



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота

Л.Е. Мейлер

ВОДНЫЕ ПУТИ И ИХ ОБОРУДОВАНИЕ

Учебное пособие
для курсантов и студентов по направлению
подготовки бакалавриата 26.03.01 «Управление водным
транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства»
всех форм обучения

Калининград
Издательство БГАРФ
2019

БГАРФ

УДК 627.74(075)
М45

Мейлер, Л.Е. Водные пути и их оборудование: учебное пособие / Л.Е. Мейлер. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2019. – 143 с.

В пособии даются классификация внешних и внутренних водных путей, основные проектные характеристики соединительных и подходных каналов, их заносимость и мероприятия по защите. Дается описание средств навигационного оборудования водных путей. Рассматриваются конструкции судоподъёмных и судопропускных сооружений.

Учебное пособие разработано в соответствии с программой дисциплины «Транспортные узлы и пути».

Ил. 110, табл. 20, библиогр. – 18 назв.

На обложке: вид на шлюзы Панамского канала

Печатается по решению редакционно-издательского совета Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота.

Рецензенты: *Гриценя Е.Н.*, руководитель корпоративной службы Калининградского морского торгового порта, Почётный работник морского флота;

Горбенко И.В., доцент кафедры организации перевозок БГАРФ

ISBN 978-5-7481-0428-9

© БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019

БГАРФ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Водные бассейны	5
2. Водные пути	7
2.1. Внутренние водные пути	7
2.1.1. Внутренние водные пути в мире.....	7
2.1.2. Классификация внутренних водных путей (ВВП)	17
2.1.3. Определения и терминология внутренних водных путей....	20
2.1.4. Особенности перевозок грузов по внутренним водным путям	22
2.2 Внешние водные пути	23
2.2.1. Классификация каналов	23
2.2.2. Трасса канала.....	34
2.2.3. Прорезь канала.....	39
2.2.4. Заносимость каналов и методы защиты	42
2.2.5. Основные принципы проектирования каналов.....	46
2.2.6. Конструктивные параметры канала	53
3. Навигационное оборудование водных путей	67
3.1. Навигационные знаки и огни	67
3.1.1. Береговые навигационные знаки	68
3.1.2. Плавучие навигационные знаки	87
3.1.3. Светосигнальные огни.....	100
3.2. Средства навигационного оборудования каналов	104
3.3. Транспортно-экономические характеристики каналов	113
4. Гидротехническое оборудование водных путей	115
4.1. Судоходные шлюзы. Шлюзование	115
4.1.1. Классификация и типы шлюзов.....	117
4.1.2. Основные конструктивные элементы шлюза	122
4.1.3. Системы питания шлюзов.....	126
4.1.4. Основные принципы проектирования шлюзов.....	129
4.2 Судоподъемники	132
4.2.1. Классификация и конструкции судоподъемников	133
4.2.2. Условия применения судоподъемников.....	141
Список использованных источников	142

Введение

Данная часть учебного пособия по дисциплине «Транспортные узлы и пути» предназначена для помощи студентам/курсантам в освоении информации о водных путях и их оборудовании¹. Развитие внутреннего водного транспорта (ВВП), зародившегося еще в древности, определялось, прежде всего, природными условиями, а именно – наличием пригодной для этой цели речной сети. Постепенно усилилась роль искусственных сооружений – каналов, шлюзов и т. д. Вместе с тем возросло значение дноуглубительных и иных работ по улучшению условий судоходства на внутренних водных трассах. У речного транспорта самая низкая себестоимость перевозок, хорошая согласованность с международной транспортной сетью, он не требует больших финансовых вложений в инфраструктуру. Если сравнить стоимость 1 тыс. км железной дороги и средства, необходимые на оснащение 1 тыс. км реки под судоходство – на постройку пристаней, портовых механизмов, складов, установку гидрографического оборудования, дноуглубительные работы, – то окажется, что обустройство речных путей обходится в 8÷10 раз дешевле.

Потенциал внутреннего водного пространства привлекает разработчиков предложений в области транспорта. Одно из таких предложений – Большое европейское контейнерное кольцо. Авторы проекта считают, что устоявшаяся контейнерная схема будет меняться. Россия является членом Всемирной торговой организации (ВТО) и поэтому обсуждается возможность прохода иностранных судов по ВВП России. Такие альтернативы необходимы и московскому транзиту. В обосновании проекта указывается, что особенности системы водных путей ЕС и РФ позволяют использовать ее как транспортный коридор. Однако существующая транспортная инфраструктура России не гарантирует успех реализации проекта. В то же время проект позволяет развить контейнерные перевозки на базе ВВП по Большому контейнерному кольцу: Рейн – Майн – канал Майн–Дунай — Дунай – Черное море – Азовское море – Дон – Волго-Донской канал – Волга – Каспийское море; или Волга – Волго-Балтийский канал – Нева – Балтийское море.

Одним из основных условий для реализации проекта является создание интермодальной инфраструктуры в рамках Большого кольца. Авторы настаивают на том, чтобы порты кольца обладали едиными

¹В учебном пособии приводятся сведения из источников, приведенных в «Списке использованных источников», а рисунки – из интернета.

возможностями по обработке грузов, такими, как, размер площади, перегрузочная техника и т. д.

Особое внимание уделено унификации норм и правил, регламентирующих перевозки. Такой подход позволит повысить уровень контейнеризации и создать экономически выгодное взаимодействие с другими видами транспорта одновременно в масштабе всех входящих в кольцо стран.

1. ВОДНЫЕ БАССЕЙНЫ

Большая часть поверхности Земли покрыта водами океанов и морей, на их долю приходится 70,7 %, а на долю суши всего 29,3 % . Российская Федерация омывается водами 3 океанов и 13 морей, имеет более чем 38 тыс. км морского побережья. Судоходные внутренние водные пути России являются важнейшей частью транспортной инфраструктуры страны.

Водными путями называют *водные пространства* и *водотоки*, которые используются для перевозки грузов и пассажиров.

Водными пространствами являются океаны, моря, озера, водохранилища, образуемые речными гидроузлами, а водотоками – реки и их притоки и каналы.

Ниже даны некоторые основные определения.

Море – часть Мирового океана, обособленная сушей или возвышением дна и отличающаяся от океанической акватории соленостью и температурой вод, характером течений, приливами или строением земной коры дна.

Моря подразделяются на *окраинные* (хорошо сообщаются с океаном – Баренцево, Карское, Берингово и др.), *средиземные* (наоборот, отделены от океана и сообщаются с ним узкими проливами, разделяются на межматериковые и внутриматериковые – Балтийское, Черное, Белое и др.) и *межостровные* (окружены кольцом островов или островных дуг – Соломоново, Фиджи и др.).

Морское пространство, прилегающее к побережью страны, в свою очередь делится на:

- внутренние морские воды;
- территориальное море;
- прилежащую и исключительную экономическую зоны.

К *внутренним морским водам* отнесены воды морских и рыбных портов, бухт, губ, заливов и лиманов, находящиеся под полным сувере-

нитетом страны. Внешняя граница территориального моря располагается на удалении 12 морских миль от внешней кромки внутренних морских вод и является государственной границей на море.

Для движения судов на судоходных водных путях выделяется наиболее глубокая полоса, именуемая *судовым ходом (фарватером)*, который характеризуется шириной, глубиной, радиусом закруглений, габаритами шлюзов и т. п.

В зависимости от режима судоходства водные бассейны делятся на:

- бассейны с морским режимом судоходства, где действуют Международные правила предупреждения столкновения судов (МППСС) в море;
- бассейны с внутренним режимом судоходства, где действуют Правила плавания по внутренним водным путям;
- несудоходные бассейны.

В зависимости от удаленности портов (убежищ) и гидрометеословий водные бассейны делятся на:

- *морские;*
- *прибрежные;*
- *внутренние водные бассейны.*

Прибрежные морские (в пределах не более 12 миль от побережья) и внутренние водные бассейны делятся на:

- бассейны 1 разряда (прибрежные морские и внутренние водные бассейны с высотой волн 1,8 м 3 %-й обеспеченности);
- бассейны 2 разряда (внутренние водные бассейны с высотой волн 1,5 м 1 %-й обеспеченности);
- бассейны 3 разряда (внутренние водные бассейны с высотой волн 1,2 м 1 %-й обеспеченности);
- бассейны 4 разряда (внутренние водные бассейны с высотой волн 0,6 м 1 %-й обеспеченности);
- бассейны 5 разряда (внутренние водные бассейны с высотой волн 0,25 м 1 %-й обеспеченности).

2. ВОДНЫЕ ПУТИ

Водные пути подразделяются на *внутренние* и *внешние*.

2.1. Внутренние водные пути

Внутренние водные пути включают в себя реки, озера, водохранилища, каналы, расположенные на территории одного государства и подразделяются на:

- судоходные;
- несудоходные;
- сплавные;
- искусственные и естественные;
- круглонавигационного или периодического использования.

Рекой называется постоянный водный поток значительных размеров с естественным течением по руслу от истока вниз до устья.

Озеро – это естественная котловина (впадина) земной поверхности, заполненная водой и не имеющая прямого соединения с морем. Озера питаются подземными и поверхностными водами, делятся на бессточные, сточные и проточные.

Водохранилище – искусственное озеро, созданное путем перекрытия русла реки плотиной. Водохранилища условно делятся на три зоны: верхнюю (речную), среднюю (озерно-речную) и нижнюю (озерную). Условия судоходства на крупных озерах и водохранилищах подобны условиям плавания в прибрежных морских районах.

2.1.1. Внутренние водные пути в мире

Общая длина ВВП в мире составляет порядка 550 тыс. км. Протяженность ВВП 5-ти первых стран составляет: Китай около 136 тыс. км, Россия около 101,5 тыс. км, Бразилия около 50 тыс. км, Вьетнам около 47,1 тыс. км, США около 41 тыс. км.

Наибольший объем перевозок грузов внутренним водным транспортом приходится на Китай (свыше 800 млн т), по грузообороту лидируют США (свыше 400 млрд т·км). Речной транспорт Китая выполняет около 1/4 всего объема перевозок по стране, речной транспорт США – 11-13 %.

Ниже даны краткие сведения о ВВП этих стран и Европы.

Китай изобилует реками, их более 50 000. Почти все крупные реки в Китае относятся к внешней речной системе, прямо или косвенно впадающих в море. На западе местность Китая высокогорная, а на востоке низкая, большинство его рек текут на восток и впадают в Тихий океан, в том числе Янцзы, Ляохэ и Хайхэ.

Крупнейшие реки в Китае: *Янцзы* – 6 300 км, *Хуанхэ* и *Жёлтая река* – 5 464 км, *Хэйлуцзян* – 4 370 км, *Сунгари* – 1 927 км, *Чжуцзян* – 2 200 км. Они в основном берут начало в горах на Западе страны, а судходная часть располагается в восточной части. Общая протяженность судходных фарватеров составляет 7,8 тыс. км. Схема рек Китая показана на рис. 1. Река Янцзы – третья по величине река в мире после Нила и Амазонки, и самая длинная и многоводная река Евразии, которая вышла на первое место в мире по объему речных грузовых перевозок.

Вьетнам прорезан многочисленными реками, часто разветвляющимися в низовьях на рукава и протоки. Они относятся к бассейну Южно-Китайского моря и в большинстве своем текут с северо-запада на юго-восток, совпадая с простиранием горных хребтов и направлением главных тектонических линий.

Меконг – крупнейшая река Вьетнама. Это также одна из крупнейших рек мира, начинающаяся далеко в Тибете. Общая длина ее около 4 400 км, но во Вьетнаме находится лишь сравнительно небольшой отрезок нижнего течения, где Меконг дробится на многочисленные рукава и протоки, которые имеют свои названия и уже сами по себе являются широкими и полноводными реками. Эти рукава и протоки соединены к тому же множеством каналов. Самых крупных рукавов девять, отчего река и получила свое название *Кыулонг* («девять драконов»).

Вторая по величине река Вьетнама – *Хонгха* (или *Шонгхонг*). Она достигает 1 800 км длины и берет начало в горах Китая.

Во Вьетнаме находится лишь около трети ее нижнего течения.

Судходные реки **Бразилии** имеют важное значение в межрайонных связях. Благоприятные предпосылки для развития речного транспорта используются еще слабо. Прежде всего это объясняется сложными физико-географическими условиями и невысокой плотностью населения. Судходство наиболее развито на реках *Амазонка* (протяженностью в 7 000 км), *Парана* (2 600 км) и *Сан-Франсиску* (2 900 км).

Важнейшими речными портами являются Манаус и Белен. Два речных пути обеспечивают водное сообщение внутри Бразилии и связывают ее с соседними странами на юге и юго-востоке: Парана – Парагвай и Тиете – Парана, называемый также «Водный путь Меркосул».



Рис. 1. Схема основных рек Китая

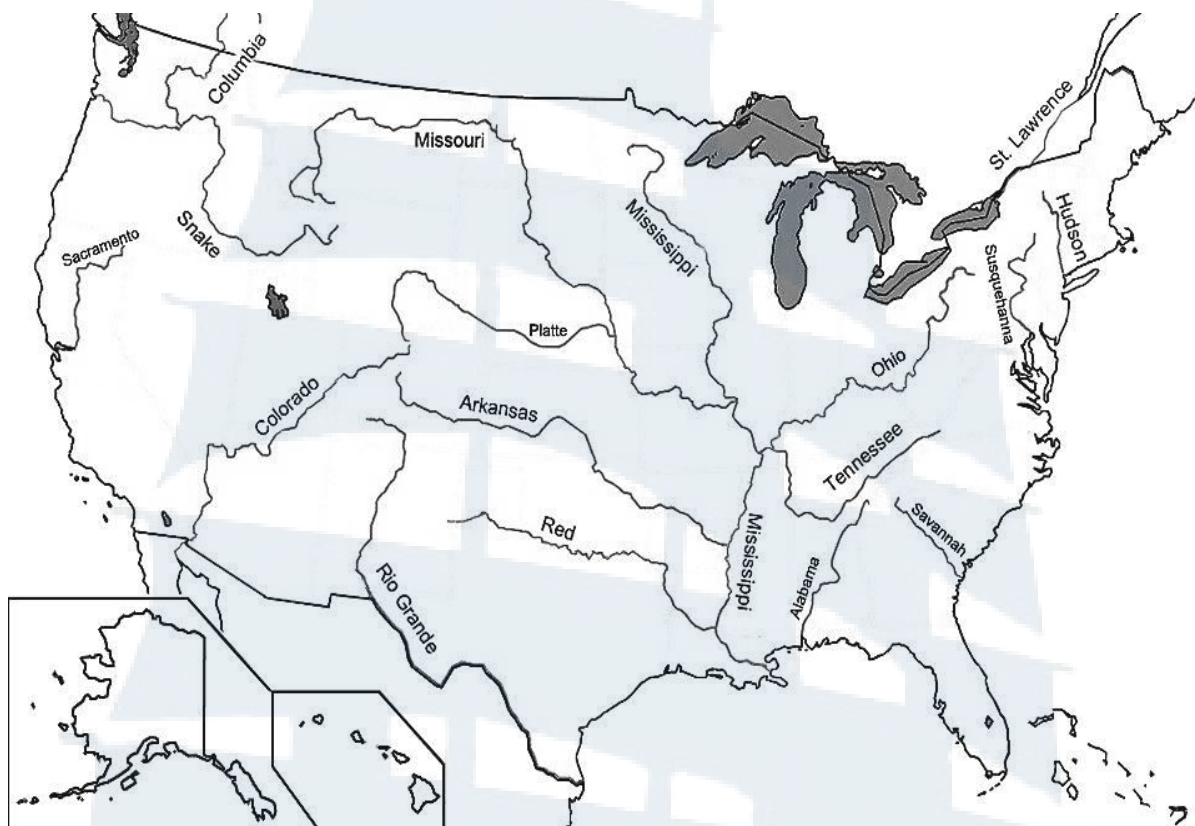


Рис. 3. Основные водные пути США

Внутренний водный транспорт играет важную роль для транспортировки грузов в **Европе**. По сравнению с другими видами транспорта, которые часто сталкиваются с перегрузкой, проблемой пропускной способности, внутренний водный транспорт характеризуется его надежностью, относительно низким воздействием на окружающую среду и потенциалом для более широкого использования. Вопросами создания Единой сети занимается соответствующая комиссия ЕС, а также специальная рабочая группа Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН). Европейская комиссия призвана содействовать и укреплять конкурентные позиции внутренней транспортной системы и содействовать ее интеграции в интермодальных транспортных решений.

В экономике таких стран, как **ФРГ, Нидерланды, Франция, Бельгия, Австрия** внутренний водный транспорт играет довольно большую роль. Этому способствует последовательная транспортная и техническая политика, проводимая в Европе на уровне Европейской конференции министров транспорта (ЕКМТ). В 1964 г. ЕКМТ утвердил список, включающий 12 проектов строительства и реконструкции водных путей в целях создания Единой сети европейских ВВП, в том числе каналы *Рейн-Майн-Дунай, Дунай-Одер-Эльба, Маас-Рейн* и др.

В 1996 г. Комитет по внутреннему транспорту ЕЭК ООН подготовил Соглашение, рассматривающее европейские ВВП как систему, обладающую следующими основными характеристиками: однотипность (пригодность для стандартных типов судов и составов); пригодность для международных перевозок, в том числе в сообщении «река-море»; целостность (обеспечивается сквозное межбассейновое судоходство), а также достаточная пропускная способность водных путей. К настоящему времени участниками Соглашения стали около полутора десятков европейских стран, в том числе Россия.

Более 50 тыс. километров внутренних водных путей соединяют сотни городов и промышленных регионов в странах ЕС. По длине внутренних водных путей Европа существенно отстает от других регионов мира, в том числе Франции – 8,5 тыс. км, Финляндии – 7,8 тыс. км, ФРГ – 7,5 тыс. км, Нидерландов – 6,2 тыс. км. Двадцать государств-членов ЕС, которые имеют внутренние водные пути, 12 из которых имеют взаимосвязанную сеть путей.

Крупнейшие судоходные реки Европы, показанные на рис. 4, помимо протекающих по территории России, – *Дунай* (2 414 км от Кельхайма в Баварии), *Рейн* (952 км от Базеля), *Эльба* (950 км), *Висла* (940 км), *Маас* (880 км), *Одер* (790 км).

Сквозная воднотранспортная магистраль имеет протяженность 3503 км и проходит по территории пятнадцати европейских стран: десяти придунайских (включая Германию) и пяти рейнских. Каналом пользуются многие государства Европы. К настоящему времени сложились достаточно устойчивые соотношения флагов в перевозке грузов по каналу: на ФРГ приходится 50-55 % объемов перевозок, на Нидерланды – 25-30 %, Бельгию – 6 %, Австрию – 4-6 %, Венгрию – 2-4 %, Словакию – 2 %, Люксембург и Францию – менее 1 %, на остальные страны – менее 0,5 %. По каналу идут не только торговые, но и многочисленные туристические суда.

Рейн – самая загруженная река мира. Общий объем перевозок по Рейну составляет около 300 млн т. В среднем течении по нему проходит до 120 судов в день. Длина водных путей в его бассейне – 3 000 км. Рейн судоходен на протяжении 952 км вплоть до Базеля и по Баденскому озеру. Он соединен каналами с Роной, Марной, Везером и Эльбой.

Дунай – вторая крупнейшая река в Европе, протяженность составляет 2 783 км. Из них 2 414 км – судоходные, а длина судоходных путей всего дунайского бассейна – более 5 000 км.



Рис. 4. Схема основных судоходных рек Европы

Речная сеть **России** является одной из самых развитых в мире и насчитывает около 2,7 миллионов рек и ручьев, из которых около 90 % принадлежат бассейну Северного Ледовитого и бассейну Тихого океанов, а 10 % – бессточным внутренним бассейнам (Каспийское море) и бассейну Атлантического океана (Азово-Черноморский и Балтийский бассейны).

По данным 2018 г. общая протяженность ВВП федерального значения составляет 101 484,8 км на территории 64 субъектов Российской Федерации, из них с гарантированными габаритами судовых ходов 49 872,6 км; с выставлением средств навигационной обстановки 53 044,6 км, из них с круглосуточным движением судов 38 285,3 км. Схема внутренних водных путей РФ показана на рис. 5.

Большая часть грузов перевозится по Единой глубоководной системе европейской части России (ЕГТС) – системе внутренних водных путей протяженностью 6 500 километров, связывающей Белое и Балтийское моря, Онежское и Ладожское озёра, реки *Волга, Москва, Кама, Дон*, Каспийское и Азовское моря. Образована комплексом из 741 гидротехнического сооружения, входящего в Волжско-Камский каскад ГЭС, каскад гидроузлов реки *Дон, Волго-Донской, Волго-Балтийский и Беломорско-Балтийский каналы*, которые помимо пропуска судов и выработки электроэнергии, решают комплексные задачи водоснабжения, обводнения рек, поддержания напорного фронта водохранилищ, защиты территории и населения от техногенных катастроф и паводков. Гарантированные глубины на всем протяжении ЕГТС не менее 4,5 метров, что позволяет проходить по ней не только речным судам и судам класса река-море, но и небольшим морским судам. Схема ЕГТС показана на рис. 6. Транспортный комплекс региона Сибири и Дальнего Востока традиционно ориентируется на внутренние водные пути – реки *Обь, Иртыш, Енисей, Ангара, Лена, Яну, Колыму, Индигирку, Амур*. На речной транспорт приходится подавляющее большинство грузовых перевозок в отдаленные районы Крайнего Севера и Северо-Востока. Схема основных водных путей Сибири и Дальнего Востока показана на рис. 7.

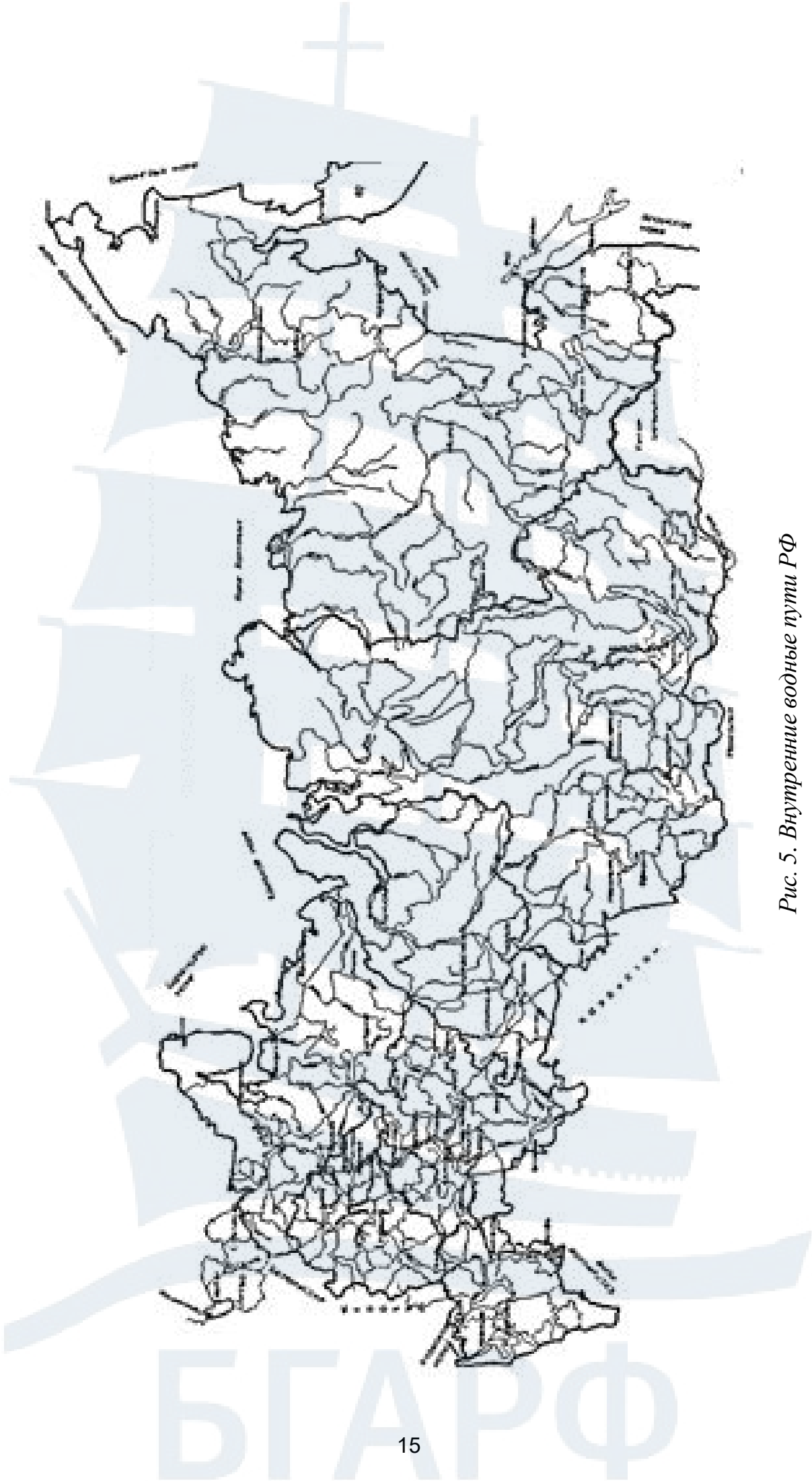


Рис. 5. Внутренние водные пути РФ



Рис. 6. Схема ЕГТС

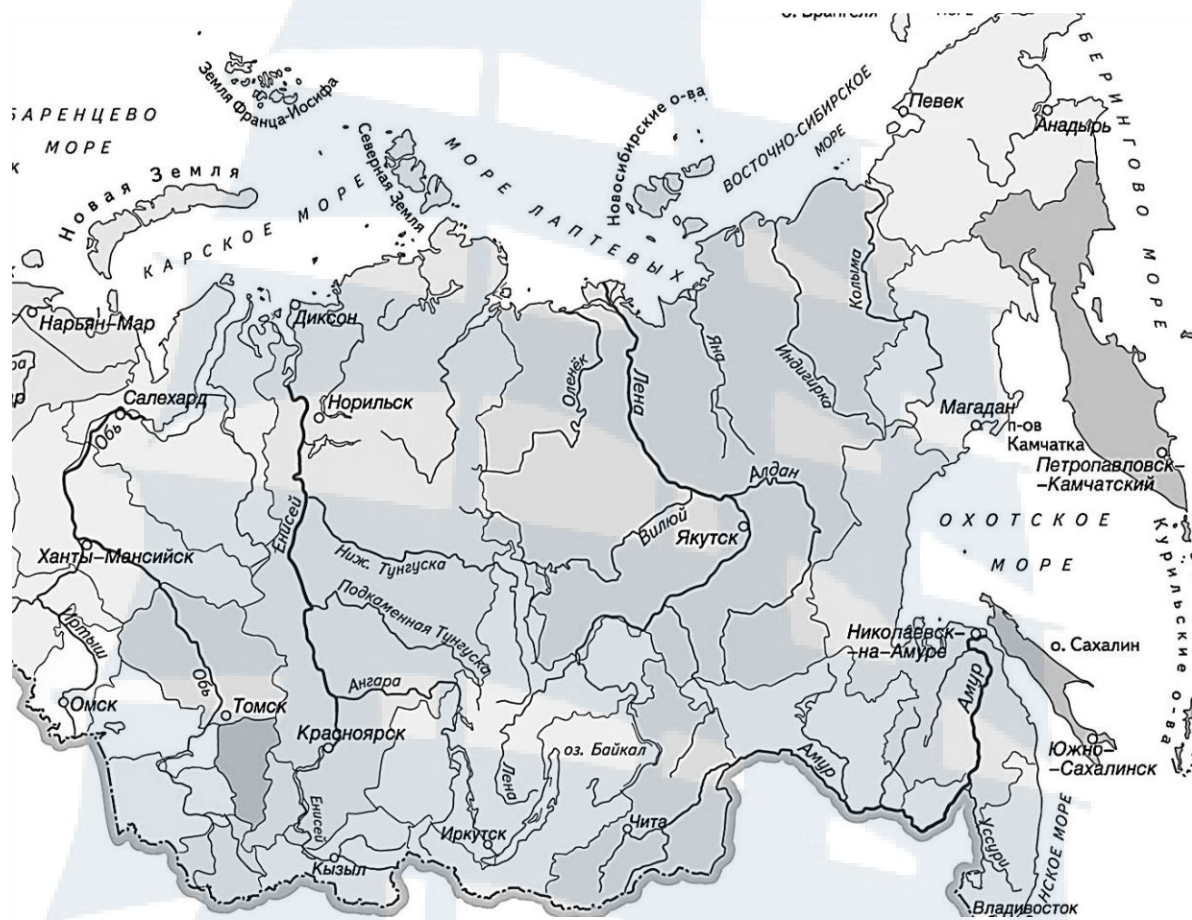


Рис. 7. Схема основных водных путей Сибири и Дальнего Востока

2.1.2. Классификация внутренних водных путей (ВВП)

В зависимости от условий ветроволнового режима ВВП по Правилам Речного регистра РФ разделены на следующие четыре разряда:

- «М» (морской) — при высоте и длине волны соответственно 3 и 4 м;
- «О» (озерный) – 2 и 20 м;
- «Р» (речной) – 1,2 и 12 м;
- «Л» (легкий) – при высоте и длине волны менее 1,2 и 12 м.

