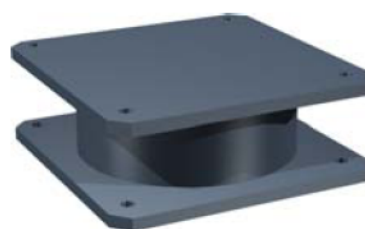
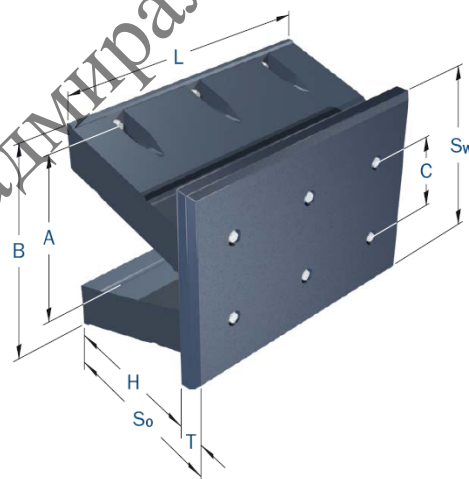
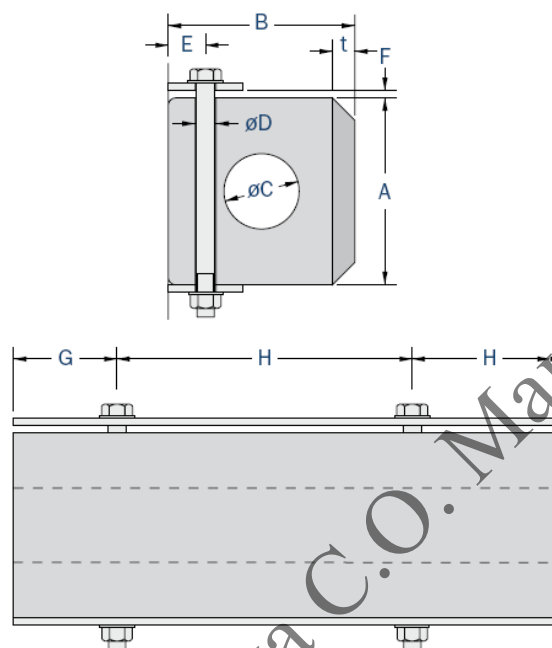


Композитные отбойники — это композиты из резины и внешней накладки. Два материала соединяются специальным вулканизирующим методом, более надежным, чем механическое смешивание. Композитные отбойники используются в тех случаях, когда требуется простота (дешевизна) прессованных отбойников при малых усилиях сдвига.

V-образные отбойные устройства — наиболее простые отбойные устройства, не требующие техобслуживания.

Все V-образные отбойники используют одну или несколько пар MV-элементов и переднюю панель (структурный компонент отбойного устройства, который крепится прямо к MV-элементам).

Сдвижные отбойные устройства коренным образом отличаются от всех остальных типов тем, что их линейное сжатие при наложении нагрузки незначительно. Во избежание перегрузки от смещения при изгибе существуют ограничения цепями или другими механическими ограничителями.



5.5. Гидротехнические сооружения судостроительных (ССЗ) и судоремонтных (СРЗ) заводов

ГТС ССЗ и СРЗ классифицируют по двум основным признакам: назначению и способу спуска (подъема) судов.

По назначению ГТС подразделяются на:

- судоспускосвые (обеспечивают только спуск судов);
- судоподъемные (обеспечивают спуск и подъем судов).

Спуск судов является технологической операцией, выполняемой как на СРЗ, так и на ССЗ. Подъем судов производится только на СРЗ.

Несмотря на внешнее сходство, конструкции *судоспускосвых* и *судоподъемных* сооружений имеют и существенные различия, обусловленные:

- разницей технического состояния спускаемого и докуемого судна;
- гидрометеорологическими условиями в период подъема и спуска судна;
- технологией процесса постройки и ремонта.

Например, при доковании (осушении) подводной части судна с целью выполнения ее ремонта) аварийного судна необходимо ускоренное, в любое время суток, ведение работ при произвольном уровне воды акватории и возможном неблагоприятном сочетании внешних нагрузок. В связи с этим судоподъемные сооружения по сравнению с судоспускосвыми обычно имеют:

- большую обеспеченную глубину;
- более высокопроизводительное оборудование, механизмы и устройства.

Кроме того, так как доковый вес судна, как правило, превышает его спускосвой вес, предусматривают усиленные сечения несущих элементов строительных конструкций.

В то же время, технологические условия постройки судов требуют строительства рядом с судоспускосвыми сооружениями больших сборочных и складских площадей и оснащения их кранами большой грузоподъемности — 1500 – 2000 т (судоподъемные сооружения оборудуют кранами с предельной грузоподъемностью — 300 т).

На практике применяют следующие способы подъема и спуска судов:

- всплытие и посадка судна за счет его собственной плавучести;
- всплытие и посадка судна за счет использования избыточной плавучести гидротехнических сооружений;
- инерционный неуправляемый спуск по наклонной плоскости;
- управляемый механизированный спуск и подъем судов по наклонной плоскости;
- управляемый механизированный спуск и подъем судов в вертикальном направлении.

Способ всплытия и посадки судна при движении его в вертикальном направлении за счет запаса плавучести непосредственно корпуса, включающий также буксировку судна в горизонтальном направлении, используется в сухих и наливных доках.

Сухой док (от англ. *dock* — бассейн) представляет собой ГТС (рис. 5.28, а) в виде искусственного бассейна (камеры), изолированного от прилегающей акватории шлюзовой частью с затворами и предназначенного для докования судов, устанавливаемых в процессе их строительства или ремонта непосредственно на дно камеры на специальных опорных устройствах. Характерная особенность — отметка дна камеры всегда расположена ниже отметки расчетного уровня воды на акватории. Наполнение камеры производится самотеком, а опорожнение — принудительно с помощью насосов.

Наливной док (рис. 5.28, б) — ГТС для постройки или ремонта судов, представляющее собой искусственный бассейн с глубоководной частью, заполненной водой и изолированной от прилегающей акватории шлюзовой частью с затвором. Если же в сооружениях такого типа осуществляется и транспортировка осушенных судов с помощью специальных тележек на стапельные места, то они называются *наливными док-камерами* (рис. 5.28, в). Наливные доки в отличие от наливных док-камер, не имеют выхода на территорию завода, а имеют стапельные места на верхних ступенях или в примыкающих к бассейну специальных доковых камерах, расположенных на уровне прилегающей территории. В *наливном доке* искусственный бассейн наполняется принудительно с помощью насосов, а опорожняется самотеком.

Плавучий док (рис. 5.28, *з*), судно технического флота, предназначенное для подъема из воды судна, находящегося на плаву, его ремонта (или транспортировки) и спуска на воду. В последнее время, благодаря технической оснащенности, плавучие доки используются и для судоремонта. Плавучий док представляет собой открытое с торцов сооружение, состоящее из понтона, на палубе которого устанавливается судно, и двух или одной башен. Изменение запаса плавучести обеспечивается балластировкой отсеков корпуса плавучего дока. Для суровых климатических условий создаются доки-эллинги, имеющие крышу и закрытия с торцов. Разновидностью плавучего дока является коробчатый док (плавучий док с доковой камерой), имеющий в корпусе закрывающуюся камеру.

Док-матка с док-понтонами (рис. 5.28, *д*) представляет собой комплекс плавучих сооружений, причем док-матка предназначена для погружения и подъема док-понтонов с судном, а док-пonton — для ремонта или транспортировки судов. Эти сооружения, обеспечивающие только подъем (спуск) судов из воды и передачу их на береговые стапельные места, называют *передаточными*.