Например, к разряду «М» относятся озера Байкал, Ладожское, Онежское; к разряду «О» – большие водохранилища и низовья крупных сибирских рек.

Габариты судового хода на водном пути, а также глубины на нем должны соответствовать размерениям, осадке и составам наибольших

плавающих по нему судов и плотов. Судовым ходом называется непрерывная полоса водного пространства на входящих в состав водного пути реках, озерах и морях, а также подпертых бьефах и водохранилищах, в пределах которой обеспечены заданные габариты – ширина и глубина.

По транспортному значению в зависимости от их характеристик и использования транспортным и техническим флотом ВВП подразделяются на семь классов и четыре категории (табл. 1):

- *сверхмагистральные* 1 и 2 классов;
- *магистральные* 3 и 4 классов;
- *пути местного значения* 5, 6 и 7 классов;
- *малые реки*.

Таблица 1

Категории внутренних водных путей

Категория водного пути	Глубина судового хода		
	наименьшая гарантированная		используемая флотом в среднем за навигацию, мес.
	м	обеспеченностью, %	
I – сверхмагистральные	более 2,6	99	более 3,0
II – магистральные	1,1÷2,6	98	1,65÷3,0
III – пути местного значения	0,6÷1,4	97	1,0÷1,65
IV – малые реки	0,45÷0,8	95	до 1,0

По условиям обеспечения безопасности судоходства ВВП подразделяются на семь классов:

- 1) внутренние водные пути с гарантированными габаритами судовых ходов и освещаемой навигационной обстановкой;
- 2) внутренние водные пути с гарантированными габаритами судовых ходов и со светоотражающей навигационной обстановкой;
- 3) внутренние водные пути с гарантированными габаритами судовых ходов и с неосвещаемой навигационной обстановкой;
- 4) внутренние водные пути без гарантированных габаритов судовых ходов и с освещаемой навигационной обстановкой;
- 5) внутренние водные пути без гарантированных габаритов судовых ходов и со светоотражающей навигационной обстановкой;

б) внутренние водные пути без гарантированных габаритов судовых ходов и с неосвещаемой навигационной обстановкой;

7) внутренние водные пути без гарантированных габаритов судовых ходов и без навигационной обстановки.

Классификация европейских внутренних водных путей, разработанная Европейской конференцией министров транспорта (ЕСМТ) в 1992 г. – это набор стандартов, определяющих судоходность и пропускную способность водных путей в Европе, включая Россию. Классификация представлена в табл. 2.

Таблица 2

Классификация европейских внутренних водных путей

Класс водных путей	Водоизмещение, т	Максимальная длина, м	Максимальная ширина, м	Осадка, м	Минимальная высота под мостами, м
I	250÷400	38,5	5,05	1,8÷2,2	3,7
II	400÷650	50,0÷55,0	6,6	2,5	3,7÷4,7
III	650÷1 000	67,0÷80,0	8,2	2,5	4,7
IV	1 000÷1 500	80,0÷85,0	9,5	2,5	4,5; 6,7
Va	1 500÷3 000	95,0÷110,0	11,4	2,5÷4,5	4,95; 6,7; 8,8
Vb	3 200÷6 000	172,0÷185,0	11,4	2,5÷4,5	4,95; 6,7; 8,8
VIa	3 200÷6 000	95,0÷110,0	22,8	2,5÷4,5	6,7; 8,8
VIb	6 400÷12 000	185,0÷195,0	22,8	2,5÷4,5	6,7; 8,8
VIc	9 600÷18 000	270,0÷280,0	22,8	2,5÷4,5	8,8
	9 600÷18 000	195,0÷200,0	33,0÷34,2	2,5÷4,5	8,8
VII	14 500÷27 000	285,0	33,0÷34,2	2,5÷4,5	8,8

2.1.3. Определения и терминология внутренних водных путей

ГОСТ 23903-79 «Пути водные внутренние и их навигационное оборудование. Термины и определение» устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий в области внутренних водных путей и их навигационного оборудования, показанные в табл. 3.

Таблица 3

Определения терминов внутренних водных путей

Термин	Определение
Внутренний водный путь	Реки, озера, водохранилища и каналы, пригодные для судоходства и лесосплава
Внутренний судоходный путь	Внутренний водный путь, используемый для движения судов
Класс внутренних водных путей	Группа внутренних водных путей, устанавливаемая в зависимости от габаритов судового хода. 1. Класс внутренних водных путей устанавливают органы речного транспорта. 2. Класс внутренних водных путей применяют, как правило, при установлении подмостовых судоходных габаритов
Разряд внутренних водных путей	Группа внутренних водных путей, устанавливаемая в зависимости от волнового режима.
Судовой ход	Водное пространство на внутреннем судоходном пути, предназначенное для движения судов и обозначаемое на местности или на карте
Ось судового хода	Условная линия, проходящая в средней части судового хода
Кромка судового хода	Условная линия, ограничивающая судовой ход по ширине. Различают левобережную и правобережную кромки

Термин	Определение
Габариты судового хода	Глубина, ширина, надводная высота и радиус закругления судового хода
Гарантированные габариты судового хода	Установленные наименьшие габариты судового хода при проектном уровне воды
Дифференцированная глубина судового хода	Глубина судового хода, величина которой устанавливается в зависимости от высоты уровня воды на опорном гидрологическом посту
Правый берег внутреннего водного пути	Берег внутреннего водного пути, расположенный справа от наблюдателя, обращенного лицом по течению воды. На каналах, озерах и водохранилищах направление течения принимают условно и устанавливают в навигационных документах
Левый берег внутреннего водного пути	Берег внутреннего водного пути, расположенный слева от наблюдателя, обращенного лицом по течению воды

Перечни внутренних судоходных путей устанавливаются и объявляются для судоходства на каждый год Департаментом речного транспорта Минтранса РФ. Внутренние судоходные пути подразделяются на *естественные (свободные)* – реки (Амур, Лена, Енисей, Обь, Иртыш, Печора, Урал, Северная Двина, Нева, Вятка, Белая и др.) и озера, используемые для судоходства в естественном состоянии, и *искусственные (зарегулированные)* – каналы, водохранилища и реки (Волга, Кама, Дон и др.), режим стока (речного) и уровни воды которых значительно изменены возведенными на них гидротехническими сооружениями.

На водных путях в последние годы широко применяют суда смешанного плавания «река – море», которые могут выходить через устья рек в море и плавать до расположенных на нем портов или входить в устья других рек. Их используют, в частности, для перевозки грузов между портами в волжском речном бассейне и многими морскими портами на Балтийском, Северном, Средиземном и других морях. По некоторым искусственным водным путям, в том числе по р. Св. Лаврентия после шлюзования ее к Великим озерам США, ходят и морские суда.

2.1.4. Особенности перевозок грузов по внутренним водным путям

Основными техническими особенностями перевозок грузов по внутренним водным путям являются относительно небольшая скорость движения по ним судов и сезонность перевозок грузов. Удельное (на 1 т перевозимого груза) сопротивление движению судов по внутренним водным путям ограниченной глубины при небольших скоростях в несколько раз меньше, чем железнодорожных вагонов по рельсам и тем более автомобильного транспорта по дорогам. Но при увеличении скорости движения водоизмещающих судов по воде сопротивление ему растет очень быстро и при обычных в настоящее время для железнодорожных составов высоких технических скоростях движения становится даже больше, чем у последних. Поэтому на внутренних водных путях даже самоходные грузовые суда ходят с относительно небольшими скоростями, редко превышающими в спокойной воде 20÷22 км/ч.

Техническим преимуществом внутренних водных путей перед другими видами транспорта является возможность перевозки по ним крупногабаритных грузов.

Основной и существенный недостаток внутренних водных путей состоит в сезонности перевозок по ним грузов в связи с перерывами между навигациями на зимний период, когда реки покрыты льдом. Перерыв перевозок на зиму тем больше, чем севернее расположен водный путь. Так, длительность навигации на Северной Двине составляет всего 5÷6 месяцев, на Волге – 7÷8 месяцев и лишь на таких реках, как Дунай – 10÷11 месяцев. Однако в последние годы получены реальные результаты по продлению навигации (на 0,5÷1,0 и более месяца) ледокольными работами.

Зимний перерыв в навигации заставляет складировать на это время часть грузов, что требует соответствующих площадей портовых территорий и складских помещений и вызывает дополнительные капиталовложения и эксплуатационные затраты.

Транспортные особенности внутренних водных путей обуславливают перевозку по ним преимущественно массовых навалочных и сыпучих грузов – угля, руды, нерудных, строительных и других подобных материалов, погрузка и выгрузка которых легко механизуется и относительно дешева, а для хранения их в межнавигационный период не требуются складские помещения. Эти грузы составляют большую часть перевозок по внутренним водным путям (в последние годы более 60 % общего объема перевозок). По внутренним водным путям перевозятся

в плотях также значительная часть круглого леса, а по направлениям, по которым нет магистральных нефтепроводов, и нефтегазу.

2.2. Внешние водные пути

Внешние водные пути – моря и океаны – ввиду больших глубин используются для судоходства в основном в естественном состоянии. Лишь на подходах к морским портам, расположенным на мелководных участках или в устьях рек, где глубины недостаточны для прохода судов с большой осадкой, в состав внешних водных путей входят искусственные участки – *каналы*.

Судоходный канал – искусственный водный путь, предназначенный для соединения отдельных водных объектов (рек, озер, морей и океанов). Кроме транспортных связей каналы могут использоваться для водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий, орошения земель и решения других водохозяйственных целей.

2.2.1. Классификация каналов

По назначению – подходные, соединительные, обходные.

Подходной канал к порту – это искусственное углубление в морском дне или в устье реки на подходах к порту на участках с недостаточными для прохода судов глубинами, имеющее знаки навигационной обстановки. Под действием морских волн и течений такие каналы часто заносит песком и илом, поэтому его иногда ограждают насыпными надводными или подводными дамбами. Протяженность канала может достигать 10 км и более, и его эксплуатация требует больших расходов на ремонтные дноуглубительные работы.

На рис. 8 показана схема подходного канала к порту Калининград. Калининградский морской канал (КМК) – гидротехническое сооружение, находящееся в Калининградском заливе, огражденное от остальной части Калининградского залива искусственными насыпными островами (дамбами). Протяжённость канала составляет 23 мили, ширина 50÷80 м, глубина 9÷10,5 м.

По каналу могут проходить суда длиной до 200 м с осадкой до 8,0 м, а на участке канала длиной 22,6 км от входных молов до причалов стивидорной компании ЗАО «Содружество» с осадкой до 9,4 м и грузоподъемностью 30 000 т. Навигация по каналу осуществляется круглогодично. С января по конец марта канал может покрываться тонким слоем льда. Из-за узости канала нельзя было организовать одновременное

двустороннее движение, что ограничивало частоту захода судов к причалам. С июля 2007 г. по каналу частично осуществляется двустороннее движение судов. Средняя разрешенная скорость движения судов по каналу 8 узлов, время прохождения канала составляет около 3 часов. На рис. 9 показан вид на входные молы в Балтийске, а на рис. 10 искусственные дамбы.



Рис. 8. Схема Калининградского морского канала



Рис. 9. Входные молы в Балтийске



Рис. 10. Дамбы КМК

Соединительные каналы служат для соединения водным путем рек разных бассейнов, а также для соединения рек, озер и морей.

Суэцкий канал протяженностью 161 км, шириной от 120 до 318 м глубиной 20 м соединяет Средиземное и Красное море. На рис. 11 показана карта канала, а на рис. 12 – проход судов по каналу.

Беломорско-Балтийский канал (ББК) – соединительный между Белым и Балтийским морями. Общая протяжённость канала – 227 км, габариты фарватера: глубина – 4 м, ширина – 36 м. Схема канала показана на рис. 13, вид канала на рис. 14.

Обходные каналы, проходящие в обход труднопроходимых участков открытых водоемов, например, озёр и морей, порогов и других участков водного пути, недоступных для судоходства или на которых обеспечить судоходство технически трудно или экономически нецелесообразно или в обход препятствий, опасных для судоходства на отдельных участках естественного водного пути (каменистое русло реки, пороги, водопады, волновой режим озер, морей и океанов и т.п.).



Рис. 11. Карта Суэцкого канала



Рис. 12. Суда на Суэцком канале



Рис. 13. Карта Беломорско-Балтийского канала



Рис. 14. Вид Беломорско-Балтийского канала

Примерами таких каналов могут служить канал в долине реки Выг по трассе Беломорско-Балтийского канала, Уэллендский канал в Канаде между озерами Эри и Онтарио в обход Ниагарского водопада, Новола-

дожский канал, который использовался для судоходства в периоды штормов и другие.

Новоладожский обходной канал проложен по южному берегу озера Ладога. Длина канала около 110 км, исток – река Свирь, устье – река Нева. Схема канала показана на рис. 15. На рис. 16 показан проход судна по Новоладожскому каналу.



Рис. 15. Схема Новоладожского канала



Рис. 16. Новоладожский канал

По способу питания каналы бывают самотечные и с искусственным питанием.

В самотечные каналы вода поступает непосредственно из реки или озера и сама распространяется по всему каналу. Такие каналы наиболее просты и дешевы в эксплуатации.

У каналов с искусственным питанием воду из источника при помощи насосов накачивают в водораздельный бьеф, откуда она стекает самотеком. Например, на Волго-Донском канале построены три насосные станции, имеющие по три мощных насоса, каждый из которых перекачивает $15 \text{ м}^3/\text{с}$ воды.

По регулируемости уровня воды каналы делятся на шлюзованные (закрытые), отделенные от моря шлюзами, и в которых можно регулировать уровень воды и глубину канала (Панамский, Кильский, Беломорско-Балтийский канал), и открытые, к которым относится большинство подходных каналов, т. е. непосредственно сообщающиеся с морем.

Каналы со шлюзами (закрытые) меньше подвержены внешним воздействиям, но на этих каналах могут наблюдаться воздействия от судовых волн, струй воды от движителей. Если в закрытом канале имеются внутренние шлюзы, они делят канал на отдельные бьефы. Внутренние шлюзы устраивают для уменьшения глубины выемок при прокладке канала через возвышенности, а также для продления перепада уровней воды в соединяемых каналом бассейнах. Если периоды незначительны, то и соединительные каналы прокладывают без шлюзов. Вода в шлюзованные каналы подается самотеком (самотечные каналы) или насосными станциями (машинные каналы). Шлюзованные каналы имеют в своем составе различные напорные гидротехнические сооружения – плотины, шлюзы, насосные станции, дамбы, гидроэлектростанции, водоспуски, и представляют собой зарегулированные участки водного пути. Концы таких каналов, как правило, выходят в водные объекты с различными отметками уровней воды, а трасса каналов может проходить через один или несколько водоразделов между водосборными бассейнами рек, озер и морей.

Шлюзованные каналы могут быть обходными (Белозерский, Уэллендский) и соединительными (Волго-Балтийский, Панамский и др.), одноклонными (Уэллендский, Сайменский) и двухсклонными (Волго-Донской, Кильский и многие другие каналы России и мира).

В шлюзованных каналах обеспечиваются зарегулированные водные режимы бьефов и гарантированные судоходные глубины, отсутствуют течения и меньшая их заносимость по сравнению с открытыми каналами. К основным недостаткам таких каналов можно отнести нали-

чие дорогостоящих напорных гидротехнических сооружений и необходимость шлюзования при проходе судов, а также затруднения с питанием каналов водой, в особенности на водораздельных участках.

На рис. 17 показана схема Панамского канала, который проходит по наиболее узкой части Панамского перешейка между Карибским морем и Панамским заливом в Тихом океане. Общая шлюзованная длина канала по Панамскому перешейку – 65,2 км, включая подходные морские каналы – 81,6 км.

Шлюзы канала показаны на рис. 18. Минимальная ширина канала – 91,5 м, глубина 13,7 м. Изначально параметры шлюзов канала были: ширина 33,53 м, длина 304,8 м, глубина 12,5 м. Максимальные размеры судна, способного преодолеть Панамский канал, были 32,3 м в ширину и 294,1 м в длину, осадка не более 12 м и высота от ватерлинии до самой высокой точки судна не должна была превышать 62,5 м. После модернизации канала значительно увеличились шлюзовые камеры. Теперь они длиной 427 м, шириной 55 м и глубиной 18,3 м. Они обеспечивают прохождение судов шириной до 49 м и длиной до 366 м с максимальной осадкой 15 м.

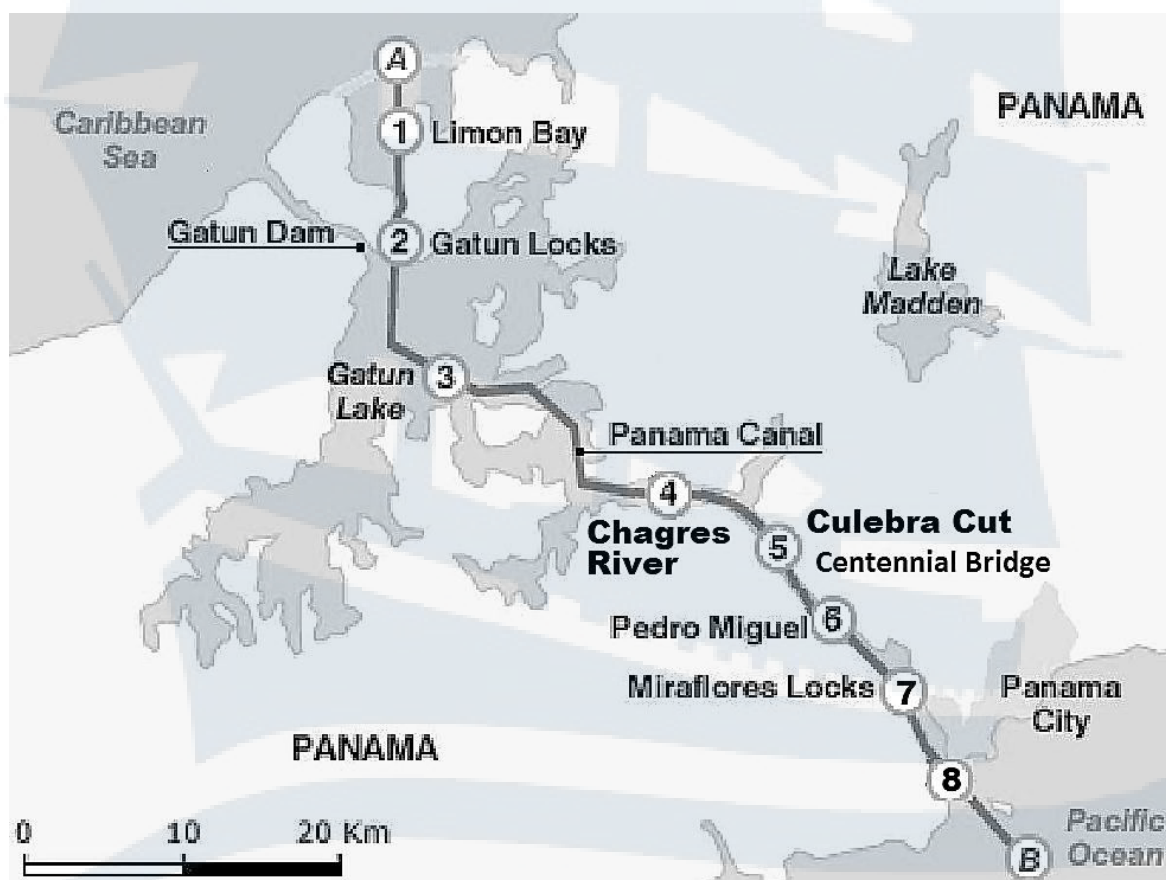


Рис. 17. Схема Панамского канала

Открытые каналы были описаны и показаны выше – Калининградский морской канал и Суэцкий канал. Открытые каналы не имеют в своем составе напорных сооружений и соединяют водные объекты примерно с одинаковыми отметками уровней воды. Примерами таких каналов являются: Суэцкий (Средиземное и Красное моря), обходной Ладожский и другие. К достоинствам открытых каналов относятся: хорошая обеспеченность их питания водой и свободное движение судов, а к недостаткам – большие объемы земляных работ, связанные с рельефом местности и необходимостью обеспечения гарантированных судоходных глубин, а также наличие течения при изменяющихся отметках уровней воды в соединяемых водоемах. Также к открытым относится морской канал Санкт-Петербурга – искусственный фарватер в Невской губе, проходящий от устья реки Большая Нева до острова Котлин. Длина канала 29,6 км, ширина по дну 85-120 м, глубина 12,5 м. Предназначен для прохода судов в морской порт Санкт-Петербург. По каналу возможно движение судов с осадкой не более 11 м (на пресную воду), длиной не более 320 м и шириной не более 42 м.



Рис. 18. Шлюзы Панамского канала

По классу проходящих судов: морские, озерные и речные. Морские каналы предназначены для плавания по ним морских судов и имеют большие размеры по ширине и глубине. Морскими каналами являются Суэцкий, Панамский, Петербургский, Вентспилский и др. По ним могут ходить и суда смешанного (река-море) плавания. Речные и озерные ка-

По условиям прокладки и расположения: по дну морей, озер, водохранилищ и в руслах рек, по суше в материке. Каналы, прокладываемые по дну водных объектов, как правило, являются подходными каналами к пристаням, портам и другим объектам (Петербургский, Архангельский, Волго-Каспийский и др.).

Они имеют неполное поперечное сечение: их нижняя часть является прорезью (выемкой) на дне водоема, а верхняя часть находится в водоеме. Каналы, прокладываемые по суше материка, выполняются в выемке, полувыемке, полунасыпи и реже в насыпи; они имеют полное поперечное сечение.

По условиям эксплуатации: с односторонним и двухсторонним режимом движения судов. Каналы с односторонним движением имеют меньшую ширину судового хода, чем каналы с двухсторонним движением.

По длительности навигации различают каналы круглогодичного и сезонного плавания судов. Каналы с сезонными условиями плавания расположены в климатических зонах с длительными периодами отрицательных температур (каналы Северной Америки, северо-западной и центральной части России и др.).

По использованию: судоходные каналы и каналы комплексного назначения. Каналы комплексного назначения, кроме судоходства, используются и для решения других водохозяйственных целей, таких, как орошение земель (Волго-Донской, Каракумский), водоснабжение и обводнение малых рек (канал им. Москвы), гидроэнергетика (Волго-Балтийский, Беломорско-Балтийский и др.) и т. п.

По интенсивности судоходства каналы делятся на три класса:

- 1-й – при суточном судообороте свыше 5 судов;
- 2-й – от 2 до 5 судов;
- 3-й – менее 2 судов.

Речные каналы России подразделяются на семь классов в зависимости от гарантированной глубины судового хода. Речные каналы Западной Европы делятся на шесть классов.

По наличию ограждений – огражденные с обеих сторон (близкий к порту участок канала Санкт-Петербург огражден дамбами; одностороннее – обычно возводимое в наиболее подверженной воздействиям волнения и течений стороны канала (Калининградский канал, огражден дамбами со стороны залива).

Ограниченность ширины канала заставляет по требованиям навигационной безопасности делить фарватеры каналов на две категории.

К *первой категории* относятся фарватеры, у которых ширина полосы движения меньше $1,5 \cdot L_c$, а также фарватеры каналов, по которым плавают суда со взрывоопасными грузами.

К *второй категории* относят все другие фарватеры.

На фарватерах первой категории может быть приостановлено движение судов из-за внезапного перекрытия фарватера по причине остановки одного из впереди идущих судов. Обгон такого судна из-за стесненности невозможен. А на фарватерах второй категории такой обгон возможен.

Каналы также могут различаться по грузообороту, размерам поперечного сечения (максимально допустимой осадке пропускных судов, высотам надводных пересечений, т. е. максимально допустимой высоте надводного габарита судов, характеру грунтов, составляющих его ложе (глинистое, песчаное, илистое, каменистое и т. д.).

Эксплуатационными характеристиками канала являются:

- порядок (режим) пропуска судов (одно- или двухсторонний);
- скорость хода судов;
- время прохождения судов по каналу;
- длительность периода навигации;
- пропускная способность канала;
- грузооборот;
- удобство прохода судов по каналу (заносимость, огражденность).

2.2.2. Трасса канала

Трасса канала – это расположение оси канала на плане местности. Трассу канала намечают по кратчайшему расстоянию между существующими водоемами и стремятся проложить по наиболее низким отметкам местности во избежание больших объемов земляных работ. Необходимо также учитывать, что стоимость каналов зависит от рода разрабатываемых грунтов. Устройство каналов в нескальных грунтах обходится дешевле, чем в скальных.

Трасса канала и его размеры должны удовлетворять ряду требований, часто противоречивых.

Навигационные требования имеют целью обеспечить максимальное удобство и безопасность плавания судов по каналу. Из этих соображений трасса должна быть прямолинейной и близкой к направлению господствующих по частоте ветров, волнения, течений, а в случаях

необходимости состоять из ряда прямых участков, соединенных плавными поворотами. Если по местным условиям полной прямолинейности добиться невозможно, необходимо ограждать канал защитными сооружениями. Количество поворотов трассы и их углы должны быть минимальны, радиусы закруглений не менее пяти длин расчетного судна (как правило, не менее 3 000 м). Отдельные участки трассы могут иметь разные глубину и ширину, и судоходство на них может осуществляться с разной скоростью. На участках примыкания канала к воротам порта канал трассируют без поворотов на расстоянии не менее одной длины тормозного пути расчетного судна и максимально приближающимся к направлению оси входных ворот. Трасса канала на участке подхода к операционной акватории (особенно в случае прокладки канала для судов с опасными грузами) должна быть такова, чтобы угол между направлением движения судна и причалом был минимально возможным. В случае, если трасса расположена перпендикулярно причальному фронту, она должна быть направлена на один конец причала или пирса, что снижает до минимума риск навала судна на причальное сооружение. Направление трассы канала следует выполнять так, чтобы избежать протяженных участков канала с поперечной составляющей скорости течения более 0,8 м/с. Угол поворота с трассы канала или фарватера при заходе в бассейн не должен превышать 90°.

Схема трассы канала и характеристики поворотов и прямолинейных участков показаны на рис. 21, а на рис. 22 – схема радиуса закругления R_k и уширения канала Δb на повороте. При наличии в районе постоянно действующего течения необходимо предусматривать дополнительное уширение канала на повороте от постоянно действующего течения Δb_m .

На рисунках обозначено:

α_m – угол между направлением течения и осью прямолинейного участка канала; β – угол сопряжения уширенной части поворота с прямолинейным участком канала должен быть не более 15°.

Продольный профиль канала. Дно открытого неогражденного канала на всем его протяжении делается горизонтальным. То же и при незначительном уклоне водной поверхности ($\leq 0,001$ %). При более значительном уклоне свободной поверхности (речные участки) дну канала придают соответствующий уклон. Навигационная глубина может изменяться по длине канала, если изменились внешние условия (при переходе с неогражденного к огражденному участку заметно изменяется волновая характеристика, т. е. уменьшается высота волны, что влечет уменьшение волнового запаса и т. п.).

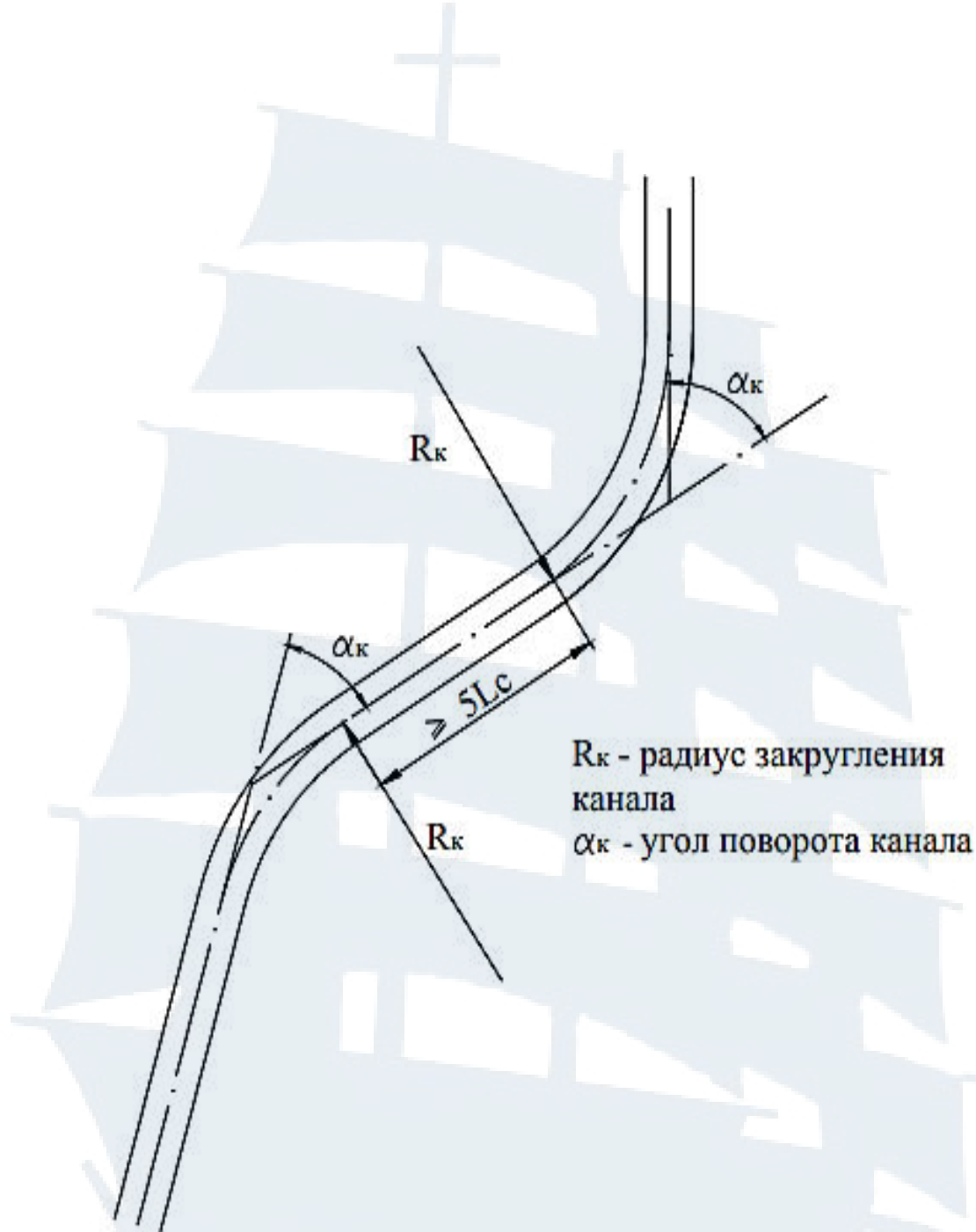


Рис. 21. Схема трассы канала и характеристики поворотов

Экономические требования сводятся к минимизации капитальных затрат на прокладку канала (дноуглубительные работы) и эксплуатационных расходов (ремонтное содержание для поддержания судоходных глубин). С этой целью трассу выбирают с возможно минимальными объемами выемки и относительно легкими в разработке грунтами, однако достаточно устойчивыми на откосах. Трассу внутренних каналов назначают с учетом наибольшего использования естественных водоемов (озер, лиманов и т.п.), что снижает объем земляных работ и снижает затраты по защите берегов от судовых волн.

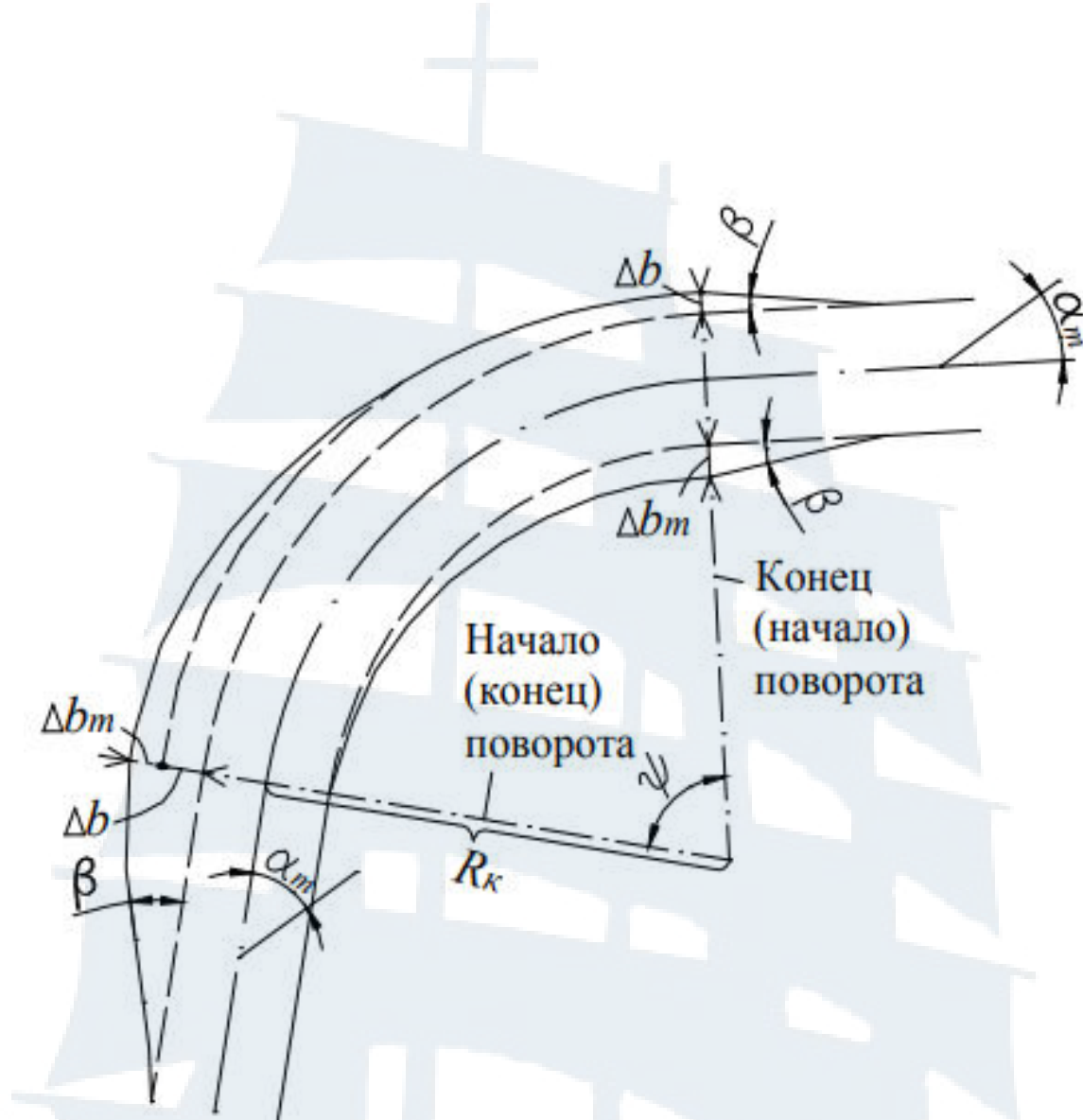


Рис. 22. Схема радиуса закругления и уширения канала

Компоновочные требования направлены на обеспечение возможности наилучшей компоновки оградительных сооружений и акватории порта с учетом дальнейшего развития транспортного узла. Экономически выгодно прокладывать трассу по наибольшим глубинам.

Трассы некоторых каналов в плане показаны на рис. 11, 13, 15, 17, 19. Однако для соединительных каналов характерно наличие различного уровня воды (перепада) в соединяемых водных бассейнах. Как отмечалось выше, это приводит к необходимости шлюзования таких каналов.

Судоходными шлюзами называются напорные гидротехнические сооружения, при помощи которых суда преодолевают изменения уровней воды при переходе из одного бьефа (уровня) в другой². Продольные профили некоторых соединительных каналов показаны на рис. 23, 24.

² Конструктивное описание шлюзов будет дано в разделе 4.1

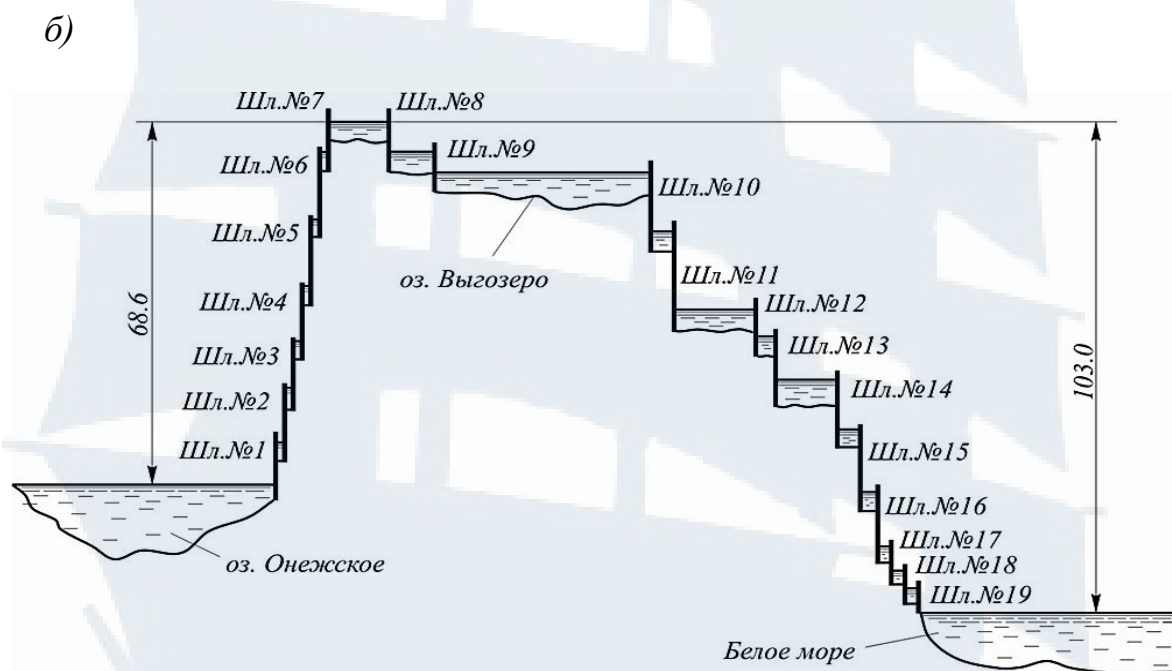
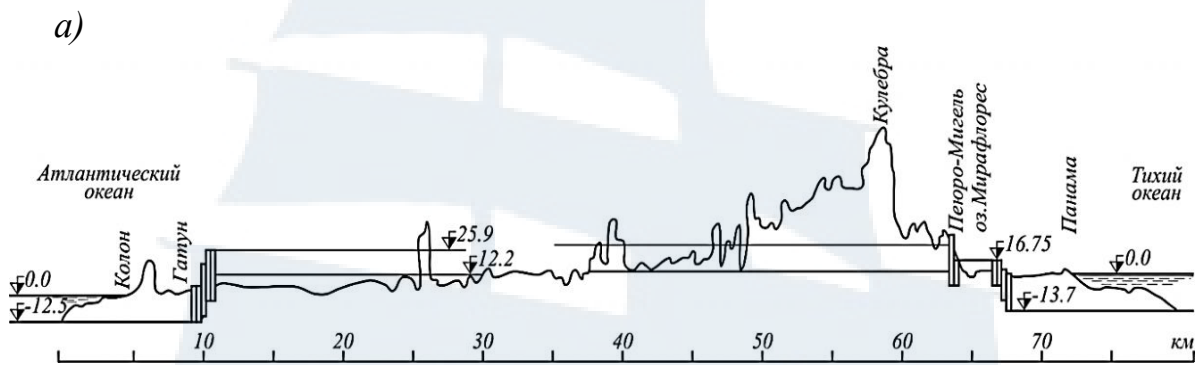


Рис. 23. Продольные профили:
а) Панамского и б) Беломорско-Балтийского каналов

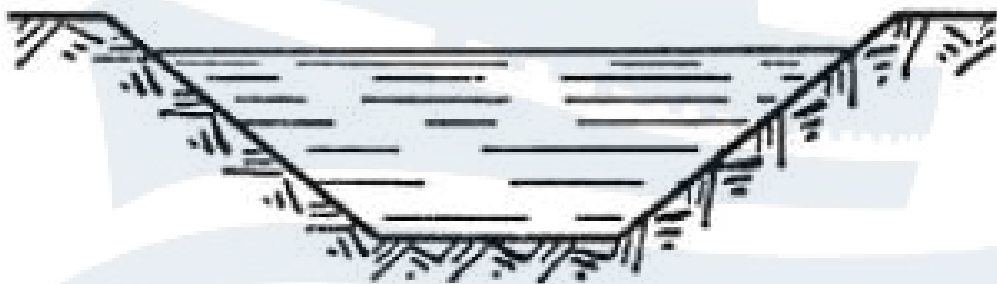


Рис. 24. Продольный профиль Волго-Балтийского канала

2.2.3. Прорезь канала

Прорезь – искусственным образом проложенная в грунте водного пути велика размерами, достаточными для пропуска расчетного судна, и ограничена снизу дном, с боков откосами (*бровками*).

По профилю прорези каналы бывают:

- *полного профиля*, когда боковые откосы выходят на уровень воды или выше его или ограждены дамбами (рис. 25, 26);
- *неполного профиля*, когда они прорыты в отмелях, отгораживающих устья рек от моря, откосы скрыты под водой и мелководье, когда используются естественные глубины (рис. 27).

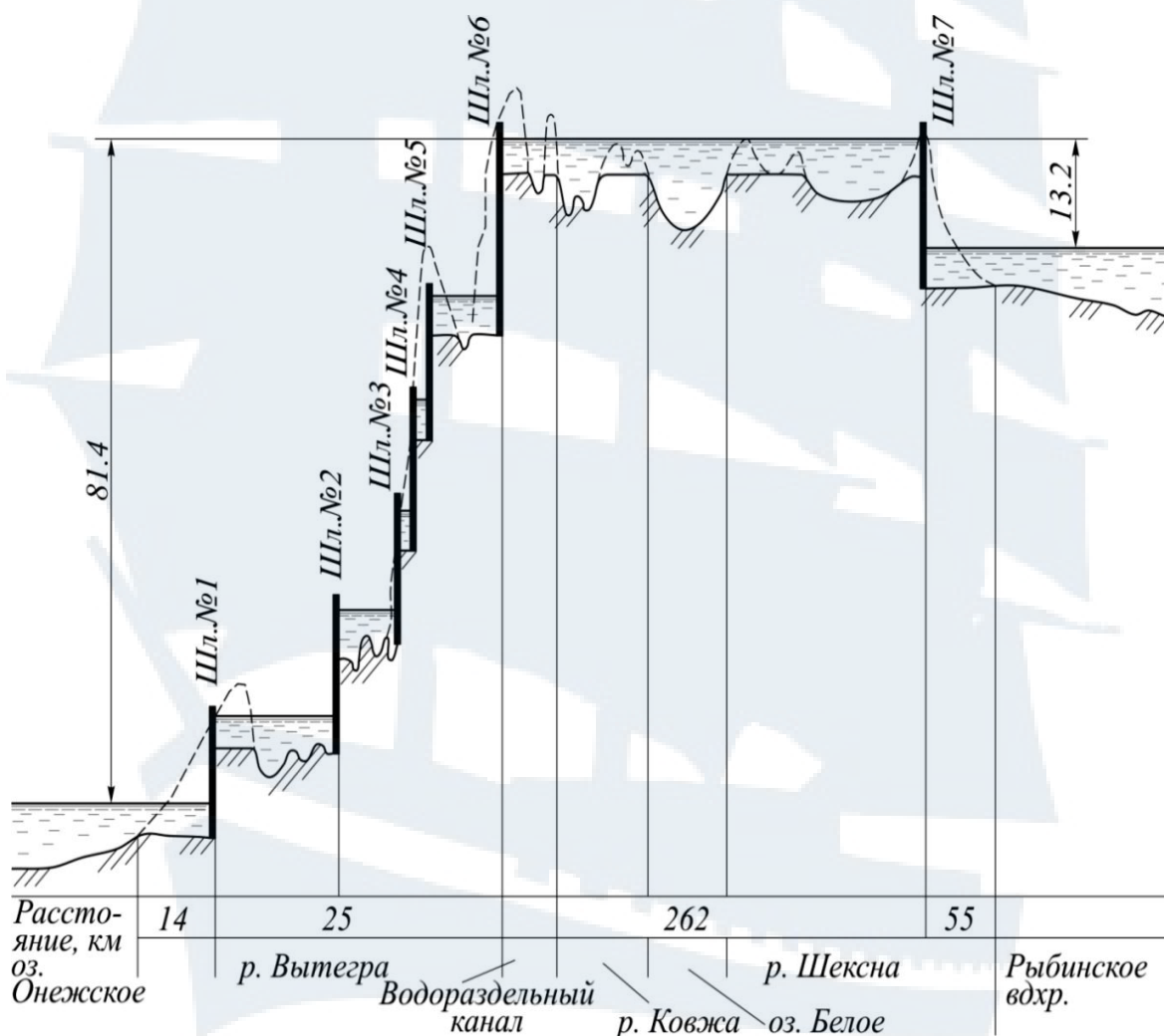


Рис. 25. Канал полного профиля



Рис. 26. Канал полного профиля, огражденный дамбами

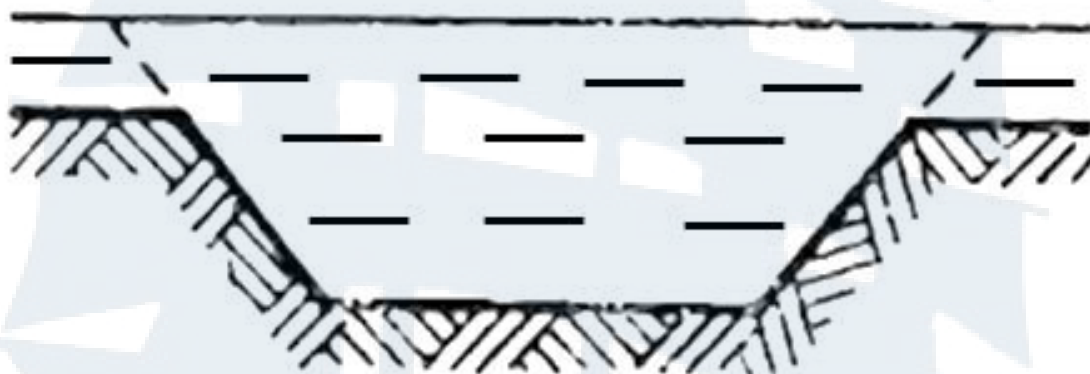


Рис. 27. Канал неполного профиля

Поперечное сечение прорези судоходного канала, проложенного по суше материка, может иметь следующие основные формы:

- ложбинообразную;
- прямоугольную;
- трапециевидную;
- полигональную (рис. 28).

Ложбинообразная форма поперечного сечения (рис. 28, а) является более устойчивой от размывов, однако сложна по устройству. Каналы такой формы строятся редко, могут применяться только в качестве обходных при возведении отдельных гидроузлов и имеют сравнительно небольшую длину. Ложбинообразную форму канала применяют, если по каналу должно проходить немного судов и они пойдут в основном по его оси, используя наибольшие глубины. При интенсивном движении, когда суда, то и дело встречаются, обгоняют друг друга и большую

часть движутся над откосами, ложбинообразная форма неудобна, поскольку она увеличивает для судна опасность удариться об откос.

В этом отношении лучшей является *прямоугольная* форма (рис. 28, б). Каналы прямоугольного или близкого к нему сечения возводятся, в основном, в скальных грунтах и иногда в нескальных грунтах при прохождении трассы канала через крупные населенные пункты. Они требуют меньшей ширины, удобны по условиям эксплуатации судов, однако трудоемки в исполнении и имеют высокую стоимость.

Каналы *трапецевидного* сечения (рис. 28, в) чаще всего устраивают в нескальных грунтах, они являются простыми по условиям изготовления, но подвержены размыву от воздействия судовых волн и движителей судов. При трапецевидальной форме наблюдается особенно сильное оплывание откосов. Их рекомендуется применять на каналах с малоинтенсивным движением судов.

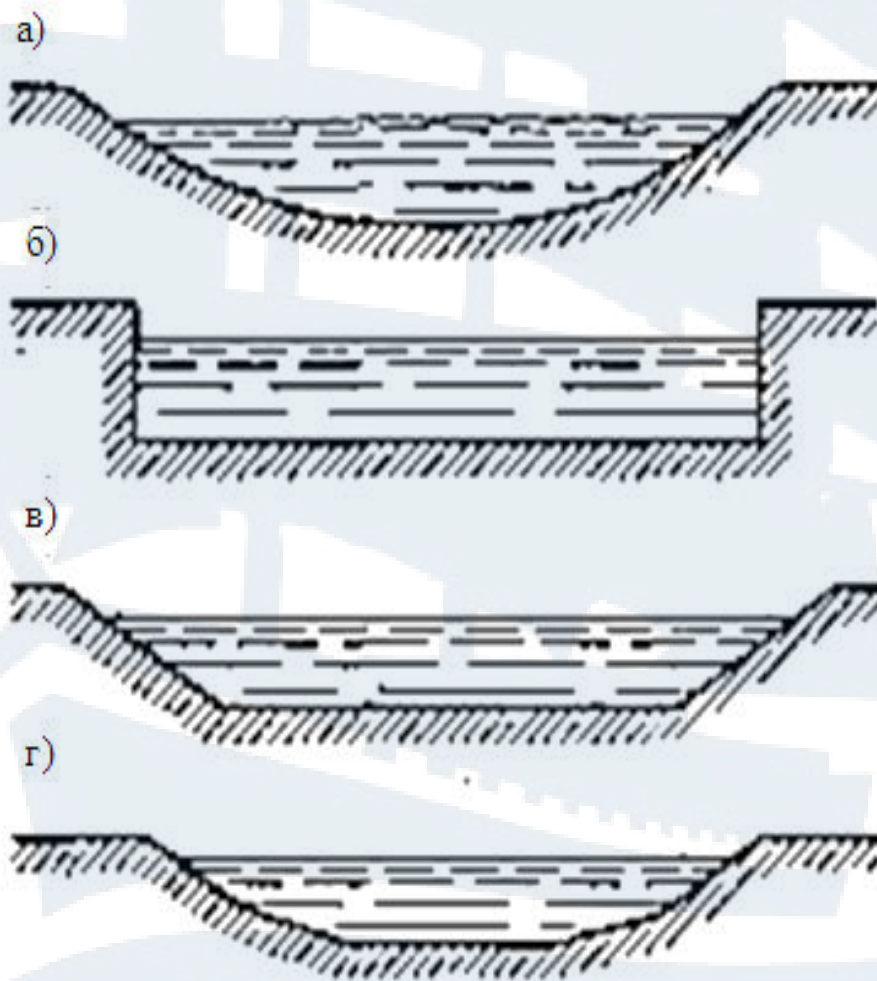


Рис. 28. Формы поперечного сечения прорези каналов

Полигональное сечение (рис. 28, г) более устойчиво от размывов по сравнению с трапециевидной формой, оно устраивается в нескальных грунтах и получило широкое применение при строительстве каналов с интенсивным двухсторонним движением судов и принята преимущественно на современных судоходных каналах. Дно в таких каналах горизонтально, а откосы имеют различную крутизну, зависящую от рода грунта. При этом верхняя часть более крутая, нижняя – более пологая.

Рис. 29 иллюстрирует динамику изменения профиля КМК на одном из пикетов, начиная с проектного при строительстве в 1901 г., при реконструкции в 1979 г. и существующий в настоящее время.



Рис. 29. Динамика изменения профиля Калининградского морского канала

2.2.4. Заносимость каналов и методы защиты

Заносимость морских каналов зависит от местных гидрометеорологических и геологоморфологических условий, а также направления трассы канала и его поперечных размеров. К гидрометеорологическим факторам относятся ветер, вызванные им волнения и течения. При легкоподвижных грунтах дна эти факторы в основном определяют режим потока наносов и заносимость канала. Степень заносимости каналов особенно велика во время штормов большой силы. К геологоморфологическим факторам относятся: состав пород морского дна, в котором сделана прорезь канала, геоморфологическое строение дна и берегов, связанное с условиями формирования потока наносов, поступающих в канал.

В зависимости от состояния и формы движения различают:

- *наносы взвешенные*, длительное время переносимые массами воды вследствие интенсивного ее перемешивания волнением;
- *придонные наносы*, перемещающиеся все время по дну (*донные катучие*);
- *полувзвешенные* – периодически отрывающиеся от дна или донные оплывающие, образуемые в результате выпадения взвешенных илистых и глинистых частиц.

Заносимость различают двух типов: *внутреннюю* и *внешнюю*.

Внутренняя заносимость происходит под действием волнения и течений, размывающего действия винтов и судовых волн от проходящих судов, потери грунта в процессе работы земснаряда и других «внутренних» причин, т. е. имеют местный, ограниченный характер.

Внешняя заносимость обусловлена поступлением наносов с соседних участков морского побережья и их осаждения в прорези канала.

Заносимость оценивается рядом факторов:

- объемом (перед дноуглублением);
- толщиной (мощностью) наносов (для определения условий навигации);
- распределением по длине канала (для определения условий навигации и ремонтного черпания);
- распределением по ширине канала;
- изменением во времени.

Основным методом защиты канала от наносов является создание путем *переуглубления* прорези запаса глубины на его заносимость. Для действующих каналов практикой выработаны осредненные запасы глубины на заносимость каналов. Эти запасы определяют объем дноуглубительных работ, ежегодно выполняемых для достижения и поддержания заданных габаритов канала. Увеличение запасов на заносимость вызывает увеличение эксплуатационных расходов, а недостаточные запасы на заносимость – потерю гарантированных глубин и, следовательно, недогруз судов и экономические потери. Определение оптимальных запасов на заносимость каналов является сложной задачей, так как заносимость канала связана с энергией ветра – величиной, для отдельных навигаций весьма переменной.

Основными мерами по защите каналов от заносимости являются:

- *переуглубление* прорези по сравнению с требуемой по условиям навигации и создания, необходимого запаса глубины канала на заносимость;

– создание параллельных прорезей, гасящих волны и аккумулирующих наносы (рис. 30), при этом волновой поток подходит к основному сооружению, имея меньшую энергию волн и меньшее количество наносов;

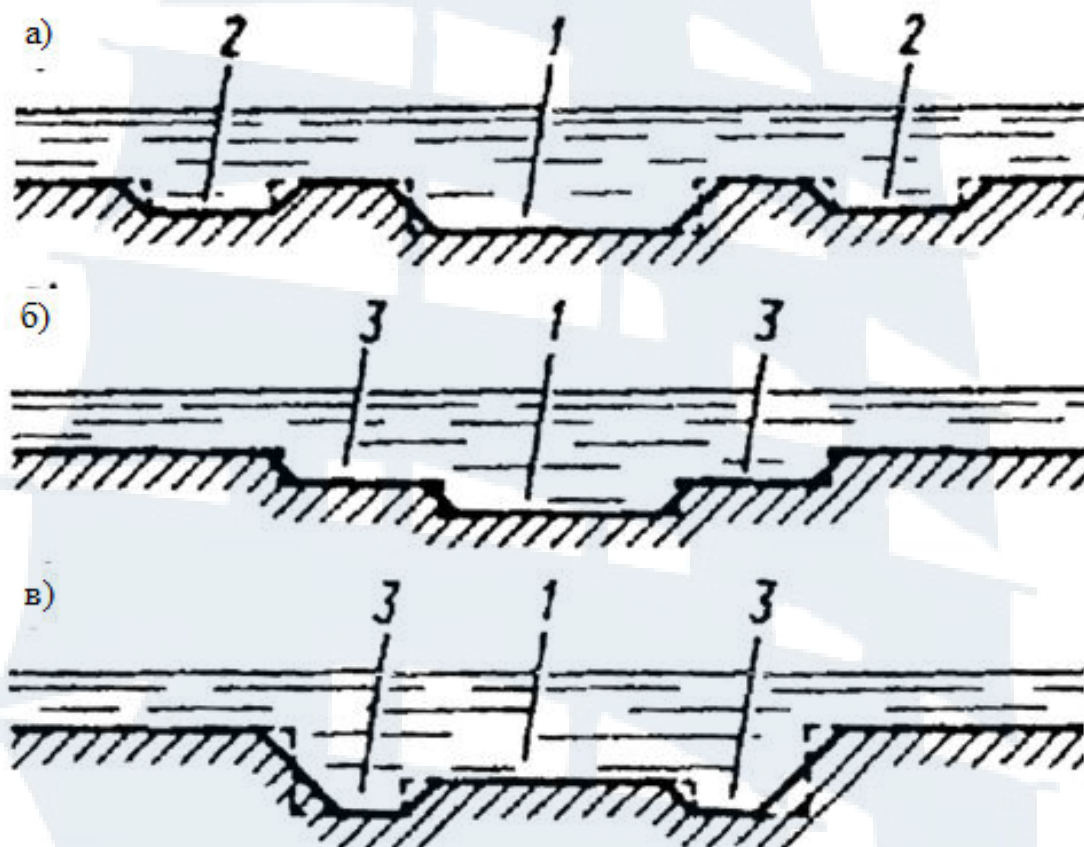


Рис. 30. Схемы расположения наносоулавливающих устройств:

1 – канал; 2 – ловушка; 3 – карман;

– устройство боковых «карманов» по сторонам входа в порт, имеющие в плане вид трапеции, улавливающих поток наносов, огибающих портовые ограждающие сооружения;

– наносозащитные (ограждающие) сооружения – дамбы: надводного (полного профиля) или подводные (неполного); двусторонние или односторонние (в зависимости от направления, заносимости), различные по конструкции и материалу (бетонные, земляные), например, показанные на рис. 31;

– установка пневматических или гидравлических волноломов, схема показана на рис. 32.