Инерционный, практически неуправляемый спуск на специальных полозьях по спусковым дорожкам, производится на судостроительных наклонных продольных и поперечных стапелях. *Стапель* (гол. *staple*), место стоянки строящегося или ремонтируемого судна на территории ССЗ или СРЗ (рис. 5.28, *ж*, *з*). Стапель может быть наклонным или горизонтальным. В случае совмещения со спусковым сооружением стапель является построечно-спусковым сооружением.

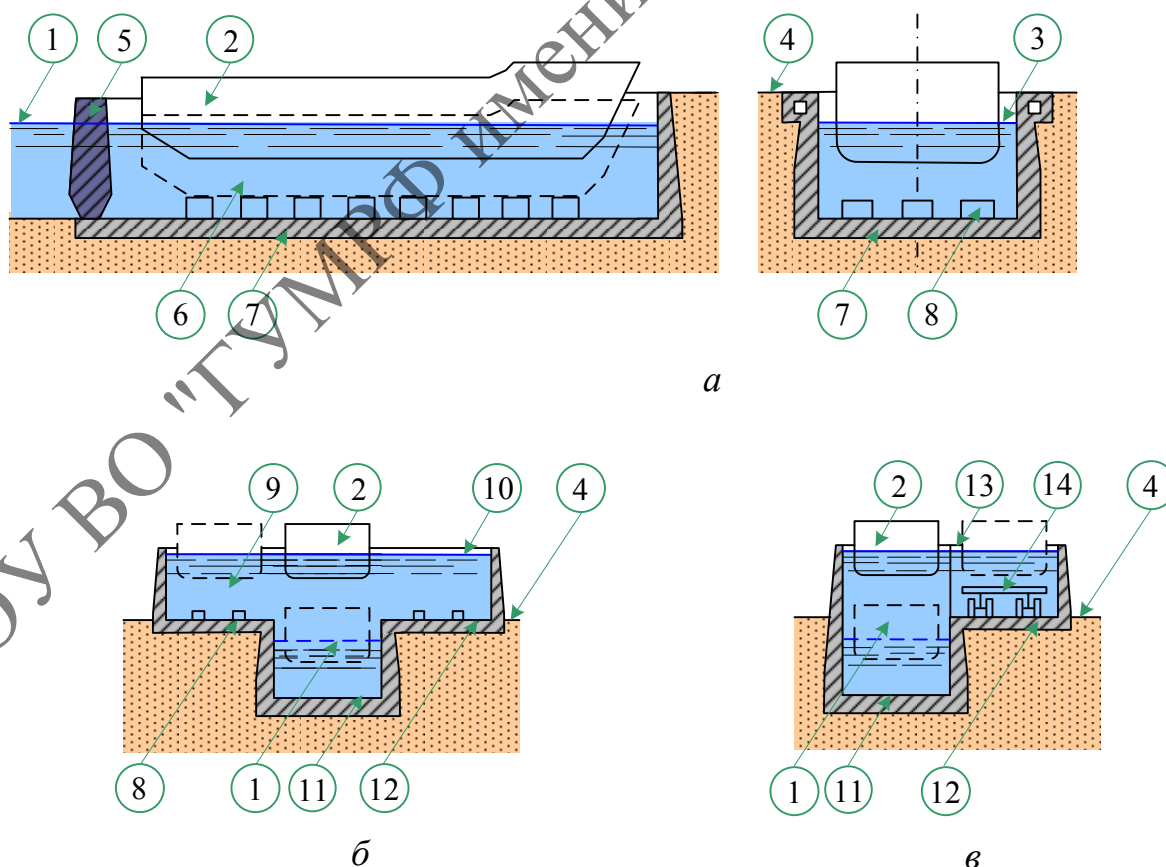
Управляемый механизированный подъем и спуск судов по наклонной плоскости характерен для ГТС типа слипа, склиза и эллинга.

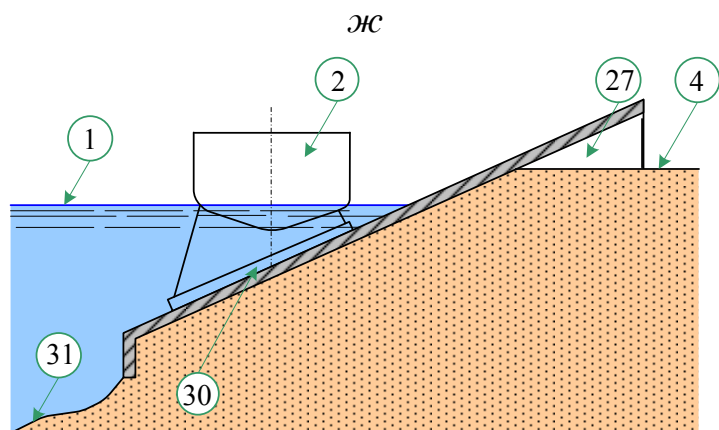
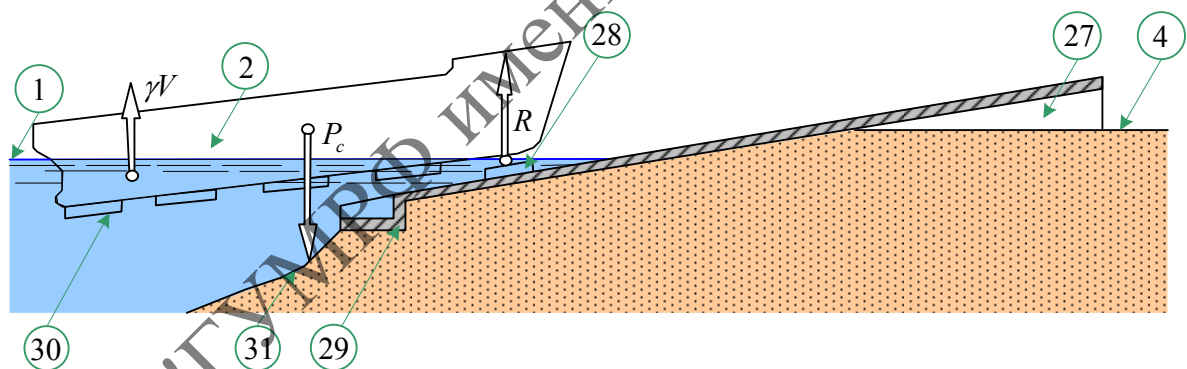
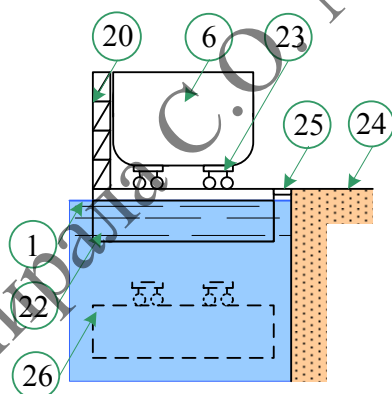
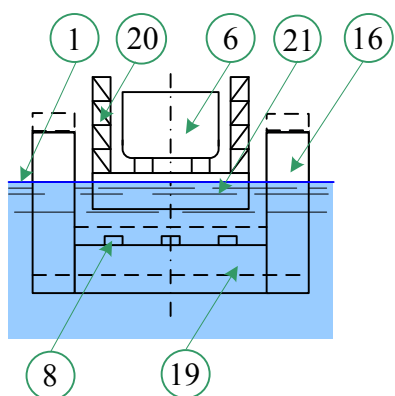
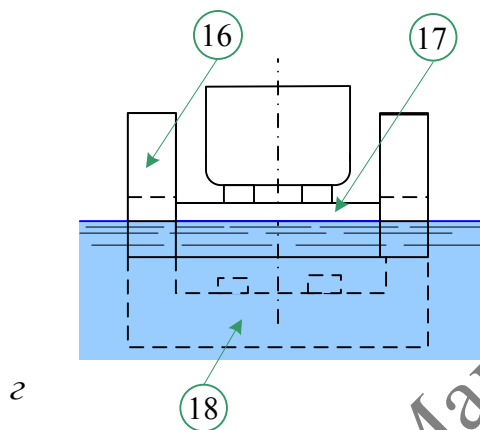
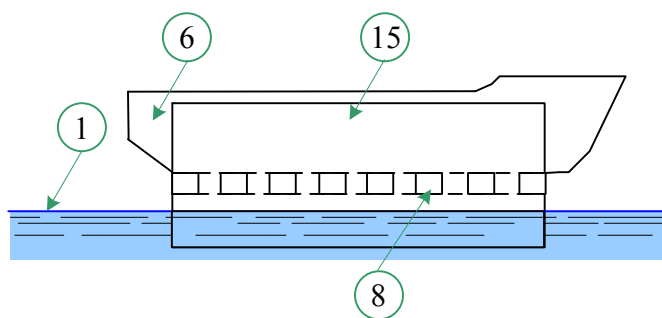
Слип (от англ. *slip* — скольжение) подъемно-спусковое сооружение для управляемого механизированного подъема и спуска судов на судовозных тележках по рельсовым путям, уложенным по наклонной плоскости с перемещением судов на тележках по горизонтальной плоскости непосредственно до стапельных мест по двум взаимно перпендикулярным направлениям (рис. 5.28, *и*).