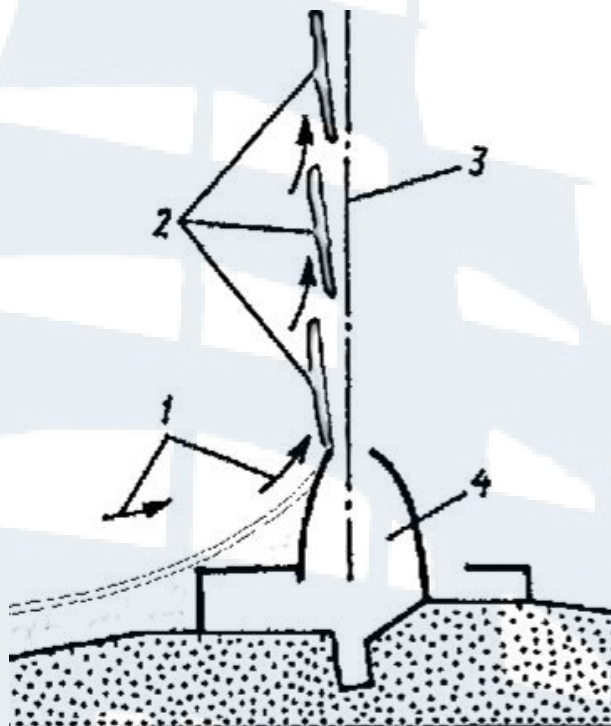


Рис. 31. Схема расположения дамбы с разрывами от ворот порта вдоль подходного канала:
 1 – поток наносов; 2 – участки защитной дамбы;
 3 – подходной канал; 4 – акватория порта

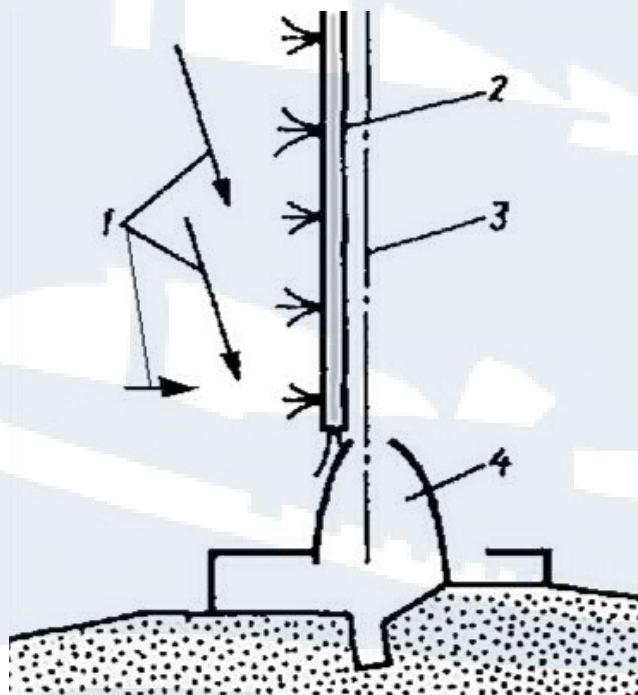


Рис. 32. Схема расположения пневматических или гидравлических волноломов:
 1 – поток наносов; 2 – пневматические или гидравлические волноломы; 3 – подходной канал; 4 – акватория порта

2.2.5. Основные принципы проектирования каналов

Исходные данные при проектировании канала включают в себя:

- сведения о размерах расчетного судна;
- сведения о планируемом судопотоке;
- характеристика естественных условий района прокладки трассы канала;
- величины ущерба водным, биологическим ресурсам и рыбным запасам от строительства и эксплуатации канала.

Сведения о размерах расчетного судна

В качестве расчетного принимают конкретное (с максимальными размерениями) *расчетное судно* или *условное судно*.

Сведения о нем должны включать:

- M – массовое водоизмещение, т;
- d – осадка на ровный киль без хода, м;
- B_c – ширина на миделе, м;
- L_c – длина между перпендикулярами, м;
- $A = A_q/A_e$ – отношение площадей парусности надводного и подводного бортов.

При определении характеристик судов принимают данные, приведенные в следующих материалах:

- судовых регистрах (регистрах книг), содержащих информацию о размерениях судов различных типов (Российский морской регистр судоходства, Lloyd's Register of Shipping, Clarkson's Guide, Tane's Publications, Fairplay Publications и др.);
- справочниках, содержащих технико-экономические характеристики судов.

В случае «условного» судна основная характеристика – осадка d , а остальные элементы определяются в зависимости от типа судна по формулам:

$$M = 36 \cdot d^3, \text{ т}; \quad B = t \cdot d, \text{ м}; \quad L = c \cdot d, \text{ м}; \quad A = 1,2 \cdot \frac{D - d}{d}, \text{ м}^2, \quad (1)$$

где t и c – коэффициенты для различных типов судов; D – высота борта, м.

Например, для универсальных судов: $t = 3,3$, $c = 17,5$; для танкеров: $t = 2,6$, $c = 17,5$; для контейнеровозов $t = 3,2$, $c = 17,8$; для лесовозов $t = 2,4$, $c = 17,5$; для сухогрузов $t = 2,7$, $c = 17,2$; для пассажирских $t = 4,0$, $c = 20,1$.

Сведения о планируемом судопотоке должны включать:

- число судопроходов в месяц с наибольшим судооборотом;
- среднесуточный судопоток в местах наибольшего судооборота;
- состав судопотока по типам судов, их размерениям и количеству.

Характеристика естественных условий должна включать:

- план промеров глубин по трассе проектируемых морских каналов, фарватеров и на площади зон маневрирования;
- топографический план прилегающей территории для выбора мест размещения береговых навигационных знаков;
- геолого-литологические разрезы по намечаемым вариантам размещения проектируемых морских каналов, фарватеров и зон маневрирования с физико-механическими характеристиками грунтов;
- элементы метеорологического режима не менее, чем за 12 лет, включающие данные повторяемости ветров по скорости, направлению и их продолжительности;
- сведения о характере течений, их направлении и скорости;
- режимные функции высот волн 3 % обеспеченности в системе волноопасных направлений;
- многолетний график обеспеченности ежедневных уровней воды за навигационный период, построенный для портов без приливов по срочным, а для морей с приливами – по ежечасным наблюдениям на основании, соответственно, не менее, чем десяти – и трехлетних наблюдений за колебанием уровня воды;
- среднегодовую метеорологическую дальность видимости и преобладающий для данного района коэффициент прозрачности атмосферы с повторяемостью не менее 65 %;
- продолжительность ледового периода;
- сведения о литодинамике (процесс перемещения осадочных частиц и масс осадочного материала) берега, интенсивности движения наносов и величине заносимости.

Оценка ущерба водным, биологическим ресурсам и рыбным запасам:

- характеристика загрязненности извлекаемых грунтов по химическим и биологическим показателям;
- состояние среды кормовой базы и ихтиофауны в районе акватории прокладки канала;
- оценка негативного влияния дноуглубления на окружающую среду.

Пропускная способность канала

Пропускная способность канала тесно связана с судопотоком.

Суточная пропускная способность канала P_k , ед./сут., должна удовлетворять условию:

$$P_k \geq m_{\text{сут}}, \quad (2)$$

где $m_{\text{сут}}$ – среднесуточный судооборот канала, ед./сут.

Среднесуточный судооборот определяется

– для канала с двухсторонним движением по формуле

$$m_{\text{сут}} = \frac{m_{\text{мес}}}{30}, \quad (3)$$

где $m_{\text{мес}}$ – число судопроходов в месяц с наибольшим судооборотом, единиц / месяц.

– для канала с односторонним движением по формуле

$$m_{\text{сут}} = q \cdot \frac{m_{\text{мес}}}{30}, \quad (4)$$

где q – коэффициент учета частичного двухстороннего движения судов с размерениями менее расчетного (коэффициент q следует учитывать, если коэффициент занятости канала $k_{\text{зан}}$ не превышает 0,62, а доля расчетных судов в судопотоке – 30 %).

Коэффициент занятости канала равен:

$$k_{\text{зан}} = q \cdot \frac{m_{\text{сут}}}{P_k}. \quad (5)$$

Коэффициент q определяют по формуле:

$$q = 1 - \frac{1}{k_{\text{зан}}^2} [f_1(f_1 + f_2) + f_1 \cdot f_2], \quad (6)$$

где f_1 и f_2 – параметры, характеризующие распределение судов в расчетном судопотоке по группам в зависимости от их ширины.

$$f_1 = \frac{m_1}{m_{\text{мес}}}, \quad f_2 = \frac{m_2}{m_{\text{мес}}}, \quad (7)$$

где m_1 и m_2 – число судопроходов в месяц с наибольшим судооборотом судов первой группы (с шириной менее $0,4 \cdot B_c$) и второй группы (с шириной от $0,4$ до $0,7 \cdot B_c$); при значении $k_{\text{зан}}$, превышающем единицу, принимается $k_{\text{зан}} = 1$.

Суточную пропускную способность канала, единиц / сутки, с односторонним движением определяют по формуле:

$$P_k = n_c \cdot \frac{24}{t_{\text{зан}}} \cdot k_{\text{мет}}, \quad (8)$$

где n_c – принимаемое количество судов в караване, единиц; $t_{\text{зан}}$ – время занятости канала проводкой, ч; $k_{\text{мет}}$ – коэффициент уменьшения использования рабочего времени канала по гидрометеорологическим условиям.

Значения $k_{\text{мет}}$ для различных районов (Черноморско-Азовский, Каспийский, Балтийский, Северный, Дальневосточный) варьируются в диапазоне $0,70 \div 0,90$ с разбивкой по кварталам.

Количество судов в караване n_c определяется методом последовательных приближений, как среднее число:

$$n_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{зан}}^2}{1 - k_{\text{зан}}}, \text{ но } k_{\text{зан}} \leq 1,0. \quad (9)$$

Время занятости канала $t_{\text{зан}}$, ч, определяется по формуле:

$$t_{\text{зан}} = \frac{l_k}{v_c} + n_c \cdot \Delta t_6, \quad (10)$$

где l_k – длина канала, км; v_c – расчетная скорость судна, км/ч; Δt_6 – интервал времени между судами каравана, обеспечивающий безопасность

движения (в данном случае промежуток времени, необходимый на смену движения, также принимается равным Δt_6), ч.

Время занятости канала при проходе одного судна $t_{зан1}$, отсчитываемое от момента входа судна в канал до момента выдачи разрешения на вход следующему судну при равновероятном проходе судов обоих направлений. Это значение учитывает время, необходимое для подготовки судна к входу (выходу) на трассу канала, доступной скорости движения, безопасной кильватерной дистанции в канале и другим параметрам.

При выборе *расчетной скорости движения судов* по каналу v_c принимают во внимание верхний предел допустимой скорости $0,9 \cdot v_{кр}$ ($v_{кр}$ – критическая скорость), который может быть достигнут при экономически целесообразных затратах мощности судна.

Значение *критической скорости* $v_{кр}$, м/с, на канале неполного профиля для расчетного судна определяют по формуле:

$$v_{кр} = v_{кр1} - (v_{кр1} - v_{кр2}) \cdot \frac{H_{пр}}{H_{нав}}, \quad (11)$$

где $H_{пр}$ – проектная (навигационная) глубина прорези, м; $H_{нав}$ – навигационная глубина канала, м; $v_{кр1}$ – критическая скорость на мелководье, м/с; $v_{кр2}$ – критическая скорость на канале полного профиля, м/с.

Значения $v_{кр1}$ и $v_{кр2}$ определяют по таблицам, приведенным в Нормах проектирования морских каналов, фарватеров и зон маневрирования. Свод правил СП 444.1326000.2019 в зависимости от ширины канала по дну, навигационной глубины канала, крутизны откосов канала. Например, для Калининградского морского канала (профиль показан на рис. 29), при навигационной глубине $\approx 10,5$ м, ширине по дну ≈ 50 м и крутизне откоса $\approx 1:4$, $v_{кр1} = 7,3$ м/с, $v_{кр2} = 3,9$ м/с. Тогда, по формуле (11) $v_{кр} \approx 4,2$ м/с и $v_c \approx 3,8$ м/с (7,3 узла). Согласно «Обязательным постановлениям морской администрации порта Калининград» скорости хода в канале не должны превышать:

- 9 узлов для судов с осадкой до 4 м;
- 8 узлов для судов с осадкой от 4 до 6 м;
- 7 узлов для судов с осадкой от 6 до 7 м;
- 6 узлов для судов с осадкой более 7 м.

Нижний предел допустимой скорости движения судов определяется условием сохранения управляемости (при отсутствии данных эту

скорость при движении судов в зонах маневрирования принимают равной $3 \div 4$ узлам).

Значение Δt_{ζ} принимается в зависимости от наибольшей длины расчетного судна L_c , м.

Так, для $L_c=100$ м, $\Delta t_{\zeta} = 0,10$ ч.; для $L_c=400$ м $\Delta t_{\zeta} = 0,25$ ч.

Суточную пропускную способность канала с двусторонним движением определяют по формуле

$$P_k = 2 \cdot \frac{24}{\Delta t_{\zeta}} \cdot k_{\text{мет}}. \quad (12)$$

Пропускная способность определяет необходимость строительства канала для двухстороннего или одностороннего движения. Проектируемый канал должен обеспечивать пропуск планируемого судопотока в течение всего навигационного периода. Для подходных каналов пропускная способность должна быть не меньше, чем пропускная способность порта, обслуживаемого этим каналом. При проектировании каналов с двухсторонним движением судов могут назначаться периоды ограничения режима двухстороннего движения по силе ветра, габаритам судов, при проводке с буксирами и т. д. В этом случае определяется продолжительность таких периодов, и пропускная способность канала рассчитывается по формуле для одностороннего движения, а время на двустороннее движение, соответственно, уменьшается. Каналы с двухсторонним движением судов проектируются, если пропускная способность канала при одностороннем движении судов меньше его расчетного среднесуточного судооборота. При этом необходимо выполнить экономическое обоснование, заключающееся в сопоставлении затрат на дноуглубительные работы, связанные с увеличением габаритов канала, и затрат транспортного флота, обусловленных простоем судов в связи с его недостаточной шириной.

Оценку строительства канала для двухстороннего или одностороннего движения можно произвести графически.

В зависимости от величин f_1 и f_2 , рассчитываемых по формуле (7), по графику на рис. 33 определяется вспомогательный параметр R .

Далее, по графику на рис. 34, по параметру R и произведению среднесуточного судооборота канала $m_{\text{сут}}$ на среднее время занятости канала $t_{\text{зан1}}$ находится коэффициент r .

Рассчитывается приведенный среднесуточный судооборот одностороннего движения $m'_{\text{сут}} = r \cdot m_{\text{сут}}$, уменьшенный с учётом частичного встречного движения судов.

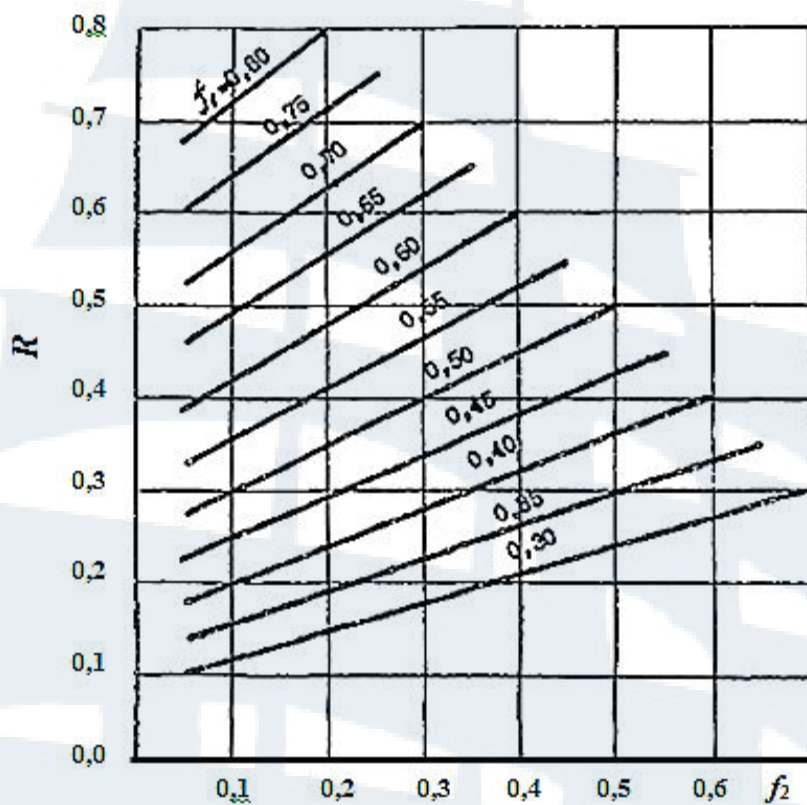


Рис. 33. Определение параметра R

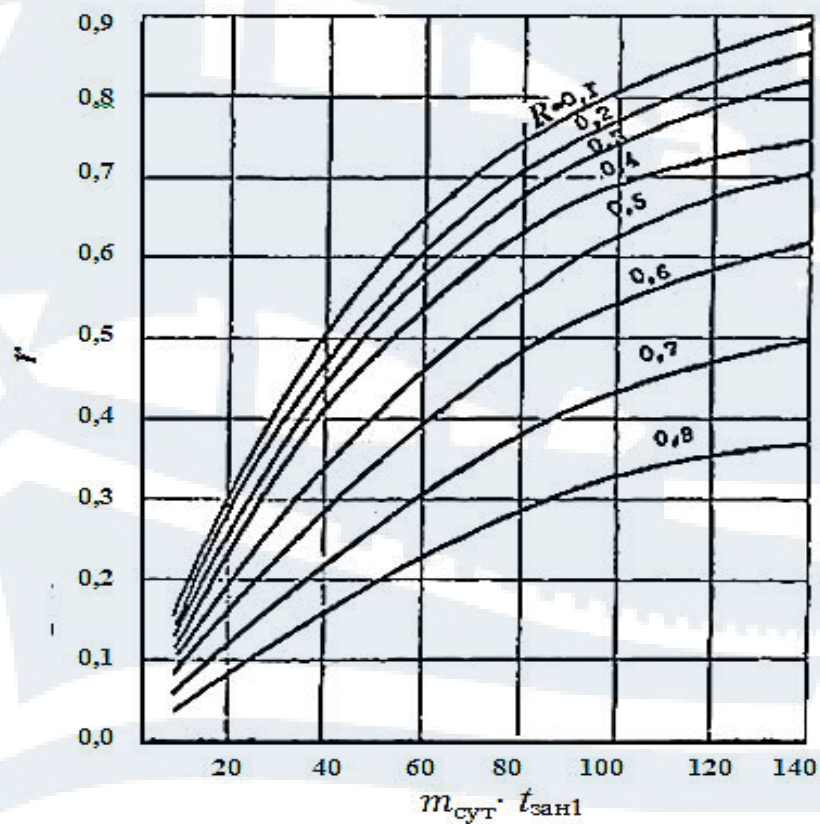


Рис. 34. Определение коэффициента r

Назначение ширины канала для одностороннего или двухстороннего движения судов выполняются по графику на рис. 35. Для этого на график необходимо нанести точку F с координатами $t_{зан1}$ и $m'_{сут}$. Если эта точка расположена ниже кривой π , то пропускная способность обеспечивается при ширине канала, определяемой для одностороннего движения судов. Если точка F расположена выше кривой π , то канал должен проектироваться для двухстороннего движения судов.

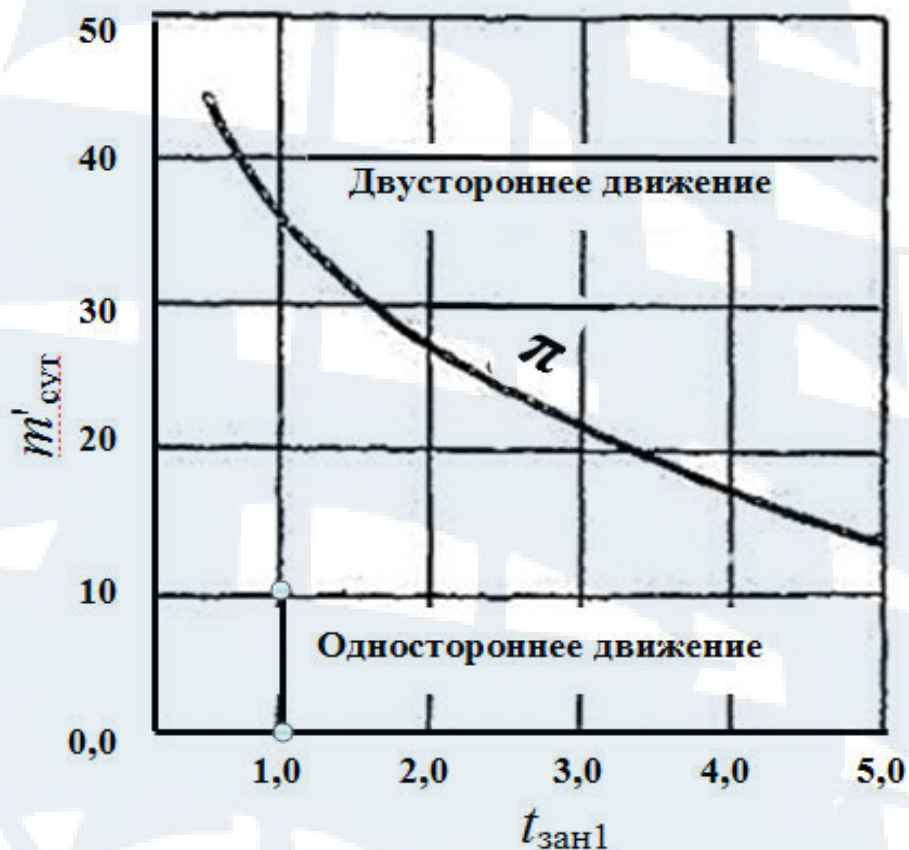


Рис. 35. Назначение ширины канала

2.2.6. Конструктивные параметры канала

Поперечное сечение канала, чаще всего имеющее форму трапеции, должно удовлетворять двум требованиям. С одной стороны, необходимо, чтобы сечение было просторным для удобного и безопасного прохода судов с небольшим гидродинамическим сопротивлением, с другой – строительство канала должно быть связано с наименьшими объемами работ. При меньшем сечении каналов уменьшаются также и

затраты на его содержание. Эти требования взаимно противоречивы, поэтому задача выбора поперечного сечения по всей трассе относится к задачам оптимального проектирования (по минимуму суммарных затрат). Поперечное сечение канала проектируется, исходя из габаритов расчетного судна. На основании специальных исследований и практических данных обычно считают, что наименьшее (при низком горизонте) подводное сечение канала должно быть в 4÷5 раз больше подводной части миделя судна или судов, проходящих одновременно в одном сечении канала, а на участках, подверженных волнению, эта величина должна быть еще больше. Кроме того, при определении ширины канала должны быть строго соблюдены величины навигационных и технического запасов глубин под килем.

Весьма важным для обеспечения нормальной эксплуатации каналов является также правильное назначение *крутизны откосов*. Подводные откосы подходных каналов оставляются обычно без всякой отделки. В каналах, имеющих берега, надводные откосы, а также части подводных откосов до глубины 2-3 м, защищаются от размыва специальной «одеждой», выше уровня накатывания волны – одерновкой, рассадой кустарника, реже каменной или железобетонной облицовкой, ниже уровня – фашинами, каменной наброской, бетонными и железобетонными плитами и т. д. Слишком крутые откосы приводят к быстрому их оползанию, слишком пологие – к значительному увеличению объёма дноуглубительных работ. Обычно крутизна откосов каналов назначается в зависимости от грунтов дна и естественных (забровочных) глубин. Крутизна (заложение) откосов зависит от характера грунтов, слагающих дно, и динамических факторов (волнения, течения и т. д.). Она находится чаще всего в пределах от 1:3 до 1:20. В мелкозернистых и илистых грунтах принимаются значительно более пологие откосы (до 1:50). Для илистых и глинистых грунтов в текучем состоянии откосы должны быть не круче 1:20 – 1:30, для более плотных илов – 1:10 – 1:20, для песчаных грунтов – не круче 1:5 – 1:10 и для плотных глин – в пределах 1:2 – 1:3.

Характеристики прорези однопутного канала показаны на рис. 36.

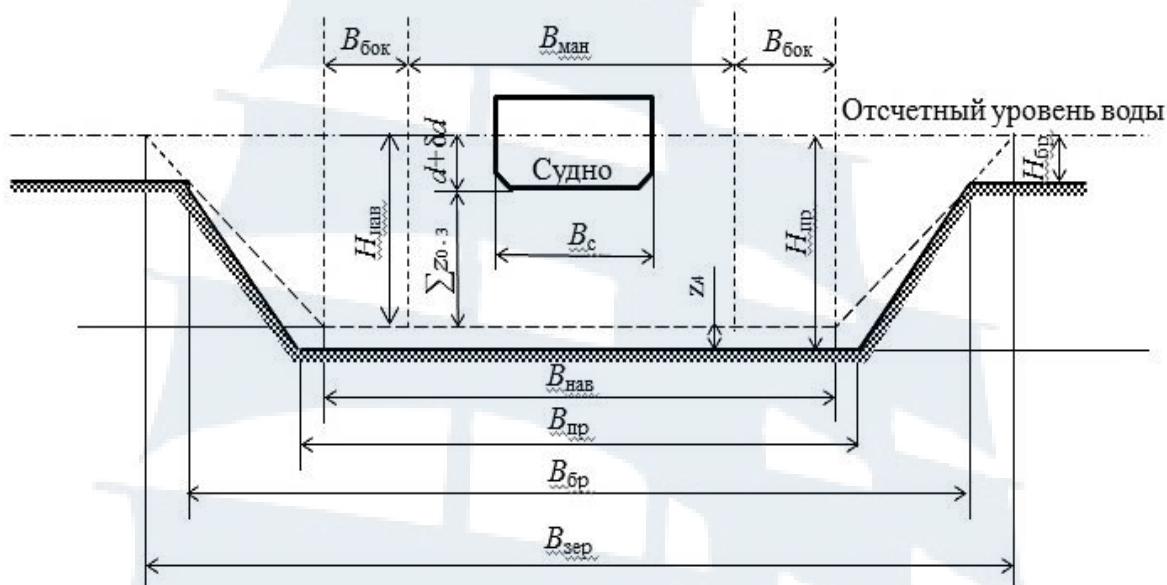


Рис. 36. Характеристики поперечного сечения прорези однопутного канала

Глубина канала

Глубина канала – разница между отметками отчетного уровня воды с учетом его обеспеченности и дна канала характеризуется следующими основными показателями:

– *навигационная глубина* на канале – минимально необходимая для безопасного плавания расчетного судна;

$$H_{\text{нав}} = d + \delta d + z_1 + z_2 + z_3 + z_0, \quad (13)$$

где d – расчетная осадка судна по основную летнюю марку с поправкой Δd на изменение осадки расчетного судна при плотности воды ρ в проектируемом районе, отличающейся от стандартной $\rho = 1025 \text{ кг/м}^3$, м; z_1 – минимальный навигационный запас, учитывающий естественные неровности грунта, погрешности измерения глубины фарватера, возможные ошибки расчета осадки судна, м; z_2 – запас от волновых воздействий (на погружение оконечности судна при волнении), м; z_3 – скоростной запас на изменение осадки судна на ходу на тихой воде по сравнению с осадкой без хода, то есть на динамическую просадку, м; z_0 – запас на крен судна, возникающий от воздействия расчетного ветра и гидродинамических сил на повороте, м.