Склиз (от рус. *скользить*) — простейшее подъемно-спусковое сооружение, предназначенное для натаскивания или спуска судов на салазках по деревянным спусковым дорожкам, уложенным на наклонной плоскости. Применяются на небольших верфях речного судостроения и судоремонта. *Верфь* (гол. *werf* — двор), предприятие для постройки и ремонта судов, ССЗ или СРЗ.

Элинг — (гол. *helling* — наклон) наклонное подъемно-спусковое сооружение, на котором судно перемещается в одном направлении на колесных или роликовых тележках. К элингам относят крытые наклонные *стapelные сооружения*.

Вертикальный судоподъемник (рис. 5.28, к) — ГТС для механизированного вертикального подъема или спуска судов на горизонтальной платформе. Вертикальный судоподъемник с электромеханическим приводом (*синхролифт*) получил наиболее широкое распространение. Вертикальный подъем и спуск судов также можно осуществлять с помощью кранового оборудования.





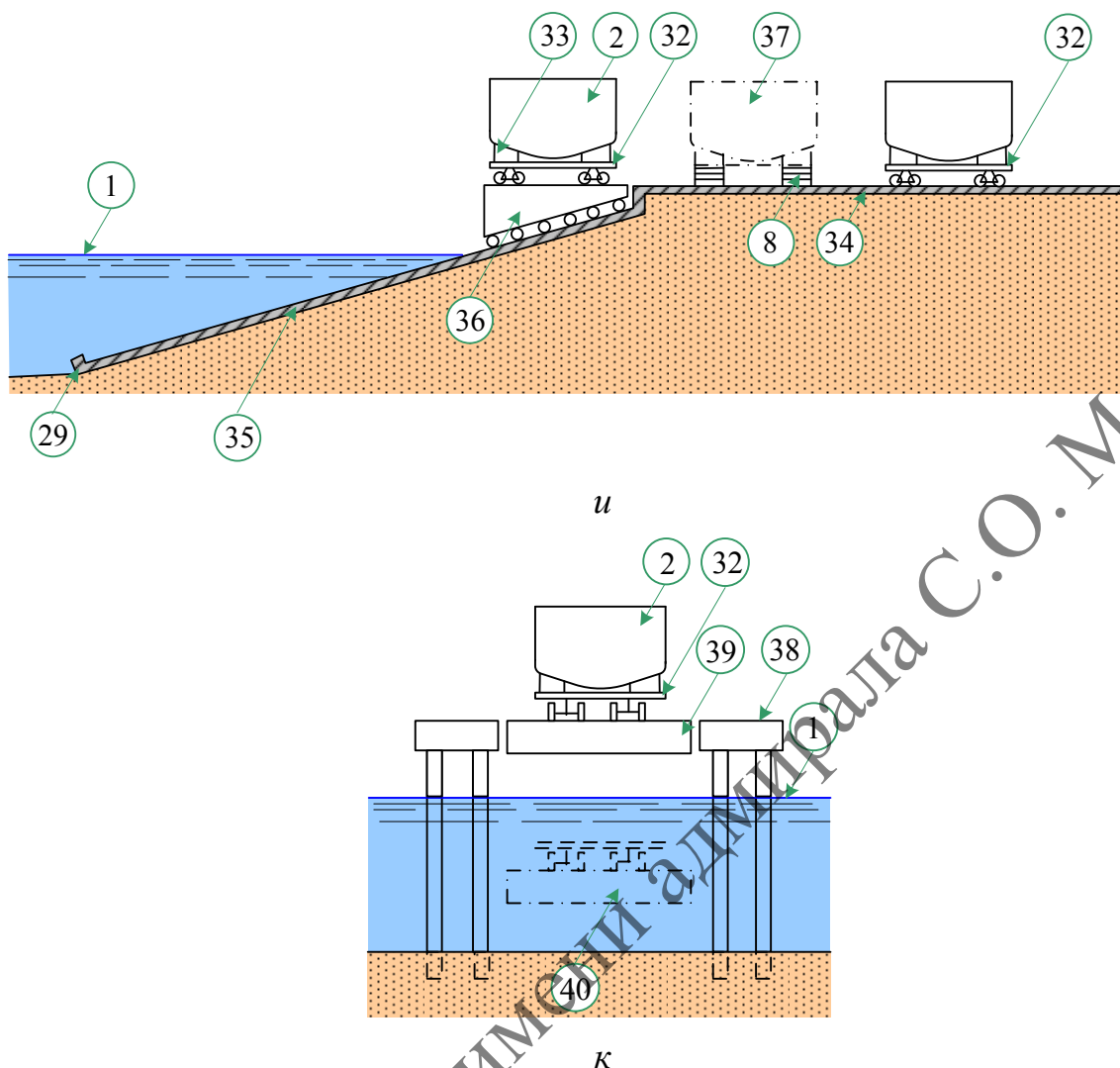


Рис. 5.28. Схемы судоспускных и судоподъемных сооружений: *а* — сухой док; *б* — наливной док; *в* — наливной док-камера; *г* — плавучий док; *д* — док-матка с док-пontoном; *е* — док-понтон; *ж* — продольный стапель; *з* — поперечный стапель; *и* — слип; *к* — вертикальный судоподъемник.