Навигационная глубина канала определяется аналогично глубине на портовой акватории, по величине осадки расчетного судна и суммы запасов.

Поправки на изменение осадки расчетного судна Δd приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения поправок на изменение осадки расчетного судна

Плотность ρ , кг/м ³	Соленость, ‰	Δd
1025	32	0,000 d
1020	26	0,004 d
1015	20	0,008 d
1010	13	0,012 d
1005	7	0,016 d
1000	0	0,020 d

Минимальный навигационный запас z_1 определяется по табл. 5.

Таблица 5

Минимальный навигационный запас

Грунт дна в интервале между $H_{\text{нав}}$ и $(H_{\text{нав}} + 0,5)$, м	Минимальный навигационный запас z_1 , м
Илистые и рыхлые грунты	0,3
Плотные песчаные, глинистые и галечниковые грунты	0,4
Скальные и крупнообломочные грунты	0,5

Есть некоторое отличие в определении запасов на волнение z_2 , скоростного запаса z_3 и запаса на крен z_0 .

Волновой запас z_2 для одиночного и расходящихся судов определяется как отношение этого запаса к высоте волны 3 % обеспеченности z_2/h_B по графикам в зависимости от длины расчетного судна L_c , числа Фруда $Fr_L = v_c/\sqrt{g \cdot L_c}$, в системе волн наиболее опасного направления α_B в районе судового хода при действии расчетного ветра.

Значения расчетной скорости ветра v_{BT} на уровне центра парусности расчетного судна с наиболее опасного направления принимают с обеспеченностью 3 %, но не более величины, определяемой соотношением $v_{\text{BT}} = 5 \cdot v_c$, являющейся предельным условием управляемости судна, идущего со скоростью v_c , м/с.

На рис. 37 показано определение волнового запаса z_2 , м при различных углах волнения и числах Фруда.

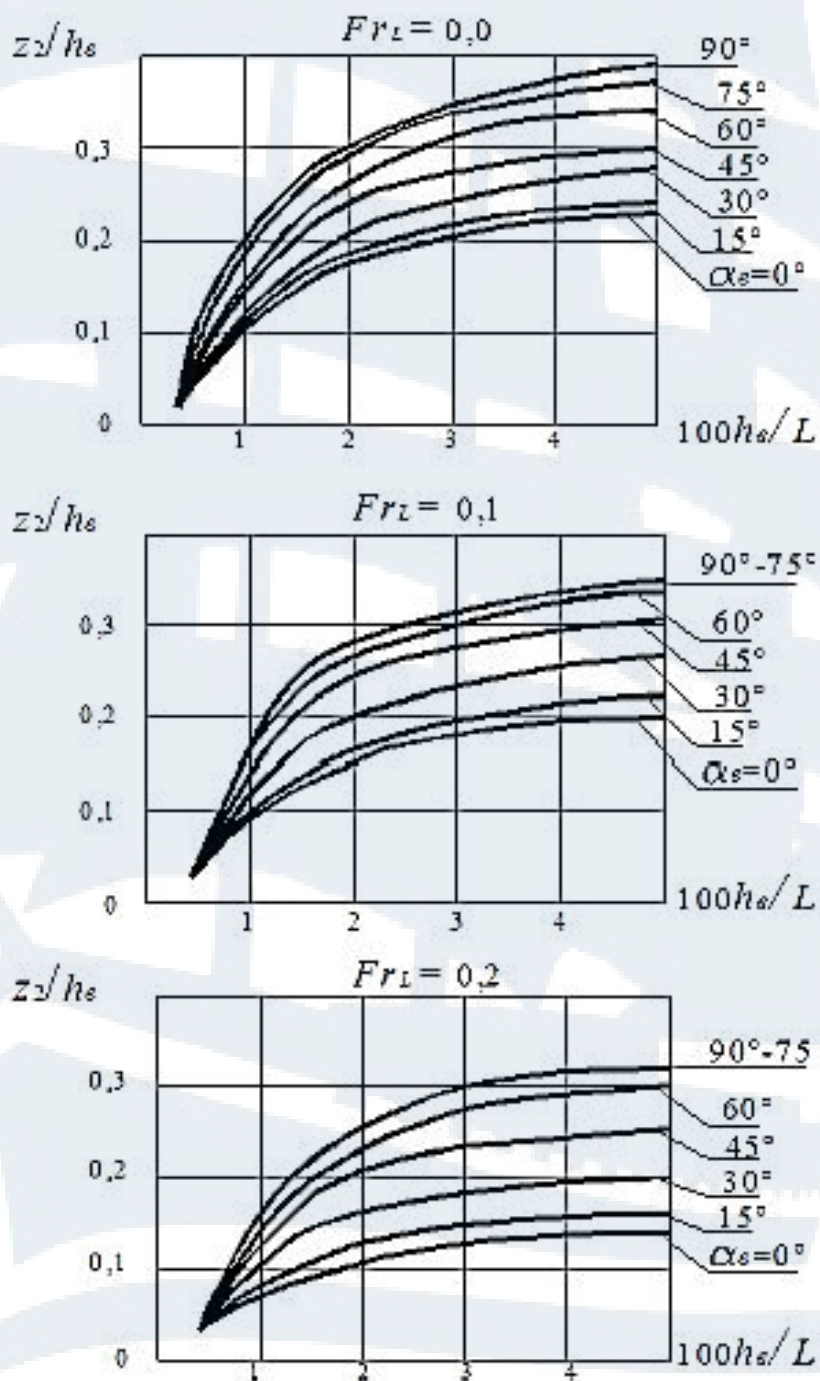


Рис. 37. Графики для определения волнового запаса

Скоростной запас z_3 при движении одиночного судна своим ходом определяют по графикам, приведенным на рис. 38 и по табл. 6.

По номограмме на рис. 39 определяется поправочный коэффициент к величине скоростного запаса для судна, движущегося в каналах неполного профиля. Входным аргументом являются число Фруда по длине судна и отношение площади сечения условного канала полного профиля, полученного путем продолжения откосов до уровня воды A_k , к площади погруженного миделевого сечения судна A_c . Выбранный из номограммы на рис. 39 коэффициент K_1 умножается на z_3 . С помощью табл. 6 определяется скоростная поправка на глубину для каналов полного профиля. Величина скоростного запаса для мелководья z_3 умножается на коэффициент K_2 , выбранный из табл. 6. Для каналов с двухсторонним движением вычисленное значение скоростного запаса увеличивается на 80 %.

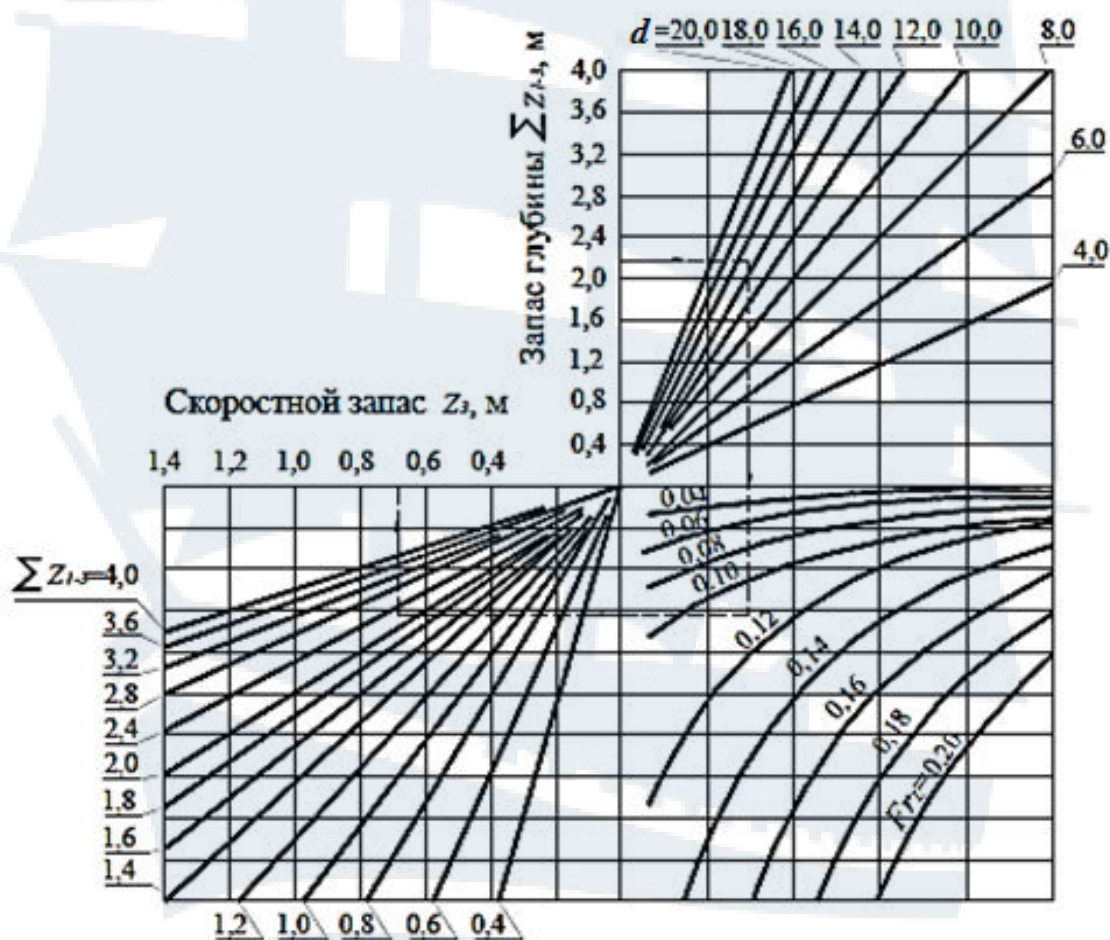


Рис. 38. График для определения скоростного запаса на мелководье

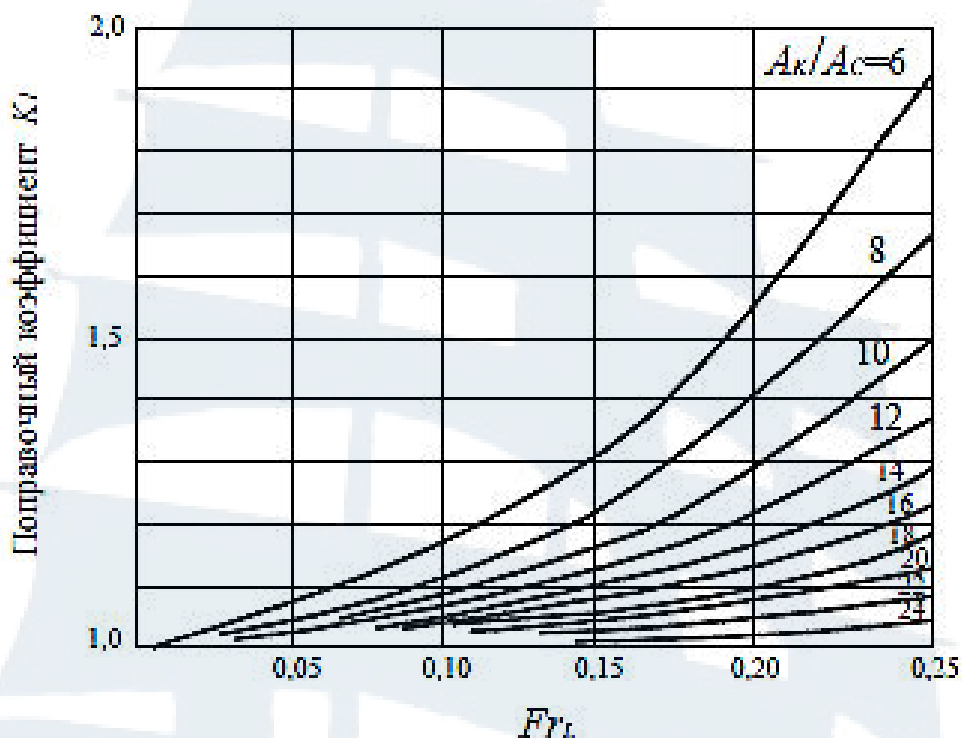


Рис. 39. График поправочного коэффициента K_1 для канала неполного профиля

Таблица 6

Определение поправочного коэффициента K_2 для расчета запаса глубины канала полного профиля

A_k/A_c	6	8	10	12	14	16	18
K_2	1,90	1,68	1,50	1,38	1,27	1,24	1,15

Запас на крен судна z_0 определяется по формулам:

– для прямолинейных участков канала

$$z_0 = \frac{B_c}{2} \cdot \sin \theta ; \quad (14)$$

– для участков сопряжения колен канала и акваторий (мест поворота судна)

$$z_0 = \frac{B_c}{2} \cdot \sin(\theta + \theta_d), \quad (15)$$

где θ – угол крена от ветра, принимаемый по табл. 7; θ_d – динамический угол крена, принимаемый по табл. 8.

Таблица 7

Определение угла крена от ветра

Тип судна	Угол крена от ветра θ при скорости расчетного ветра $v_{\text{вг}}$, м/с				
	9	13	16	19	22
Универсальное, лихтеровоз, газовоз, морской паром	–	1°	1°	1°	2°
Контейнеровоз	1°	2°	3°	4°	5°
Пассажирское	1°	3°	4°	6°	8°

Запас на крен от ветра не учитывается:

- для танкеров, балкеров и комбинированных судов;
- всех судов при курсовых углах ветра, отличных от 60-90°.

Для лесовозов угол крена на прямых курсах берется постоянным, равным 5°.

Таблица 8

Определение динамического угла крена

Тип судна	Динамический угол крена θ_d при скорости судна v_c , узл.									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Универсальное, контейнеровоз, лесовоз	1°	1°	2°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	
Лихтеровоз, пассажирское, морской паром, газовоз	–	–	–	1°	1°	1°	1°	2°	2°	
Танкер, балкер, комбинированное	–	–	–	–	–	–	1°	1°	1°	

Проектная глубина участка канала $H_{\text{пр}}$, – увеличенная по сравнению с навигационной глубиной на толщину слоя наносов, осаждающихся в прорезь канала в период между ремонтными дноуглубительными работами по поддержанию канала в судоходном состоянии (запас на заносимость z_4):

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{нав}} + z_4 \quad (16)$$

Запас на заносимость z_4 , м, назначают на основании ожидаемой интенсивности отложения наносов, определяемой по материалам инженерно-гидрометеорологических изысканий, и принятой в проектной документации периодичности ремонтных черпаний, но не менее величины, обеспечивающей производительную работу земснаряда (0,4 м). Величина z_4 может быть одинаковой по всему каналу или дифференцированной по его длине в зависимости от интенсивности заносимости различных участков и геологических условий.

Рабочая глубина канала – с учетом некоторого переуглубления по сравнению с проектной глубиной для перекрытия технологических неровностей дна, образующихся после работы дноуглубительного снаряда;

- глубина прорези;
- забровочная глубина $H_{бр}$, т. е. глубина над бровкой прорези.

Отсчетный уровень воды для каналов, фарватеров определяют по многолетнему графику обеспеченности ежедневных уровней воды за навигационный период (включая время ледовой навигации). Величину обеспеченности отсчетного уровня принимают по табл. 9 в зависимости от разности между уровнем воды 50 % обеспеченности $H_{50\%}$ и минимальным уровнем $H_{мин}$. За минимальный уровень $H_{мин}$ принимается минимальный годовой уровень повторяемостью один раз в 25 лет.

Таблица 9

Величина обеспеченности отсчетного уровня

$H_{50\%} - H_{мин}$, М		Обеспеченность отсчетного уровня, %
Безливные моря	Ливные моря	
$\leq 1,05$	$\leq 1,8$	98
1,25	2,60	99
$\geq 1,40$	$\geq 3,00$	99,5

Ширина канала

Навигационная ширина канала $B_{нав}$ – размер ширины прорези по низу, минимально необходимый и достаточный для безопасного плавания одного расчетного судна в одном направлении в канале одностороннего движения или двух судов расчетного судна при встречном плавании в каналах двухстороннего движения, которая представляет

наименьшую гарантированную в течение года сквозную проходную ширину канала.

Навигационную ширину канала по дну для канала с односторонним движением (рис. 36) определяют по формуле:

$$B_{\text{нав1}} = B_{\text{ман}} + \sum_{i=1}^8 B_i + 2 \cdot B_{\text{бок}}, \quad (17)$$

где $B_{\text{ман}}$ – ширина базовой маневровой полосы, м; B_i – запасы к базовой маневровой полосе, м; $B_{\text{бок}}$ – запас ширины на гидродинамическое взаимодействие судна с бровкой канала, м.

Ширина базовой маневровой полосы $B_{\text{ман}}$ определяется по табл. 10 в зависимости от ширины расчетного судна B_c . Как видно из рис. 36, при благоприятных условиях движения по каналу она складывается из ширины судна B_c и ширин *дополнительного запаса на гидродинамическое взаимодействие с бровкой* (боковых полос) $B_{\text{бок}}$, устанавливаемого в зависимости от управляемости судна. При интенсивном воздействии ветра, течений или волнения, действующих под углом к направлению движения судна, возможны снос и дрейф судна. В этом случае приходится дополнительно расширять среднюю маневровую (навигационную) полосу. Полосы, прилегающие к откосу, должны способствовать уменьшению возможности размыва откосов винтами и их оползания, предотвратить аварии судов из-за возможных ошибок в определении положения откоса и включить некоторый запас на заносимость.

Таблица 10

Ширина базовой маневровой полосы

Маневренность судна	Хорошая	Средняя	Низкая
Ширина базовой маневровой полосы	$1,3 \cdot B_c$	$1,5 \cdot B_c$	$1,8 \cdot B_c$

Маневренность судна оценивают на основании критерия маневренности m , кВт/м², определяемого по формуле:

$$m = W/A_e, \quad (18)$$

где W – мощность главного двигателя, кВт; A_e – площадь надводного борта судна, м².

Площадь надводного борта определяется по боковой проекции судна, как это показано в части 1 данного учебного пособия при определении ширины входа в порт, либо по упрощенной формуле:

$$A_e = 1,2 \cdot L_{\text{пп}} \cdot F, \quad (19)$$

где $L_{\text{пп}}$ – длина судна между перпендикулярами, м; F – высота надводного борта судна, м.

Зависимость между маневренностью и критерием маневренности судна m приведена в табл. 11.

Таблица 11

Зависимость между маневренностью и критерием маневренности

Хорошая	Средняя	Низкая
Более 11	7 - 11	< 7

Запасы к базовой маневровой полосе B_i определяются в зависимости от:

- расчетной скорости судна $0 < B_1 < 0,1 \cdot V_c$;
- поперечной составляющей расчетной скорости ветра
 $0 < B_2 < 1,0 \cdot V_c$;
- поперечной составляющей расчетной скорости течения
 $0 < B_3 < 1,3 \cdot V_c$ – поперечная составляющая скорости ветра представляет собой проекцию вектора расчетной скорости на нормаль к оси канала; расчетную скорость течения следует принимать максимально наблюдавшейся в данном районе, но не более 0,4 величины скорости движения судна, принятой для данного канала;
- продольной составляющей расчетной скорости течения
 $0 < B_4 < 0,4 \cdot V_c$ – поперечная составляющая скорости течения представляет собой проекцию вектора расчетной скорости на нормаль к оси канала, продольная составляющая – проекцию на ось канала;
- расчетной высоты и длины волны $0 < B_5 < 1,5 \cdot V_c$ – расчетной является волна 3 % обеспеченности в системе волн наиболее опасного направления при действии расчетного ветра;
- глубины и грунта дна $0 < B_6 < 0,4 \cdot V_c$ – запас на взаимодействие судна с дном b_6 зависит от грунтов дна и соотношения глубины и осадки;

– соотношения глубины канала и осадки судна $0 < B_7 < 0,4 \cdot B_c$ – принимается для компенсации влияния малых глубин на управляемость судна;

– степени опасности грузов $0 < B_7 < 1,0 \cdot B_c$ – принимается для уменьшения риска касания судном грунта и отдаления такого судна на безопасное расстояние от других судов, движущихся встречным курсом.

Запас ширины на взаимодействия с бровками канала $B_{бок}$ принимают в соответствии с данными табл. 12.

Таблица 12

Запас ширины на взаимодействия с бровками канала

Поперечный профиль канала	Скорость судна, м/с (уз)	Запас ширины $B_{бок}$, м
Канал неполного профиля	$> 6,2$ (12)	$0,7 \cdot B_c$
	$4,1$ (8) ÷ $6,2$ (12)	$0,5 \cdot B_c$
	$2,6$ (5) ÷ $4,1$ (8)	$0,3 B_c$
Канал полного профиля	$> 6,2$ (12)	$1,3 B_c$
	$4,1$ (8) ÷ $6,2$ (12)	$1,0 \cdot B_c$
	$< 4,1$ (8)	$0,5 \cdot B_c$

На рис. 40 показано поперечное сечение двухпутного канала.

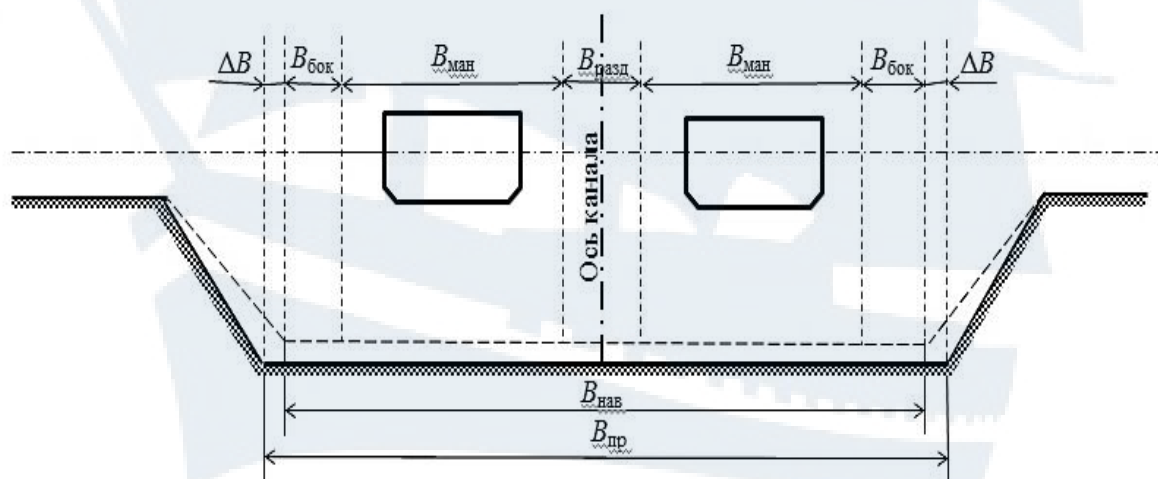


Рис. 40. Характеристики поперечного сечения прорези двухпутного канала

Навигационную ширину канала с двусторонним движением определяют по формуле:

$$B_{\text{нав2}} = 2 \cdot B_{\text{ман}} + 2 \cdot \sum_{i=1}^8 B_i + 2 \cdot B_{\text{бок}} + B_{\text{разд}}, \quad (20)$$

где $B_{\text{разд}}$ - ширина разделительной полосы, м; ΔB – запас ширины канала на заносимость, м.

Ширина разделительной полосы $B_{\text{разд}}$ для канала с двухсторонним движением зависит от скорости движения судов и плотности судопотока и определяется как сумма составляющих от данных факторов. Составляющие ширины разделительной полосы принимают в соответствии с данными табл. 13.

Классификация степени плотности судопотока для принятых расчетных судов (исключая суда шириной $< 0,4 \cdot B_c$) приведена в табл. 14.

Таблица 13

Ширина разделительной полосы

Факторы, влияющие на величину ширины $B_{\text{разд}}$	Составляющие ширины $B_{\text{разд}}$ разделительной полосы	
	внешний канал	внутренний канал
<i>Скорость судна, v_c м/с (уз):</i>		
$> 6,2(12)$	$2,0 \cdot B_c$	-
$4,1(8) \div 6,2(12)$	$1,6 \cdot B_c$	$1,4 \cdot B_c$
$< 4,1 (8)$	$1,2 B_c$	$1,0 \cdot B_c$
<i>Степень плотности судопотока:</i>		
Низкая	0,0	0,0
Средняя	$0,2 \cdot B_c$	$0,2 \cdot B_c$
Высокая	$0,5 \cdot B_c$	$0,4 \cdot B_c$

Таблица 14

Степень плотности судопотока

Степень плотности судопотока	Плотность судопотока, судов/ч
Низкая	$< 1,0$
Средняя	$1,0 \div 3,0$
Высокая	$> 3,0$

Запас ширины на взаимодействия с бровками канала ΔB принимают в соответствии с данными табл. 15.

Таблица 15

Запас ширины на взаимодействия с бровками канала

Поперечный профиль канала	Скорость судна v_c , м/с (уз)	Запас ширины ΔB , м
Канал неполного профиля	$> 6,2(12)$	$0,7 \cdot B_c$
	$4,1(8) \div 6,2(12)$	$0,5 \cdot B_c$
	$< 4,1 (8)$	$0,3 \cdot B_c$
Канал полного профиля	$> 6,2(12)$	$1,3 \cdot B_c$
	$4,1(8) \div 6,2(12)$	$1,0 \cdot B_c$
	$< 4,1 (8)$	$0,5 B_c$

Проектную ширину канала $B_{пр}$, м, которая определяет необходимую для навигации ширину, ширину выемки по дну и по верху с учётом устойчивого заложения откосов определяют по формулам:

$$B_{пр} = B_{нав} + \Delta B; \quad (21)$$

$$\Delta B = H_{нав} \cdot (ctg\varphi_1 - ctg\varphi), \quad (22)$$

где ΔB – запас ширины канала на заносимость, м; $H_{нав}$ – навигационная глубина прорези, м; φ – проектный угол наклона к горизонту откосов канала; φ_1 – угол наклона к горизонту откосов канала к концу межремонтного периода.

Проектную величину котангенса угла наклона к горизонту, обеспечивающую навигационные габариты канала на весь межремонтный период, определяют по формуле:

$$ctg\varphi = ctg\varphi_1/a, \quad (23)$$

где a – коэффициент, зависящий от глубины прорези канала, который следует определять по табл. 16.

Величина $ctg\varphi_1$ назначается с точностью до целого числа.

Определение коэффициента a

Навигационная глубина прорези $H_{нав}, м$	$\leq 1,5$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	$\geq 5,0$
a	2,00	1,93	1,86	1,79	1,71	1,64	1,57	1,50

Значение $ctg\varphi_1$ определяют в зависимости от свойств грунтов, в которых трассирован канал, проектной глубины прорези $H_{пр}$ и естественного уклона подводного склона моря.

Для эксплуатационных задач определяют величину *ширины по верхней бровке* $B_{бр}$ и *ширину по зеркалу воды* $B_{зер}$; для канала полного профиля $B_{зер}$ – расстояние между точками соприкосновения откосов прорези водной поверхностью; для каналов неполного профиля – расстояние между точками пересечения линий продолжения откосов с учетом заносимости и водной поверхностью.

3. НАВИГАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

Для обеспечения безопасности плавания и сохранности искусственных сооружений на водных путях используются средства навигационного оборудования (СНО), представляющие собой систему береговых и плавучих знаков и огней.

3.1. Навигационные знаки и огни

К навигационному оборудованию внутреннего водного пути относят, например, *навигационные знаки* и *навигационные огни*. При установке навигационных знаков принято считать, что *правый берег* – это берег внутреннего водного пути, расположенный справа от наблюдателя, смотрящего вниз по течению, а *левый берег* – слева от наблюдателя, смотрящего вниз по течению. На каналах, озерах, водохранилищах направление течения принимается условно и указывается в навигационных картах, пособиях и документах

Навигационный знак – знак, устанавливаемый на внутреннем водном пути для обозначения положения судового хода.

Навигационный огонь – сигнальный огонь на навигационном знаке.

Навигационные знаки устанавливаются на водном пути и его берегах в определенном порядке и по соответствующей системе. Схемы расстановки навигационных знаков на реках корректируются ежегодно, на водохранилищах – в течение 5÷10 лет. Частота установки знаков зависит от группы, класса и разряда водного пути, а также судоходных характеристик водного пути (глубины и ширины судового хода, наличия подводных препятствий, скорости течения и др.).

Для ориентирования и опознавания знаков в темное время суток большинство из них оборудуется светосигнальным устройством, создающим навигационный огонь соответствующего цвета и характера горения.

Навигационные знаки и огни предназначены:

- для указания судового хода на реках, каналах, водохранилищах и озерах, а также ограждения отдельных навигационных опасностей;
- судоходных пролетов мостов, служащих для прохода судов и проводки плотов, а также регулирования пропуска судов через наплавные мосты;
- охранных зон подводных и воздушных переходов (линий связи и электропередачи, трубопроводов, дюкеров, водозаборов, водовыпусков) и других искусственных сооружений;
- границ рейдов, якорных стоянок, свальных течений и других особенностей участков пути, где судоводители должны принимать меры предосторожности;
- регулирования движения на регулируемых (засемафоренных) участках пути.

Навигационные знаки подразделяются на *береговые* и *плавучие*.

3.1.1. Береговые навигационные знаки

В состав береговых знаков входят: знаки *ограждения* (обозначения) судового хода и *информационные* знаки.

В зависимости от *силуэта сигнальных щитов* (фигур) навигационные знаки подразделяют на следующие типы:

- прямоугольный;
- треугольный;
- круглый;
- трапецеидальный;

- комбинированный;
- линейный.

Навигационные знаки в зависимости от *требований эксплуатации внутренних судоходных путей* подразделяют на:

- знаки с навигационными огнями;
- знаки без навигационных огней.

Навигационные знаки в зависимости от *назначения* подразделяют на *плавучие навигационные знаки*:

- кромочные;
- поворотные;
- свальные;
- разделительные;
- осевые;
- поворотно-осевые;
- знаки опасности.

Береговые навигационные знаки в зависимости от их *назначения* подразделяются на две группы:

- *навигационные знаки* внутреннего водного пути, устанавливаемые на ВВП для обозначения положения судового хода;
- *информационные навигационные знаки*, устанавливаемые на ВВП для передачи сведений о состоянии и особенностях участка внутреннего водного пути.

Навигационные знаки обозначения положения судового хода (табл. 17):

- створные;
- перевальные;
- ходовые;
- весенние;
- знаки «Ориентир»;
- указатели оси;
- указатели подмостового габарита и кромок судового хода в судоходных пролетах мостов;
- путевые огни судоходных каналов;
- опознавательные знаки, маяки, светящие и несветящие навигационные знаки и навигационные огни.

К береговым навигационным знакам условно относят также знаки, устанавливаемые на судоходных пролетах мостовых переходов и транспортных гидротехнических сооружениях.

Береговые навигационные знаки

Осевой линейный навигационный створ	Система из двух или трех береговых навигационных знаков или навигационных огней для обозначения оси судового хода
Щелевой навигационный створ	Система из трех береговых навигационных знаков или навигационных огней для обозначения направления и кромок судового хода
Кромочный навигационный створ	Система из двух береговых навигационных знаков или навигационных огней для обозначения кромки судового хода
Перевальный навигационный знак	Береговой навигационный знак для обозначения направления судового хода
Ходовой навигационный знак	Береговой навигационный знак для обозначения судового хода, проходящего вдоль берега
Весенний навигационный знак	Береговой навигационный знак для обозначения затопленных берегов
Ориентирный знак	Береговой навигационный знак для обозначения характерных мест берега

Береговые знаки состоят из столба-опоры и укрепленного на нем щита определенной формы и окраски. Для этих знаков применяются сигнальные щиты пяти типов: прямоугольный, квадратный, трапецидальный, круглый и комбинированный. Форма щита зависит от назначения берегового знака. Размеры сигнальных щитов в зависимости от дальности действия знака регламентируются ГОСТ 26600-98 «Знаки навигационные внутренних судоходных путей». Высота береговых знаков определяется специальным расчетом с учетом рельефа береговой полосы.

На ВВП применяются *осевые* (линейные), *щелевые* и *кромочные* створы³. Осевой створ (рис. 41) состоит из двух знаков – переднего и

³ Размещение створных знаков на местности должно обеспечивать оптимальный разнос знаков по оси трассы так, чтобы они соответствовали требованиям к системе «створ-канал-судно», хорошо просматривались с судна и не проецировались на какие-либо возвышающиеся над ними сооружения, деревья и т. п.

заднего, одинаковых по форме, расположенных на продолжении оси судового хода. Схема расположения осевых створов на участке ВВП показана на рис. 42.



Рис. 41. Осевой створ



*Рис. 42. Схема расположения осевых створов на участке реки:
1 – ось судового хода; 2 – створы на светлом фоне;
3 – створы на темном фоне*

На знаках осевого створа применяют сигнальные щиты четырех типов: квадратный (рис. 43, а); прямоугольный (рис. 43, б); трапециевидальный (рис. 43, в); комбинированный (рис. 43, г – верхний щит квадратный, расположенный вертикально, а нижний – трапециевидальный, расположенный наклонно к вертикали). Цвет сигнальных щитов выбирают в зависимости от фона окружающей местности.

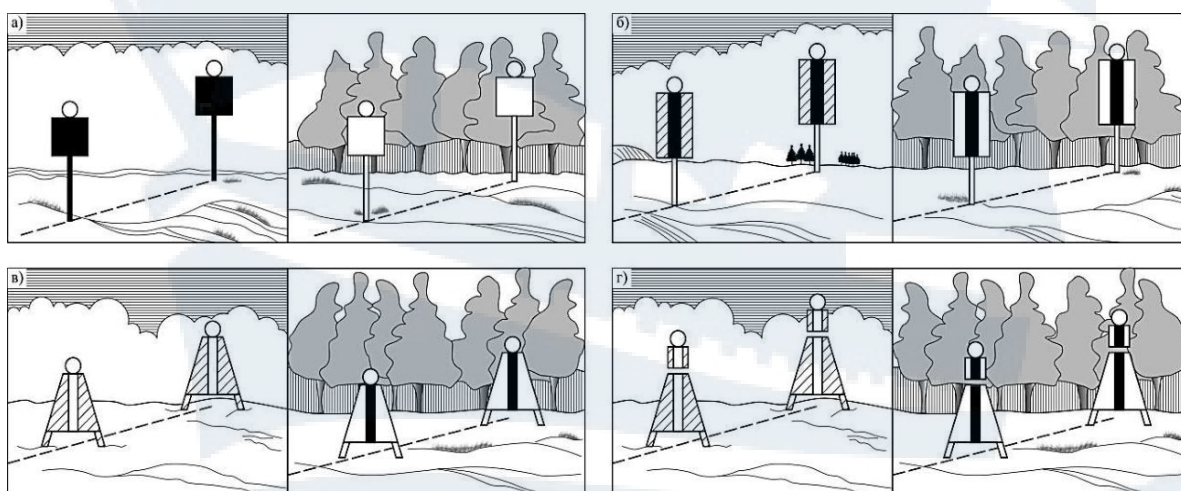


Рис. 43. Осевые створы для светлого (слева) и темного (справа) фона местности (часть площади знаков, окрашенная в красный цвет, условно обозначена штриховкой)

При светлом фоне щиты окрашивают в красный цвет с белой или черной вертикальной полосой посередине, а при темном – в белый цвет с черной вертикальной полосой, а если они располагаются на фоне неба, то в черный цвет. В темное время суток на осевых створных знаках правого берега действует красный, белый или желтый сигнальный огонь, а на знаках левого берега – зеленый, белый или желтый. При этом характер (режим) огня переднего знака – постоянный, а заднего – проблесковый или постоянный.

Осевой створ служит для обозначения оси судового хода. Принцип его действия состоит в следующем (рис. 44). Два знака или огня створа – передний и задний, расположенные на берегу на некотором расстоянии друг от друга, образуют створную линию, продолжение которой в сторону водного пространства должно совпадать с положением оси судового хода.

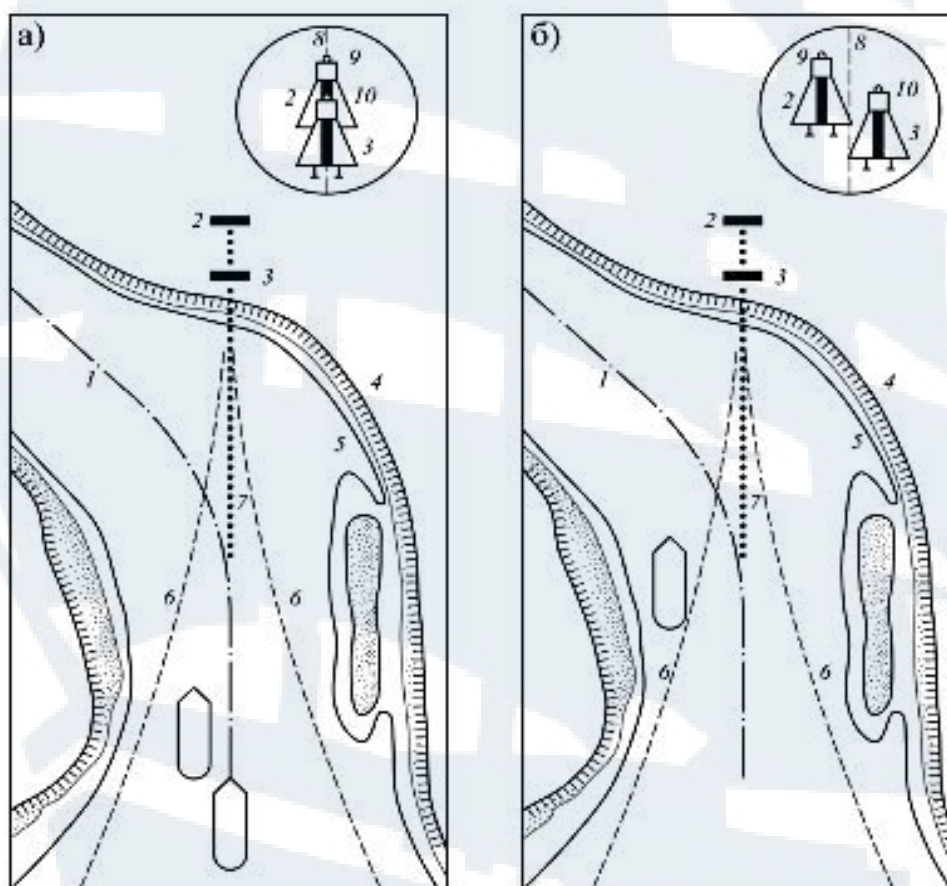


Рис. 44. Ориентирование по осевому створу:

- а – судно находится в створной зоне; б – судно вышло из створной зоны;
 1 – ось судового хода; 2 – задний знак створа; 3 – передний знак створа;
 4 – берег; 5 – изобата гарантированной глубины; 6 – визирные кривые, ограничивающие створную зону; 7 – ось створа; 8 – воображаемая вертикаль, проходящая через огни створа; 9 – огонь заднего знака;
 10 – огонь переднего знака

Признаком нахождения судна на створной линии будет расположение переднего и заднего знаков или огней на одной вертикали (рис. 44, а). Отклонение взаимного расположения переднего и заднего знаков или огней от вертикали свидетельствует об уклонении судна в сторону от оси судового хода и выходе его за пределы створной зоны (рис. 44, б). При выходе судна из створной зоны судоводитель должен изменить курс для возвращения в эту зону.

На рис. 45 показан передний створный знак



Рис. 45. Передний створный знак

Щелевой створ состоит из трех знаков – двух передних и одного заднего и служит для обозначения положения судового хода и его кромок (рис. 46). Два передних знака устанавливаются на линии, перпендикулярной к оси створа, и располагаются от нее на одинаковом расстоянии. Задний знак устанавливается на оси створа, которая должна совпадать с осью судового хода. Сигнальные щиты знаков щелевого створа предусмотрены одного типа – прямоугольной формы. Их окрашивают в зависимости от фона окружающей местности: на светлом фоне – красный цвет с белой или черной вертикальной полосой посередине (рис. 47, а), на темном фоне – в белый цвет с черной вертикальной полосой (рис. 47, б).

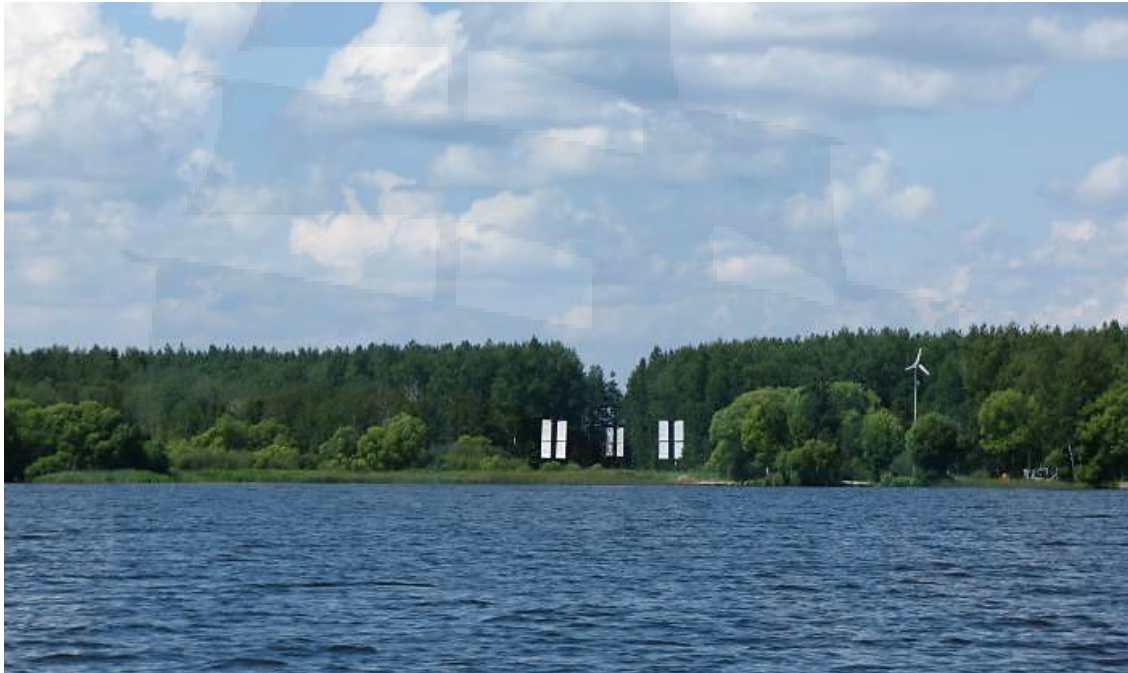
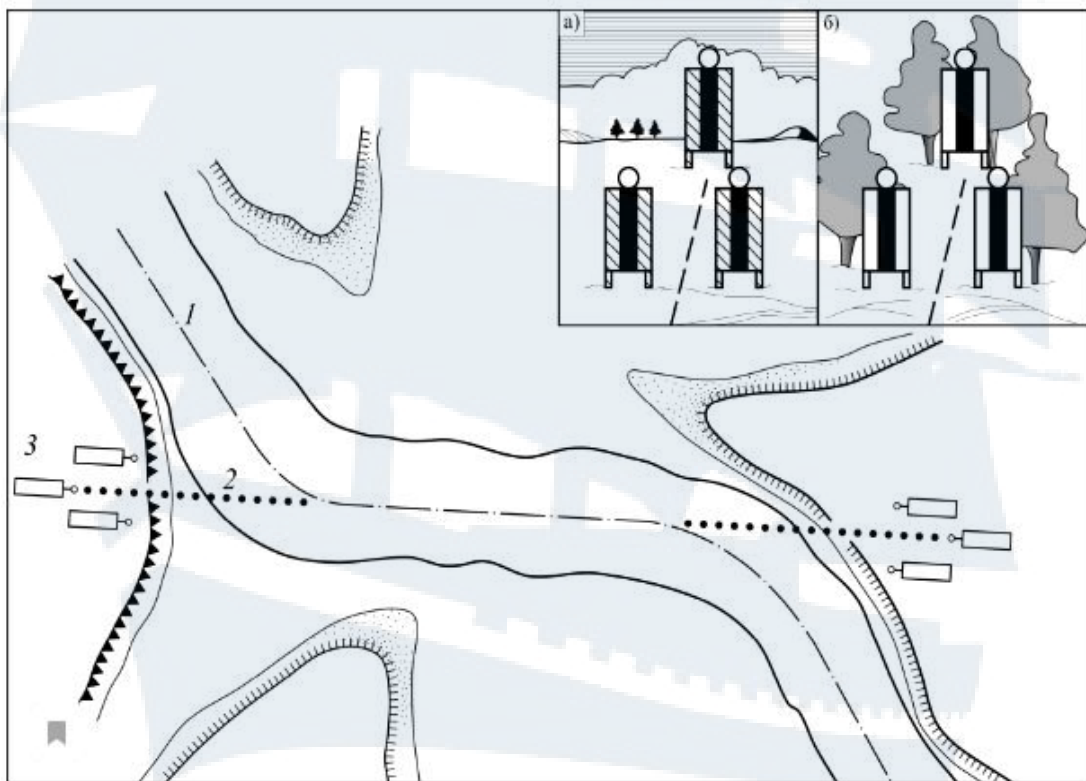


Рис. 46. Щелевой створ



*Рис. 47. Схема расположения щелевого створа
на участке водного пути:*

*а) для светлого фона; б) для темного фона;
1 – ось судового хода; 2 – ось створа; 3 – знаки створа*

На знаках щелевого створа действуют белые или желтые сигнальные огни, на передних знаках – постоянные, на заднем – проблесковый. При наличии в районе расположения щелевого створа посторонних огней на знаках, установленных на правом берегу, применяются красные сигнальные огни, на левом берегу – зеленые. При этом передние огни – постоянные, а задний – *проблесковый*.

Принцип действия щелевого створа показан на рис. 48. При движении судна по оси судового хода (рис. 48, а) задний знак (огонь) виден точно посередине расстояния между передними знаками (огнями). По мере уклонения судна от оси судового хода симметричность расположения знаков нарушается (рис. 48, б), при этом сокращается просвет между задним и передним знаками той кромки, к которой судно приближается. Если судно вышло за границу створной зоны (рис. 48, в), просвет между щитами заднего и одного из передних знаков исчезает. Щелевые створы применяются в основном на водохранилищах и устьевых участках больших рек.

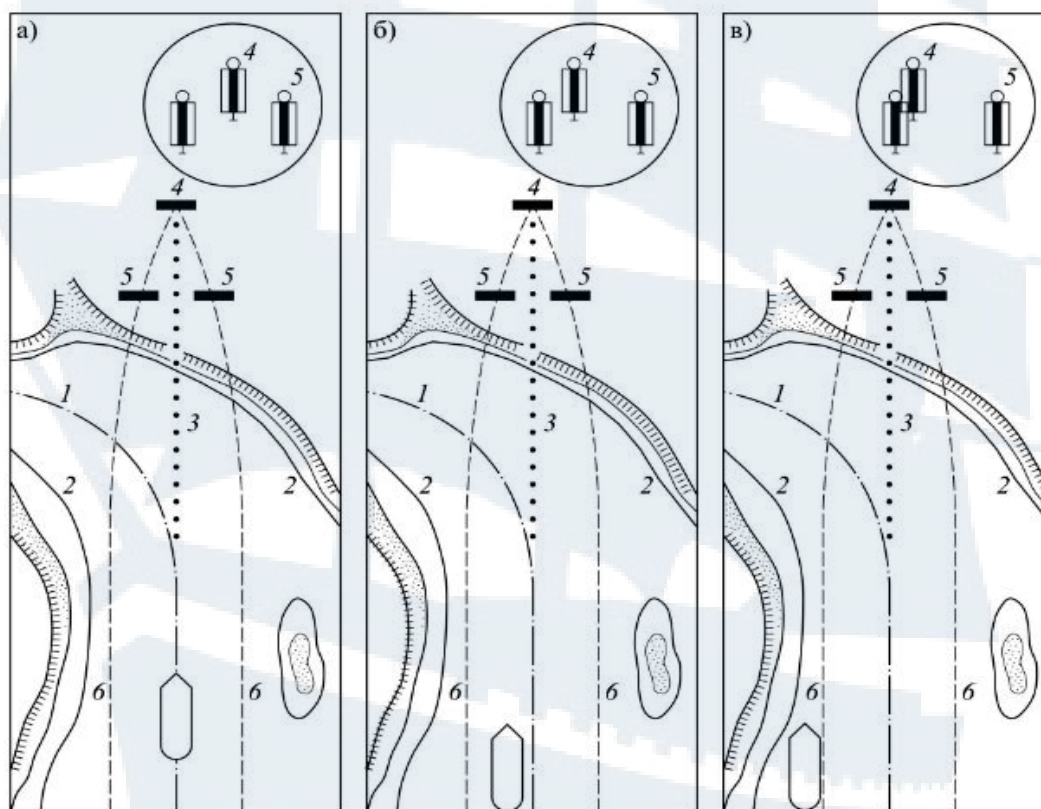


Рис. 48. Ориентирование по щелевому створу:
 а – судно на оси створа; б – судно уклонилось от оси створа;
 в – судно вышло из створной зоны; 1 – ось судового хода; 2 – изобата
 гарантированной глубины; 3 – ось створа; 4 – задний знак; 5 – передний
 знак; 6 – визирные кривые, образующие створную зону

Кромочный створ предназначен для указания одной кромки судового хода. Створ состоит из двух знаков – переднего и более высокого заднего. Ось створа пересекает вертикальную грань заднего знака, обращенную в сторону ограждаемой кромки судового хода. Передний знак несколько смещен с этой оси в сторону той же кромки. Для указания обеих кромок судового хода устанавливаются два кромочных створа – левый и правый (рис. 49). Сигнальный щит переднего знака кромочного створа имеет прямоугольную форму, а заднего – форму прямоугольной трапеции. Знаки окрашиваются на темном фоне в белый цвет, на светлом фоне – в красный цвет. Огни – на левой кромке зеленые, передний постоянный, задний двухпроблесковый; на правой кромке красные, передний постоянный, задний двухпроблесковый.

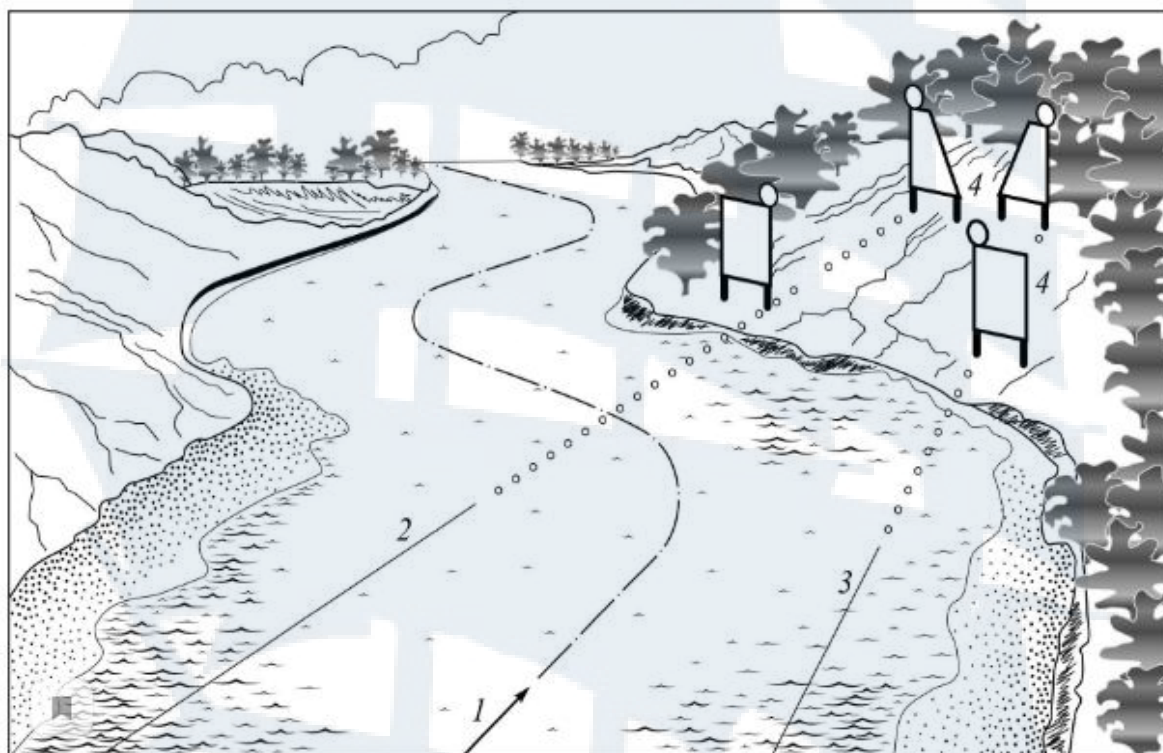
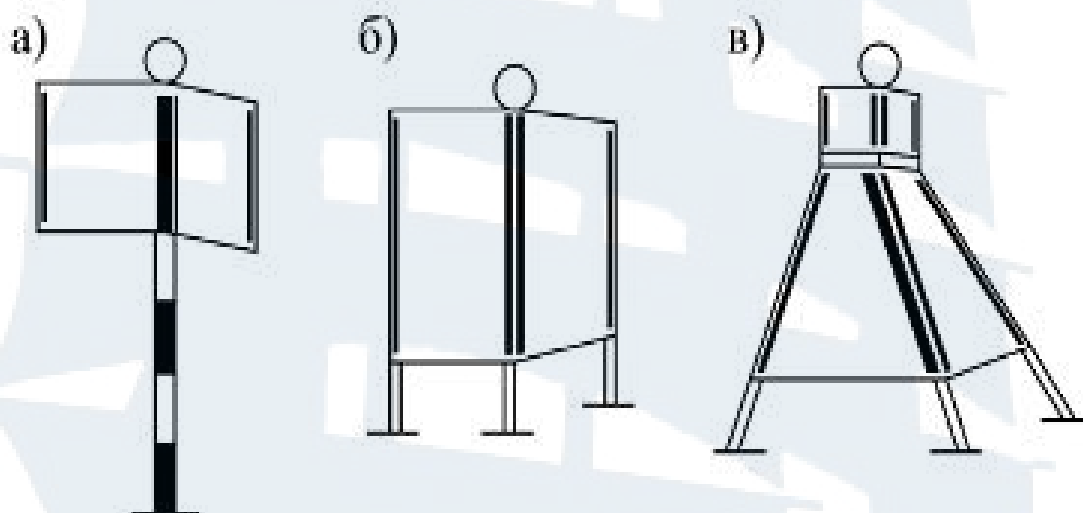


Рис. 49. Кромочный створ

При нахождении судна на оси судового хода судоводитель видит знаки (огни) правого и левого створов, расположенные симметрично. При уклонении судна от оси судового хода нарушается видимое судоводителем симметричное расположение знаков. Зазор между вертикальными гранями щитов переднего и заднего знаков той кромки, в сторону которой уклонилось судно, окажется меньше зазора между вертикальными гранями щитов, ограждающих другую кромку. Исчезновение зазора между щитами знаков кромки, к которой уклонилось судно

(касание вертикальных граней щитов), или расположение огней на одной вертикали означает, что судно вышло из створной зоны.

Перевальные знаки (рис. 50, 51) – это береговые навигационные знаки для указания направления судового хода, переходящего (переваливающего) от одного берега к другому, а также для обозначения начала и конца участка с приглубым (ходовым) берегом. Перевальный знак состоит из столба-опоры и укрепленного на нем сигнального щита определенной формы. Предусмотрены три типа щитов для перевальных знаков: квадратные (рис. 50, а), прямоугольные (рис. 50, б) и комбинированные (рис. 50, в). Знаки, расположенные на светлом фоне местности, окрашиваются в красный цвет, на темном – в белый.