1 — уровень воды на акватории; 2 — судно; 3 — уровень воды в доковой камере; 4 — территория предприятия; 5 — затвор; 6 — судно осушенное; 7 — камера дока; 8 — стационарные доковые опоры; 9 — наливной бассейн (камера); 10 — уровень воды наполнения бассейна; 11 — заглубленная часть наливного бассейна; 12 — верхняя ступень (уступ); 13 — ворота верхней головы; 14 — плоские судовозные тележки; 15 — двухбашенный плавучий док; 16 — боковая башня; 17 — понтон корпуса плавучего дока; 18 — положение плавучего дока при максимальном погружении; 19 — док-матка; 20 — боковая башня сквозной конструкции; 21 — док-понтон; 22 — док-понтон; 23 — стапельные тележки; 24 — береговое стапельное место; 25 — соединительный мост; 26 — положение понтона при максимальном погружении; 27 — эстакада; 28 — носовой копыл поворотного типа; 29 — порог; 30 — спусковое устройство; 31 — дно; 32 — плоская тележка второго яруса; 33 — опорные устройства (балки); 34 — горизонтальный стапель; 35 — наклонный спусковой стапель; 36 — подъемно-спусковая косяковая тележка первого яруса; 37 — стапельное (построечное) место; 38 — пилон; 39 — платформа в верхнем положении; 40 — платформа в нижнем положении