*Рис. 50. Типы сигнальных щитов перевальных знаков:
а – квадратный; б – прямоугольный; в – комбинированный*

Ходовые знаки (рис. 52) – это береговые знаки, которые указывают, что судоводитель находится вдоль того приглубого берега, на котором они установлены. Они состоят из столба – опоры и сигнального щита – ромба (рис. 52, а), или щита в виде вытянутого ромба с отсеченными острыми углами (рис. 52, б). Для обеспечения видимости со всех направлений щиты делаются, как правило, объемными. Это достигается за счет крестообразного соединения двух плоских щитов (ромбов) или за счет соединения в плане двух щитов (вытянутых ромбов) под углом 90° . На ходовых знаках правого берега действуют красные проблесковые огни, на знаках левого берега – зеленые проблесковые.

Весенние знаки (рис. 53) устанавливают для обозначения затопленных в период половодья берегов, островов, выступающих в русло мысов и т.п. Они не указывают непосредственно ось или кромку судового хода и служат для определения положения судового хода совместно с другими знаками.



Рис. 51. Перевальный знак

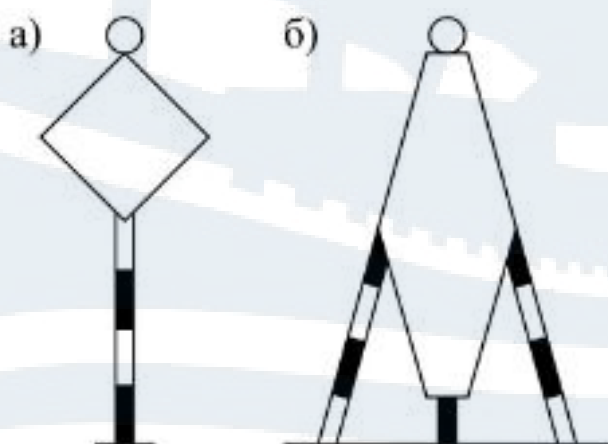


Рис. 52. Ходовые знаки

Весенний знак представляет собой укрепленную на столбе-опоре сигнальную фигуру, состоящую из двух крестообразно соединенных щитов, имеющих форму круга на правом берегу (рис. 53, а) и трапеции – на левом берегу (рис. 53, б). Сигнальная фигура может быть также выполнена из трех пересекающихся под углом 120° в плане плоскостей. Щиты весенних знаков правого берега окрашивают в красный цвет, а левого – в белый. Опоры знаков окрашивают в тот же цвет, что и щиты. В темное время суток на знаках правого берега действуют красные постоянные огни, на знаках левого берега – зеленые постоянные.

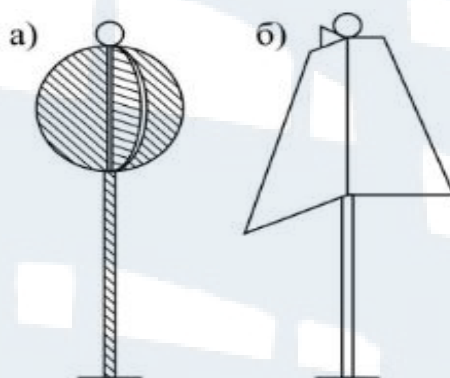


Рис. 53. Весенние знаки

Знак «Ориентир» (рис. 54) применяют на реках и водохранилищах для обозначения характерных берегов, мысов, островов и других приметных мест береговой полосы.

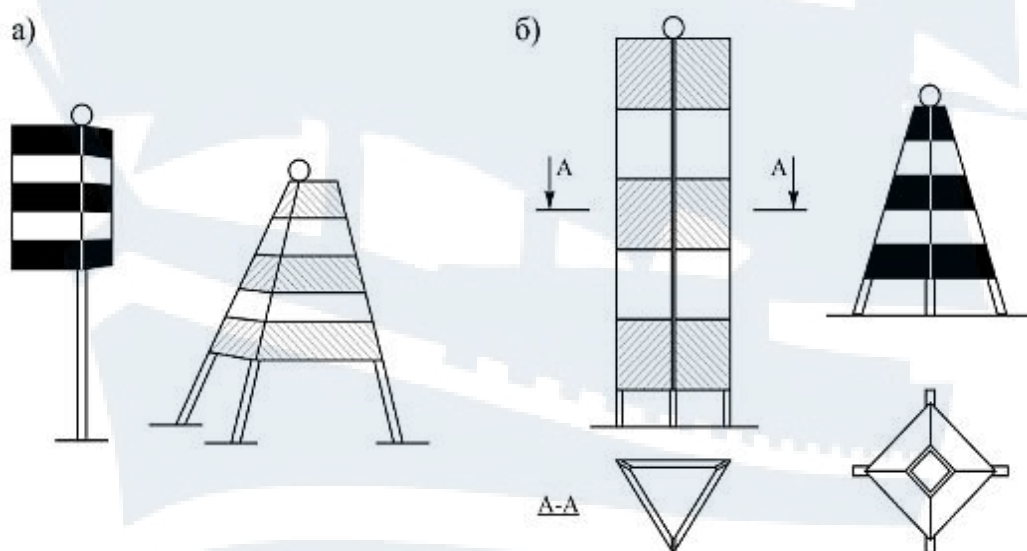


Рис. 54. Знаки «Ориентир»:

а – в виде одиночных столбов с сигнальными щитами;
б – в виде трех и четырехгранных призм и пирамид

Непосредственно положение судового хода они не указывают, но позволяют судоводителям определить его косвенным путем (по положению судна относительно знака «Ориентир»). По конструкции знаки изготавливаются в виде столбов-опор с двумя щитами (рис. 54, а) и трех или четырехгранных призм и пирамид (рис. 54, б). Используются два типа сигнальных щитов: прямоугольной и трапецеидальной формы. Щиты знаков, устанавливаемых на правом берегу, окрашивают пятью чередующимися горизонтальными полосами красного и белого цветов, а на левом берегу – черного и белого, причем верхняя полоса должна быть соответственно красной или черной. На знаках «Ориентир» правого берега действуют красные, белые или желтые двухпроблесковые огни, а на знаках левого берега – зеленые, белые или желтые двухпроблесковые.

Знаки «Путевой огонь» (рис. 55, а) служат для обозначения в ночное время берегов судоходного канала. Форма знаков, несущих путевые огни, не регламентируется. Конструктивно знак представляет собой опору, в вершине которой укреплен фонарь с двумя линзами в боковых стенках. В фонаре помещается электрическая лампа. Через линзы боковых стенок сигнальные огни светят вдоль берега канала. На правом берегу действуют красные постоянные или проблесковые огни, на левом – зеленые постоянные или проблесковые.

Опознавательные знаки (рис. 55, б) служат для обозначения входа в канал, порт, аванпорт, убежище со стороны озера или водохранилища. Знаки сооружают в виде различных по архитектуре башен и устанавливают на оголовках дамб, молов и волноломов. Их окрашивают в цвет, обеспечивающий необходимый контраст с окружающим фоном местности. На вершинах опознавательных знаков устанавливаются постоянные или проблесковые сигнальные огни кругового действия: зеленые на знаках левого берега и красные – на знаках правого берега. На сторонах опознавательных знаков, обращенных к судовому ходу, может устанавливаться постоянный огонь того же цвета, что и на их вершинах.

Навигационные информационные знаки, показанные в табл. 18, делятся на следующие группы:

- *запрещающие* (определенные действия судоводителей) – имеют круглый щит, окрашенный в белый цвет, полоса по краю и диагональ – красные, символ – черный, огонь – желтый затмевающийся.
- *предупреждающие и предписывающие*;
- *указательные*.

К *запрещающим* относятся знаки:

- «Якоря не бросать!», показан на рис. 56;
- «Расхождение и обгон составов запрещены!»;
- «Расхождение и обгон запрещены!»;
- «Не создавать волнения!» (рис. 57);
- «Движение мелких плавсредств запрещено!» (рис. 58);
- семафор, светофор.

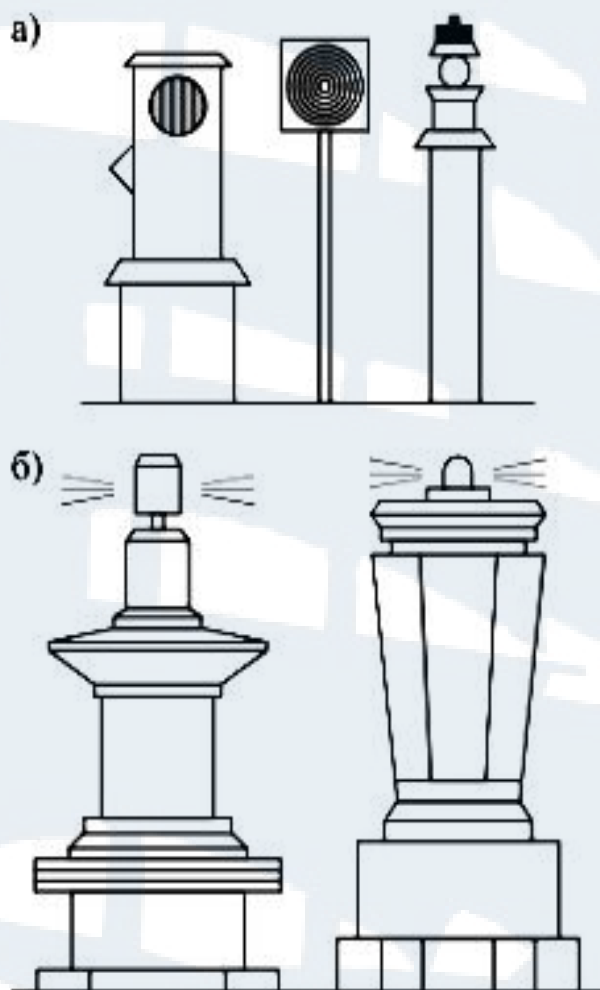


Рис. 55. Знак «Путевой огонь» (а) и опознавательные знаки (б)

К *предупреждающим* и *предписывающим* относятся знаки:

- «Внимание!»;
- «Пересечение судового хода!»;
- «Скорость ограничена!»;
- «Соблюдать надводный габарит» (рис. 59).

К указательным относятся знаки:

- «Место оборота судов»;
- «Пост судоходной инспекции»;
- «Указатели расстояния»;
- «Указатель местности»;
- «Указатель рейда» (рейдовый знак);
- сигнальные мачты.



Рис. 56. Знак «Якоря не бросать!»



Рис. 57. Знак «Не создавать волнение!»



Рис. 58. Знак «Движение мелких плавучих средств запрещено!»



Рис. 59. Знак «Соблюдать надводный габарит!»

Береговые навигационные информационные знаки

Индекс, наименование и значение знака (огня)	Вид сигнального щита	Цвет, характер и взаимное расположение огней
1. Запрещающие знаки		
<p>«Расхождение и обгон запрещены!» Для обозначения участка судового хода, где обгон и расхождение судов запрещены</p>		 Желтый затмевающийся
<p>«Расхождение и обгон составов запрещены!» Для обозначения участка судового хода, где запрещены обгон и расхождение составов и крупногабаритных судов длиной более 120 м</p>		 Желтый затмевающийся
<p>«Якоря не бросать!» Для обозначения зоны подводного перехода, где запрещено отдавать якоря, опускать цепи, волокуши, лоты. Примечание: Знаки устанавливают владельцы сооружений по согласованию с органами, регулирующими судоходство</p>		 Желтый
<p>«Не создавать волнения!» Для обозначения участков водного пути, где запрещено создавать волнение. Примечание: Знаки устанавливают владельцы сооружений по согласованию с органами, регулирующими судоходство</p>		 Желтый затмевающийся
<p>«Движение мелких плавучих средств запрещено!» Для обозначения участка, где на судовом ходу запрещено движение маломерных судов (на рейдах, в подходных каналах, у причалов и др.)</p>		 Желтый затмевающийся

Индекс, наименование и значение знака (огня)	Вид сигнального щита	Цвет, характер и взаимное расположение огней
<p>«Светофор» Для регулирования движения судов в районах шлюзов, заградительных ворот, паромных канатных переправ и подъемных судоходных пролетах мостов</p>		<p>Ход открыт (зеленый)  Ход закрыт (красный) </p>
<p>2. Предупреждающие и предписывающие знаки</p>		
<p>«Скорость ограничена!» Для обозначения участков судового пути, где скорость движения водоизмещающих судов ограничена (на каналах, в аванпортах, акваториях рейдов и др.). Цифры показывают максимальную допустимую скорость хода (км/ч)</p>		 <p>Желтый</p>
<p>«Внимание!» Для обозначения участка судоходного пути, где необходимо соблюдать особую осторожность</p>		 <p>Желтый</p>
<p>«Пересечение судового хода!» Для обозначения мест пересечения судового хода судами и паромными переправами. Примечание: Знаки устанавливаются владельцы сооружений по согласованию с органами, регулирующими судоходство</p>		 <p>Желтый</p>
<p>«Соблюдать надводный габарит!» Для обозначения надводных и мостовых переходов. Цифра показывает минимальную проходную высоту надводного перехода, высоту подмостового судоходного габарита судоходного пролета моста от расчетного высокого судоходного уровня воды (м)</p>		 <p>Желтый</p>

Индекс, наименование и значение знака (огня)	Вид сигнального щита	Цвет, характер и взаимное расположение огней
3. Указательные знаки		
«Место оборота судов» Для обозначения участка, где наиболее безопасно производить обороты судна		 Желтый
«Пост судоходной инспекции» Для обозначения мест базирования подразделений судоходных инспекций		 Желтый

3.1.2. Плавающие навигационные знаки

Плавающие навигационные знаки служат для ограждения опасностей, указания кромок и оси судового хода. Эти знаки в зависимости от конкретных условий выставляются на водных объектах по определенной системе: *латеральной* или *кардинальной*.

По первой (латеральной) системе, которая применяется на реках, водохранилищах, каналах и озерах, состав и отличительные признаки плавающих знаков определяются по ГОСТ 26600-98 «Знаки навигационные внутренних судоходных путей». Этот ГОСТ определяет также состав и отличительные признаки береговых навигационных знаков, применяемых на ВВП.

Вторая (кардинальная) система навигационного оборудования водных путей плавающими знаками носит название «Система МАМС» – система Международной ассоциации маячных служб. Она применяется на больших озерах, морских устьях крупных рек, а также на внешних водных путях – морях, океанах и морских каналах.

Этой системой Мировой океан делится на *два региона*, показанные на рис. 60:

– *регион А* (акватория вокруг Евразии, Африки и Австралии) – в нём левая сторона фарватера отмечается знаками красного цвета (либо красным огнём ночью), а правая сторона – знаками зелёного цвета;

– регион Б (акватория вокруг американских континентов) – наоборот.

В каждой из применяемых систем ограждения навигационных опасностей существуют системы плавучих навигационных знаков по схеме расстановки:

- латеральные знаки, выставляемые по принципу ограждения кромок судового хода и сторон фарватера;
- кардинальные знаки, которые выставляются в одном, нескольких или во всех секторах относительно стран света от опасности и обозначают сторону, с какой эту опасность надо обходить;
- осевые знаки, обозначающие ось судового хода или фарватера;
- знаки, обозначающие начальные точки (знаки чистой воды);
- знаки специального назначения, применяемые для обозначения или ограждения специальных районов и объектов.

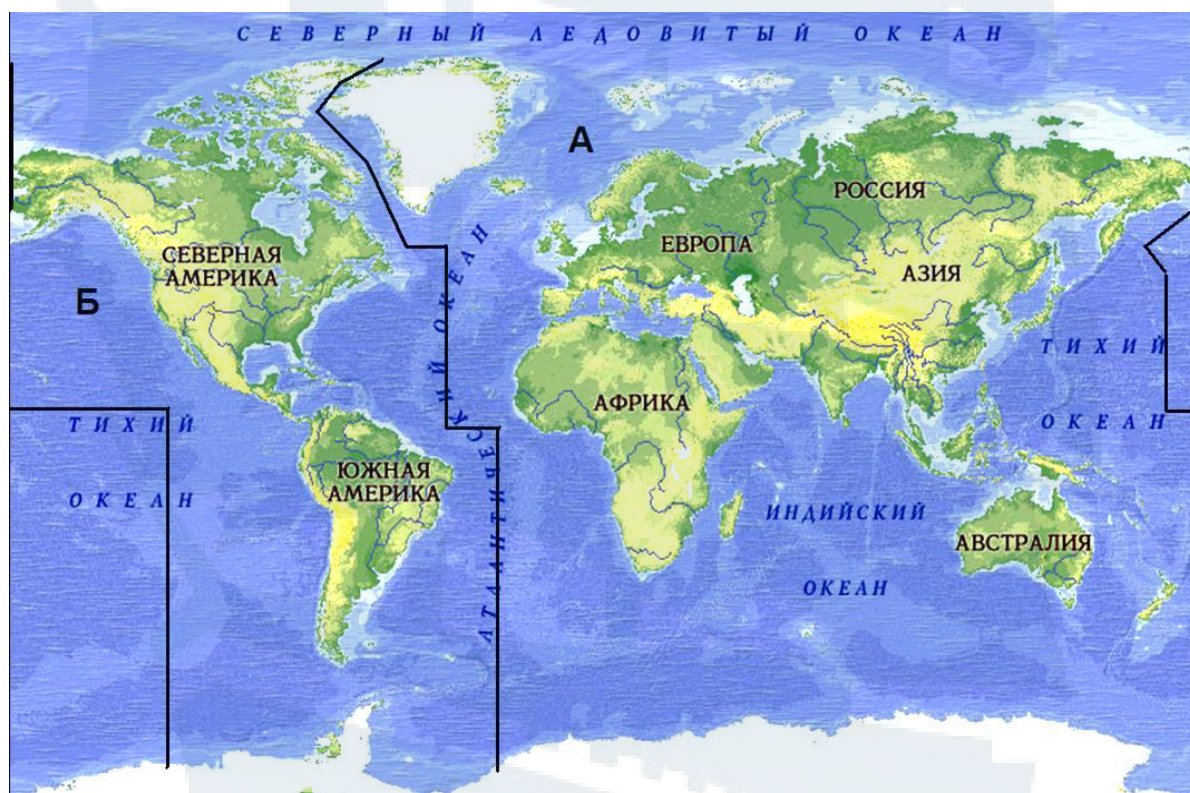


Рис. 60. Границы регионов системы МАМС

Навигационные плавучие знаки имеют свои отличительные признаки по расцветке, цвету и характеру огня, в зависимости от их назначения и системы расстановки. Плавучим знакам в зависимости от их назначения присваиваются определенная форма, окраска и характер

огня. Плавучие знаки предупреждают судоводителя о наличии опасностей, запрещают движение в их сторону и указывают безопасный путь.

Количество навигационных знаков, устанавливаемых на водном пути, определяют его судоходные характеристики (глубину и ширину судового хода, радиус закругления, грунты, слагающие дно реки, скорость течения и др.), интенсивность судоходства, грузоподъемность и тип транспортных судов, также вид используемого навигационного оборудования. В табл. 19 дано описание плавающих навигационных знаков.

Таблица 19

Плавающие знаки внутреннего водного пути

Кромочный навигационный знак	Плавающий навигационный знак обозначения кромки судового хода
Поворотный навигационный знак	Плавающий навигационный знак обозначения крутого поворота на участках с ограниченным обзором, а также поворота судового хода на водохранилищах и озерах
Навигационный знак опасности	Плавающий навигационный знак обозначения особо опасных мест у кромки судового хода. Навигационный знак опасности является, как правило, знаком, дублирующим кромочный знак, и устанавливается в непосредственной близости от него
Свальный навигационный знак	Плавающий навигационный знак обозначения свального течения
Разделительный навигационный знак	Плавающий навигационный знак обозначения места разделения судового хода
Осевой навигационный знак	Плавающий навигационный знак обозначения оси судового хода
Поворотно-осевой навигационный знак	Плавающий навигационный знак обозначения места поворота оси судового хода
Навигационный огонь внутреннего водного пути	Сигнальный огонь на навигационном знаке внутреннего водного пути

Направление фарватера считается по течению для рек и с моря для обоих регионов А и Б. В отдельных случаях направление фарватера оговаривается специально. Остальные типы знаков являются общими для регионов А и Б.

Латеральные знаки, используемые в регионах А и Б, отличаются друг от друга цветом и формой. Красный цвет окраски знаков с левой стороны фарватера относится к региону А. К региону Б относится зеленый цвет окраски знаков с левой стороны фарватера. Также окрашиваются знаки разделения фарватеров.

Знаки ограждения *правой* стороны фарватера показаны на рис. 61.

Окраска: зеленая; форма: буи сигарообразные, столбовидные или вежи; топовая фигура: зеленый конус вершиной вверх; огонь: цвет – зеленый, характер – прерывистый, интервал – 3 с.

Знаки ограждения *левой* стороны фарватера показаны на рис. 62.

Окраска: красная; форма: буи сигарообразные, столбовидные или вежи; топовая фигура: красный цилиндр; огонь: цвет – красный, характер – прерывистый, интервал – 3 с.

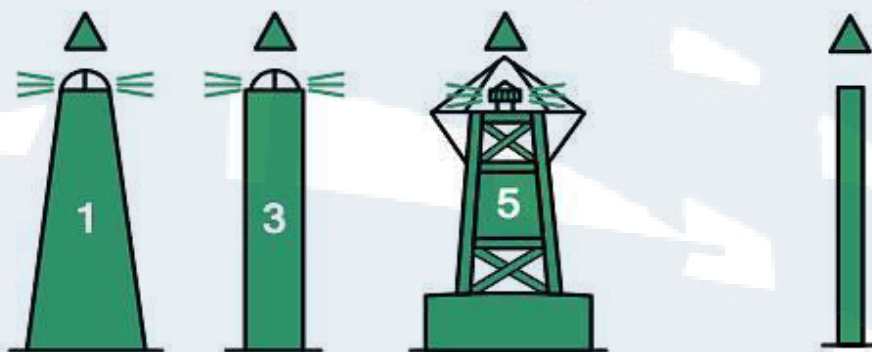


Рис. 61. Ограждения правой стороны фарватера

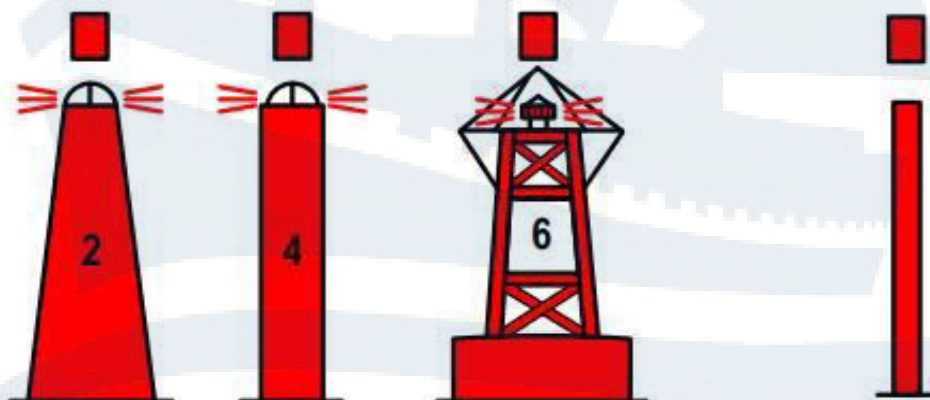
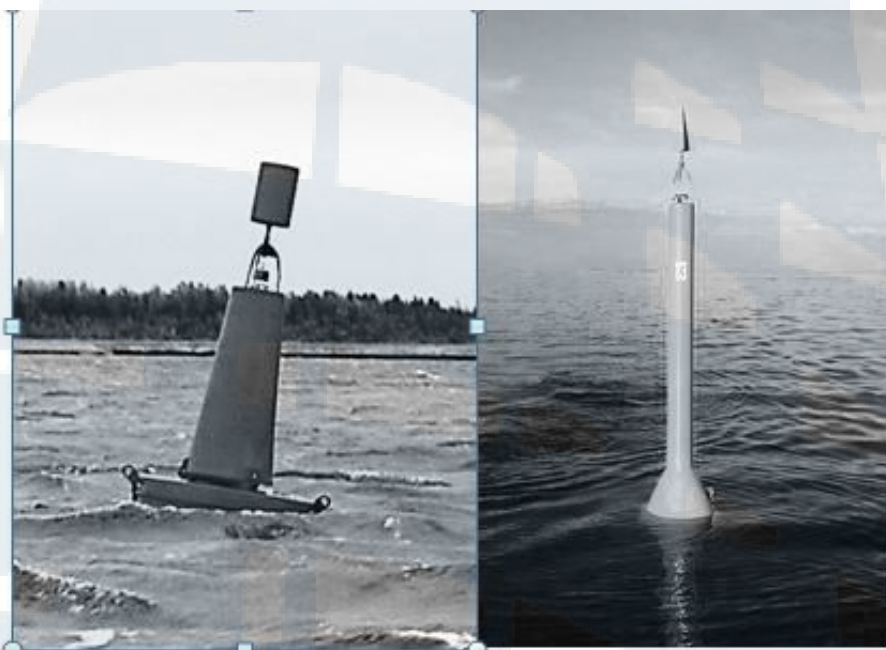


Рис. 62. Ограждение левой стороны фарватера

Вид знаков ограждения сторон фарватера показан на рис. 63.

Знаки обозначения мест *разделения* фарватеров (основной фарватер *слева*) показаны на рис. 64.

Окраска: зеленая с широкой красной горизонтальной полосой; форма: буи сигарообразные, столбовидные или вежи; топовая фигура: зеленый конус; огонь: цвет – зеленый, характер – прерывистый, интервал – 9 с.



а) левая сторона

б) правая сторона

Рис. 63. Ограждения сторон фарватера

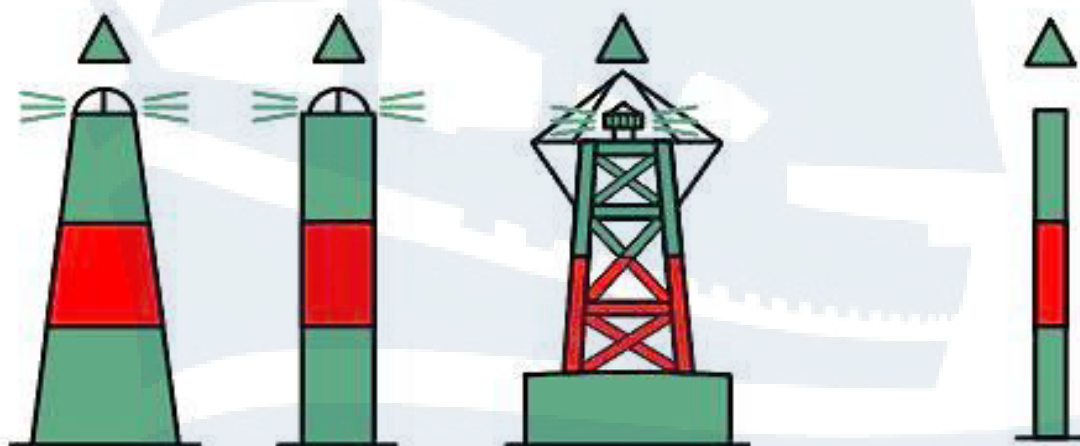


Рис. 64. Обозначения мест *разделения* фарватеров (основной фарватер *слева*)

Знаки обозначения мест *разделения* фарватеров (основной фарватер *справа*) показаны на рис. 65.

Окраска: красная с широкой зеленой горизонтальной полосой; форма: буи сигарообразные, столбовидные или вежи; топовая фигура: красный цилиндр; огонь: цвет – красный, характер – прерывистый, интервал – 9 с. Вид такого знака показан на рис. 66.