Библиографический список к разделу 5

1. Штенцель В. К. Порты и портовые сооружения / В. К. Штенцель, М. А. Соколов. — М.: Транспорт, 1977. — 335 с.
2. Перевязкин Ю. А. Сооружения портов и транспортных терминалов и их техническая эксплуатация: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Устройство портов / Ю. А. Перевязкин. — СПб.: СПГУВК, 2006. — 115 с.
3. Григорьев В. И. Судоподъемные сооружения / В. И. Григорьев, Д. В. Марченко, Г. В. Симаков, В. А. Смелов. — Л.: Судостроение, 1978. — 272 с.
4. Григорьев В. И. Судоподъемные сооружения / В. И. Григорьев, Д. В. Марченко, Г. В. Симаков, В. А. Смелов. — Л.: Стройиздат, 1976. — 176 с.
5. Дубровский М. П. Гидротехнические сооружения верфей: справочник / М. П. Дубровский, Д. В. Марченко, П. И. Яковлев. — СПб.: Судостроение, 1992. — 232 с.
6. Зиневич Д. И. Простейшие устройства для подъема судов. Склады. — М.: Морской транспорт, 1943. — 86 с.
7. Кучерявенко П. Ф. Сухие доки / П. Ф. Кучерявенко, Ю. П. Иванов. — Л.: Судостроение. — 1976.
8. Этин М. Я. Судовозное оборудование. Расчет и конструирование нестандартного транспортно-построечного оборудования: справочник / М. Я. Этин, Н. А. Чеклецов. — Л.: Судостроение. — 1977.

Оглавление

Введение.....	3
Раздел 1. Общие сведения о водном транспорте	4
1.1. Роль транспорта в экономике страны.....	4
1.2. Внутренние водные пути России. Этапы развития, существующее состояние	10
Библиографический список к разделу 1	15
Раздел 2. Естественные внутренние водные пути.....	17
2.1. Река в естественном состоянии, водохранилища	17
2.2. Габариты судового хода.....	42
2.3. Методы улучшения судоходных условий на ВВП	45
2.4. Сооружения речного гидроузла и его компоновка	67
2.5. Судоходные плотины	70
Библиографический список к разделу 2	83
Раздел 3. Судоходные каналы.....	85
3.1. Назначение и классификация судоходных каналов	85
3.2. Форма поперечного сечения судоходных каналов	90
3.3. Процесс волнообразования при движении судна	92
3.4. Скорости движения судна по каналу, дополнительная осадка	99
Библиографический список к разделу 3	111
Раздел 4. Судопропускные сооружения.....	112
4.1. Основные элементы и принцип работы шлюза	112
4.2. Классификация шлюзов.....	115
4.3. Системы питания шлюзов.....	119
4.4. Подходные каналы шлюзов.....	130
4.5. Транспортные судоподъемники	136
Библиографический список к разделу 4	147
Раздел 5. Порты и портовые гидротехнические сооружения	148
5.1. Компоновка порта и оградительные сооружения	148
5.2. Классификация и конструктивные формы причальных сооружений	152
5.3. План порта, основные элементы порта.....	164
5.4. Причальное оборудование.....	172
5.5. Гидротехнические сооружения судостроительных (ССЗ) и судоремонтных (СРЗ) заводов	184
Библиографический список к разделу 5	190

Шабанов Виктор Иванович, проф.
Гарибин Павел Андреевич, д-р техн. наук, проф.
Гладков Геннадий Леонидович, д-р техн. наук, проф.

ВОДНЫЕ ПУТИ И ПОРТЫ

Учебное пособие



198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2

Тел.: (812) 748-97-19, 748-97-23

E-mail: izdat@gumrf.ru

Ответственный за выпуск

Редактор

Компьютерная верстка

Сатикова Т. Ф.

Лазарева Е. В.

Евсюткина М. Н.

Подписано в печать 30.09.2016

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman

Усл. печ. л. 12. Тираж 100 экз. Заказ № 475/16