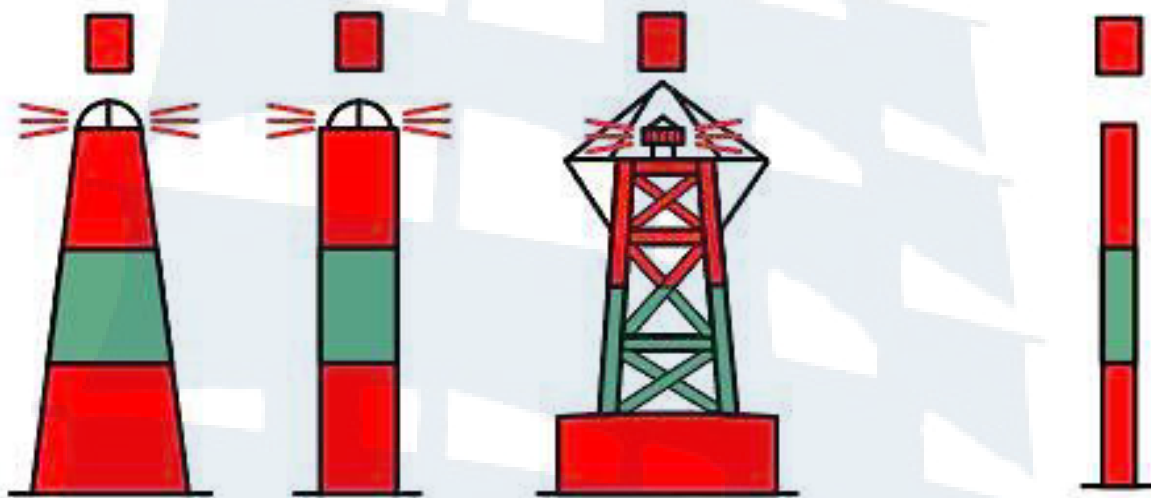


Рис. 65. Обозначения мест *разделения* фарватеров (основной фарватер *справа*)

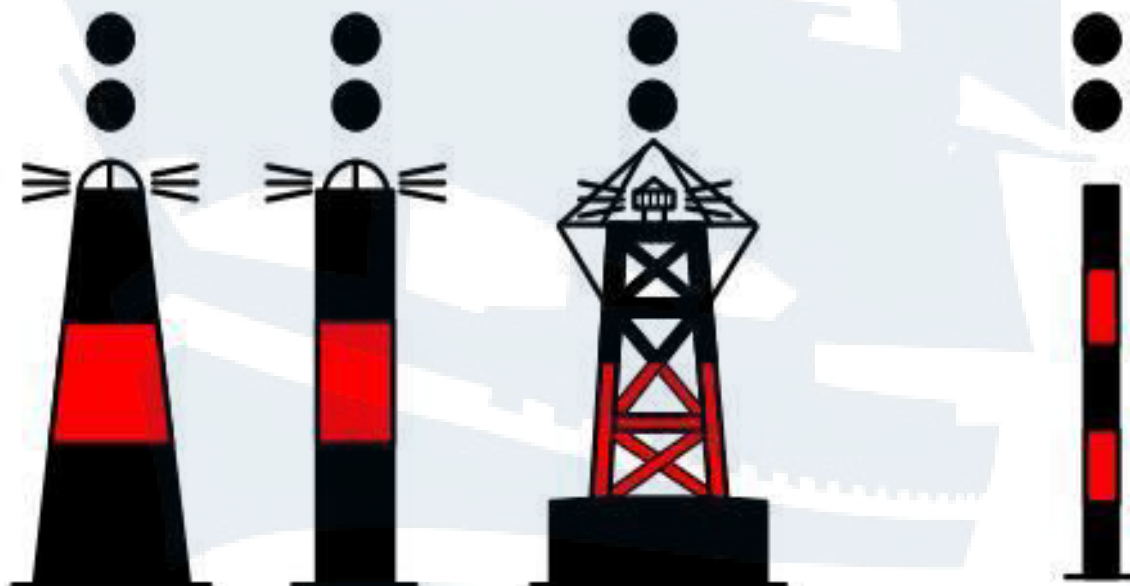


Рис. 66. Знаки, ограждающие отдельные опасности

Знаки ограждения отдельных опасностей малых размеров, окружённых со всех сторон безопасными глубинами – выставляются над опасностью (банкой, островком, подводной скалой, затопленным объектом и др.). Они могут обходиться с любой стороны (рис. 66, 67).

Цвет – чёрный с одной – двумя красными горизонтальными полосами; форма – любая, предпочтительно в виде столбовидного буя или вехи; топовая фигура – два чёрных шара один над другим; огонь – белый, проблесковый, интервал – 5 с.

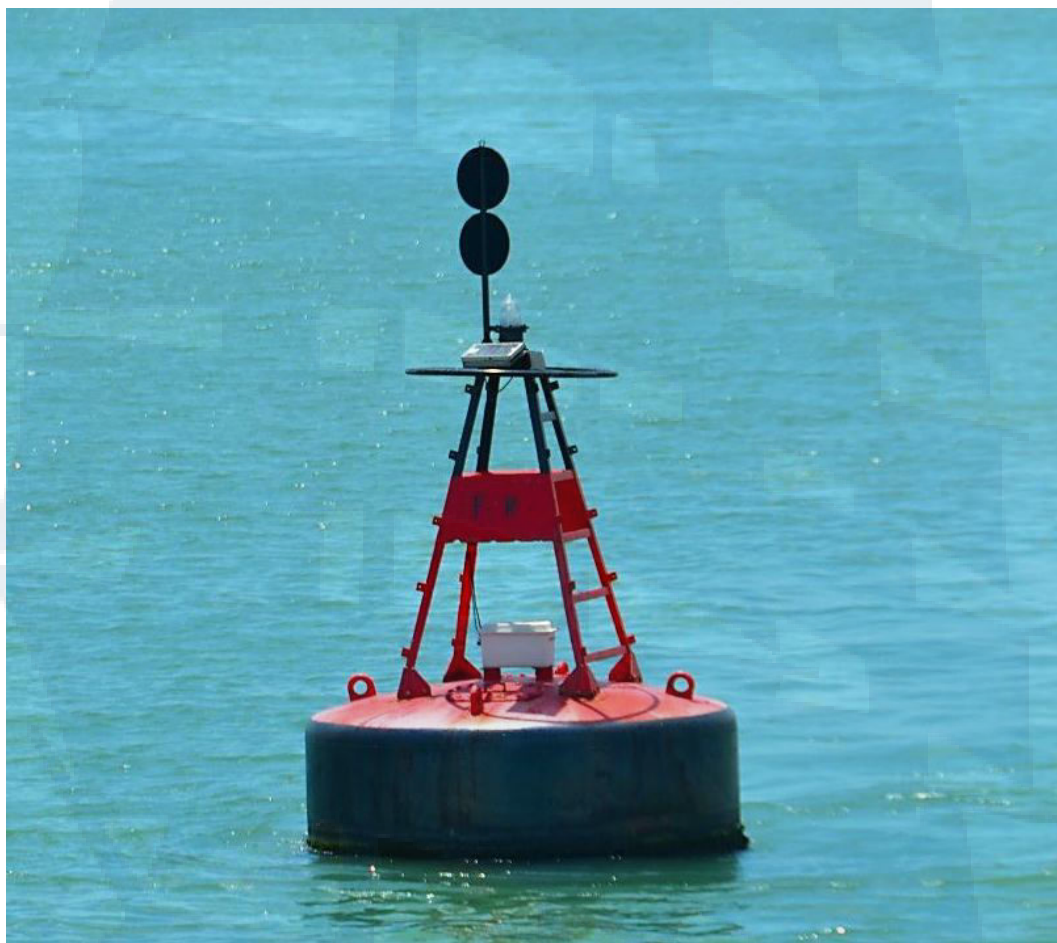


Рис. 67. Знак, ограждающий опасность

Определенными знаками (рис. 68, 69) обозначаются *начальные точки, ось фарватера и середина прохода.*

Окраска: красные и белые вертикальные полосы; форма: буи сигарообразные, столбовидные или вехи; топовая фигура: красный шар; огонь: цвет – белый, характер – длительный прерывистый, интервал – 6 с.

Знаки специального назначения (рис. 70, 71) предназначены для обозначения специальных районов или объектов, показанных на картах

или описанных в других навигационных документах, например знаки, ограждающие районы свалки грунта, подводные кабели и трубопроводы, обозначающие районы военных учений и зоны отдыха и другие подобные районы.

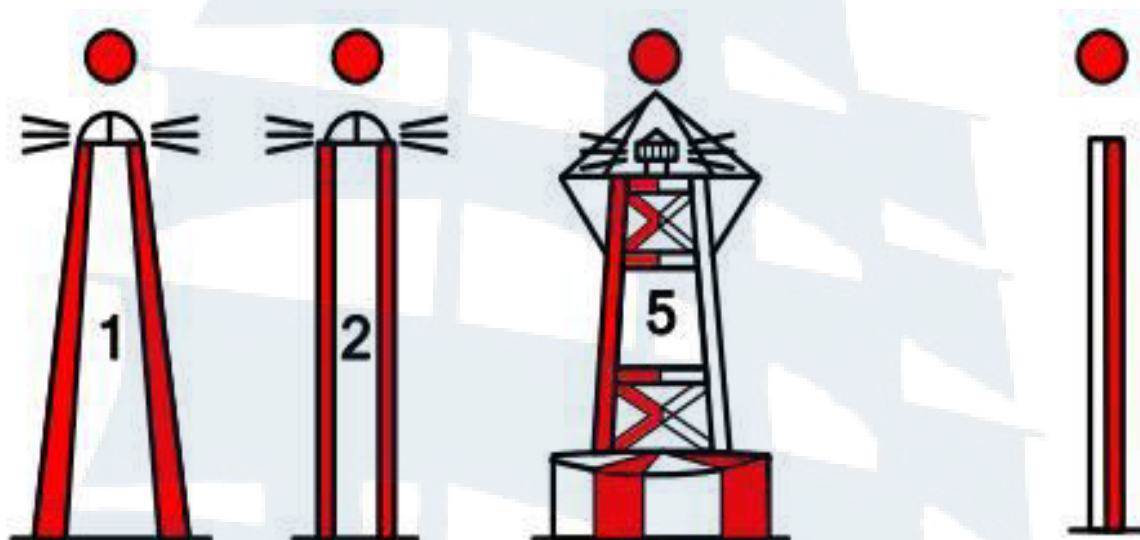


Рис. 68. Знаки, обозначающие начальные точки, ось фарватера и середину прохода



Рис. 69. Знак начала фарватера

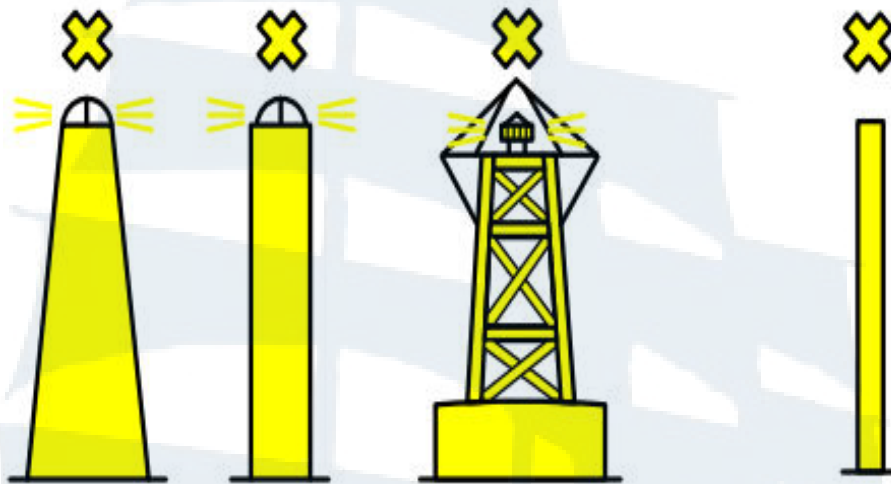


Рис. 70. Знаки специального назначения



Рис. 71. Знак специального назначения

Знаки специального назначения имеют желтую окраску. На знаках может устанавливаться топовая фигура в виде желтого косога креста. Сами знаки могут иметь любую форму.

Кардинальные знаки (рис. 72, 73) красят в черный и желтый цвета, на них устанавливают отличительные топовые знаки и белые огни, чтобы они выделялись среди прочих навигационных знаков.

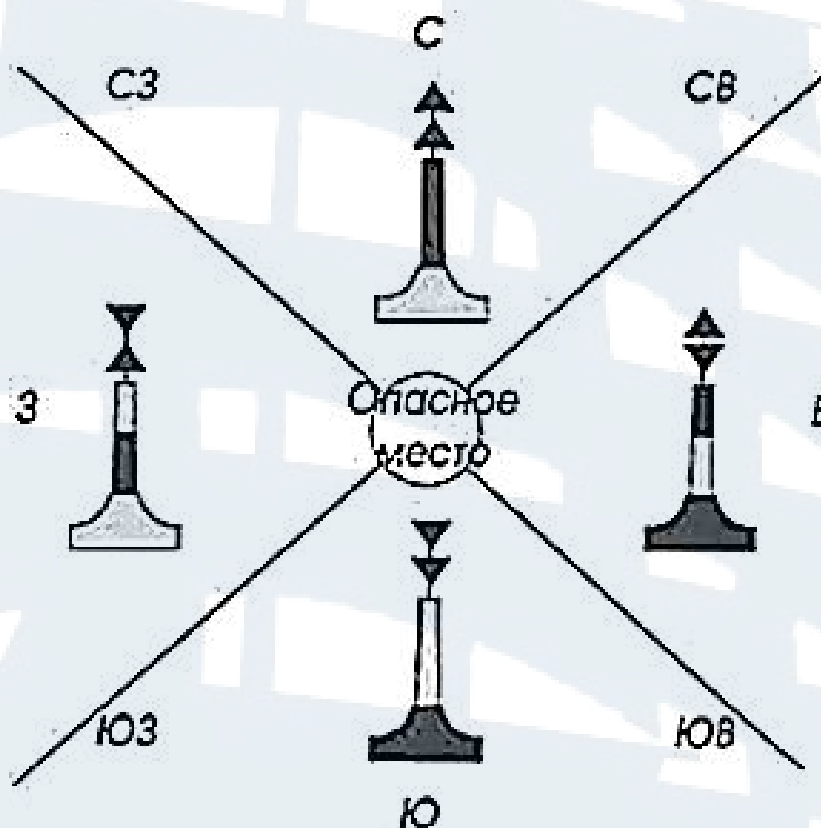


Рис. 72. Расположение кардинальных знаков

Северный знак указывает, что опасное место находится к югу от буя. Его верхняя половина выкрашена в черный цвет, а нижняя – в желтый. Топовый знак состоит из двух конусов, расположенных один над другим, их вершины направлены вверх. Ночью знак посылает продолжительные серии белых вспышек.

Южный знак показывает, что опасное место находится к северу. Его верхняя половина выкрашена в желтый цвет, а нижняя – в черный. Топовый знак состоит из двух конусов, расположенных один над другим, их вершины направлены вниз. Его фонарь дает шесть коротких белых вспышек, а потом одну долгую.

Восточный знак указывает, что опасное место лежит к западу от буя. Топовый знак состоит из двух черных конусов, расположенных

один над другим, вершина нижнего направлена вниз, а верхнего – вверх. Буй выкрашен в черный цвет с желтой полосой посередине, его белые вспышки идут группами по три.



Северный

Западный

Южный

Восточный

Рис. 73. Кардинальные знаки

Западный знак показывает, что опасное место находится к востоку. Топовый знак состоит из двух черных конусов, вершина нижнего направлена вверх, верхнего – вниз. Буй выкрашен в желтый цвет с черной полосой посередине, световые сигналы идут сериями по девять коротких вспышек.

На водных путях обычно применяются 3 разновидности плавучих знаков: *буи*, *бакены* и *вехи*. Буи и вехи могут иметь топовые фигуры определенной формы и цвета.

Буи

Буй – плавучий навигационный знак цилиндрической, конической или другой формы, устанавливаемый на якорь для обозначения границ судового хода в озерах и водохранилищах. Представляют собой металлические поплавки конической или цилиндрической формы, устанавливаемые на участках с сильным волнением. Буи имеют нумерацию. Длина якорной цепи в 2 ÷ 3 раза превышает глубину в месте установки. Наиболее важными качествами буя являются его плавучесть и остойчивость. Буй оборудован сигнальным фонарем, который питается от электрических батарей, расположенных в специальном пенале внутри корпуса.

В зависимости от гидрологических особенностей места установки и условий работы буй подразделяются на две группы:

- речные, озерно-речные, озерные;
- морские.

Речные и озерно-речные буй приспособлены к работе в районах, где преобладающими факторами воздействия на них являются статические нагрузки – течение и постоянная ветровая нагрузка. Речной и озерно-речной буй (рис. 74) представляет собой металлический поплавок с надводной частью, имеющей треугольный и прямоугольный силуэт. На его вершине размещается сигнальный фонарь кругового действия. В надводной части корпуса буя в специальном пенале размещается источник питания сигнального огня. Буй удерживается на месте с помощью якоря.

Буй является преобладающим видом плавучих знаков на внутренних водных путях. При устройстве буев первой группы предусмотрено уменьшение угла крена под действием течения, для второй группы – углов крена на волнении.

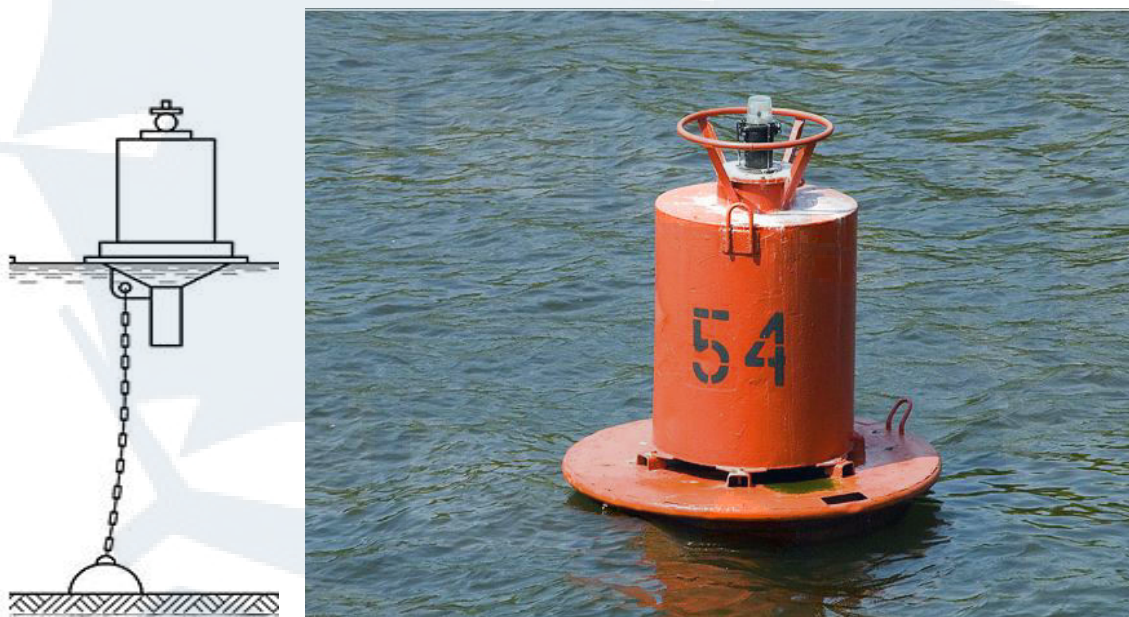


Рис. 74. Буй речной

Бакен – навигационный знак цилиндрической, конической или другой формы, устанавливаемый на якорю для обозначения границ судового хода на внутренних водных путях. Состоит из поплавковой части (плотика) и укрепленной на нем сигнальной фигуры (надстройки) трапецеидальной, круглой или прямоугольной формы (рис. 75).



Рис. 75. Бакен на реке

Вехи

Веха – предостерегающий знак судоходной обстановки в виде шеста, удерживаемый на месте якорем и предназначенный для обозначения точного положения бакена или буя при их возможном перемещении течением или ветром. Применяются как дневные плавучие знаки на реках с неосвещаемой судоходной обстановкой. Используются вехи для ограждения участков, опасных для судоходства, районов стоянки судов и т. д.

Высота надводной части речных вех составляет $1 \div 2$ м; озерных – должна равняться надводной высоте выставляемых на данном участке буюв. Различают плавучие вехи по цвету и по «топовой» фигуре (конус, флажок, шар и т. д.), установленной в верхней части шеста (рис. 76).

Кромочные знаки (вехи, бакены, буи) служат для обозначения кромок судового хода. Все знаки правого берега окрашены только в красный цвет. У правобережных вех на вершине имеется топовая фигура – черный шар или голик (веник из прутьев). При движении судна вниз по течению эти знаки оставляются справа, против течения – слева. У левого берега вехи и бакены окрашены в белый цвет, на озерно-речных участках водохранилищ бакены могут быть черного цвета, буи – всегда черные. Кроме цвета, имеет значение форма буя. Знаки левой

стороны фарватера обычно имеют цилиндрическую форму, а правой – коническую. Иногда используются круглые (сферические) буи, в основном для особых указаний; вообще говоря, мимо них можно проходить с любой стороны. При движении судна вниз по течению эти знаки оставляют слева, при движении вверх – справа.



Рис. 76. Веха

На внутренних водных путях предусматривается содержание следующих видов навигационного ограждения:

- освещаемого;
- светоотражающего;
- неосвещаемого.

3.1.3. Светосигнальные огни

Для обеспечения на водных путях с интенсивным движением круглосуточного судоходства, навигационные знаки оборудуются светосигнальными приборами, создающими навигационный огонь определенного цвета и характера (режима) горения. Светосигнальные огни позволяют судоводителям правильно ориентироваться в темное время

суток и опознавать навигационные знаки по цвету и характеру огня. Кроме того, навигационные огни предназначены для: регулирования движения судов при проходе через гидротехнические сооружения и участки пути с односторонним движением; указания оси и высоты судоходного пролета неразводных мостов; указания разводного пролета наплавных мостов.

В ночное время на знаках зажигаются *постоянные* и *прерывистые* навигационные огни белого, зеленого, красного и желтого цветов. Постоянные огни характеризуются неизменной во времени силой света. Прерывистыми называют огни, сила света которых периодически изменяется. Периодом прерывистого огня называется время, по истечению которого повторяется последовательность проблесков света и затемнений. Существуют различные виды прерывистых огней, отличающихся периодом, длительностью проблесков и их числом за период.

Использование прерывистых огней позволяет увеличить число световых сигналов различного светового значения и повысить их заметность на фоне посторонних огней. Государственный стандарт предусматривает применение постоянных и прерывистых огней следующих видов:

- проблесковых;
- группопроблесковых;
- частопроблесковых;
- прерывистых частопроблесковых;
- затмевающихся;
- пульсирующих.




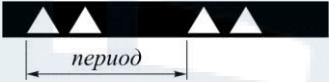



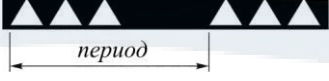
Характеристики перечисленных огней приведены в табл. 20.

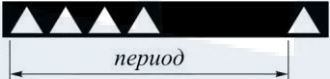
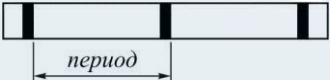


Сочетание перечисленных выше цветов и характеристик огней позволяет присвоить каждому типу навигационных знаков свойственную только ему комбинацию цвета и характера огня, благодаря которой тип знака опознается в ночное время.

Навигационные огни всех знаков, кроме светофоров, должны действовать в период от захода до восхода Солнца, а светофоров – круглосуточно.

На водных путях с небольшой интенсивностью судоходства (в ночное время регулярно проходит 1-2 судна) обычно применяют светоотражающие знаки, которые оборудуются специальными световозвращающими покрытиями. При освещении таких знаков лучом судового прожектора они отчетливо видны и обеспечивают достаточную надежность их опознания.

Характеристика огней средств навигационного оборудования

Характер огня	Графическое изображение	Пояснение
Постоянный	 или 	Непрерывный ровный свет
Проблесковый		Периодически повторяющиеся одинарные проблески. Частота проблесков менее 50 в минуту. Продолжительность света менее продолжительности темноты
Групповой проблесковый		Периодически повторяющаяся группа проблесков (в скобках указано количество проблесков в группе)
Сложный групповой проблесковый		Периодически повторяющаяся сложная группа проблесков (в скобках указаны количество и последовательность проблесков в группе)
Длительно-проблесковый		Периодически повторяющиеся одинарные длительные проблески. Продолжительность проблеска 2 с и более. Продолжительность света меньше продолжительности темноты
Частый (частопроблесковый)		Непрерывно повторяющиеся частые одинарные проблески. Частота проблесков 50 или 60 в минуту
Групповой частый		Периодически повторяющаяся группа частых проблесков (в скобках указано количество проблесков в группе)

Характер огня	Графическое изображение	Пояснение
Прерывистый частый		Частые проблески, прерываемые темнотой. Продолжительность серии проблесков больше, меньше или равна продолжительности темноты
Затмевающийся		Периодически повторяющиеся одинарные затмения ровного света. Продолжительность света больше продолжительности темноты
Пульсирующий		Непрерывно повторяющиеся световые импульсы
Прерывистый пульсирующий		Периодически повторяющиеся группы световых импульсов

На водных путях, где движение судов происходит только в светлое время суток, применяют несветящиеся навигационные знаки.

Видимость навигационных знаков зависит от их контраста с окружающим фоном. Навигационные знаки можно увидеть лишь в том случае, если они по яркости и цвету отличаются от окружающего фона. Выбирая соответствующую окраску можно значительно повысить контраст знаков с окружающим фоном, благодаря чему увеличивается дальность видимости знаков.

Навигационные знаки на ВВП окрашиваются в белый, красный, зеленый, желтый и черный цвета или их сочетания. Для повышения контраста знаки, расположенные на темном фоне, окрашиваются в белый цвет, а на светлом – в красный или черный. Черные знаки обладают наибольшей видимостью на фоне неба. Вместо белого допускается использовать желтый цвет.

Одни и те же навигационные знаки могут периодически рассматриваться на переменном фоне, то есть на фоне, яркость которого непостоянна. Например, лиственный лес осенью и сухой песок относятся к светлым фонам, а этот же лес летом и мокрый песок – к темным.

Для обеспечения неизменной видимости знаков в этих случаях применяется окантовка щитов знаков в виде цветных полос, контрастирующих с основной окраской.

Для улучшения видимости знаков их щиты устанавливаются не вертикально, а наклонно. В этом случае возрастает освещенность знаков и их контраст с окружающим фоном. Видимость знаков в значительной мере зависит от положения Солнца по отношению к ним. При расположении Солнца спереди знаков, видимость их максимальная, а при расположении позади знаков – цвет любой окраски различается только в непосредственной близости от них, а на больших расстояниях все знаки кажутся темными.

3.2. Средства навигационного оборудования каналов

Морские подходы к портам и судоходные каналы также оборудуются *средствами навигационного оборудования (СНО)* или *судоходной обстановкой* для обозначения надводных или подводных опасностей, обеспечения плавания по фарватерам и определения места судна в прибрежных районах. Судоходная обстановка необходима для обеспечения возможности определения местонахождения судна и его безопасности при движении в прибрежной зоне морей, по каналам, на подходе к порту и входе в порт, а также на акватории порта.

Судоходная обстановка – это специальным образом установленные знаки, которые служат для установления направления и допускаемых границ судовых ходов, обозначения зон, опасных для плавания: эти знаки способствуют увеличению скорости продвижения судов на участках, затруднительных для плавания. Такими участками являются подходы к морским портам при недостаточных естественных глубинах, проливы, узкие заливы, устья рек, а также все искусственные пути (каналы и акватории), где судовой ход имеет небольшую ширину, извилист и стесняет плавание и маневрирование судов.

Судоходная обстановка или СНО разделяется:

- по виду информации – на зрительную, акустическую, радиотехническую;
- по смыслу информации – на указательную и предостерегательную;
- по расположению – на береговую и плавучую.

Однако в большинстве случаев судоходная обстановка комбинированная, состоящая из плавучих и береговых знаков.

К *береговым* СНО относятся маяки, огни, знаки, радиолокационные станции, а также акустические средства туманной сигнализации. Береговая (стационарная) судоходная обстановка служит для определения местоположения судна на акватории с помощью навигационных сооружений и устройств, располагаемых на берегу.

Маяки – специальные сооружения, обычно башенного типа, высотой от 10 до 50 метров, снабженные мощным светооптическим оборудованием, а также звукосигнальными устройствами и т.п. применяется автономное энергоснабжение. Маяки служат для уточнения местоположения судна в прибрежной полосе и зон, опасных для мореплавания. Иногда располагаются в отдалении от береговой линии на островах или искусственных основаниях. Огни маяков зажигают от захода до восхода Солнца, дальность видимости не менее 10 морских миль. Различают *географическую дальность* – наибольшее расстояние, на котором маяк появляется из-за линии видимого горизонта при определенной высоте глаза наблюдателя и *оптическую видимость* (реальная дальность видимости) – наибольшее расстояние, при котором глазу наблюдателя становится видимым наблюдаемый объект.

По оптической видимости маяки разделяются на *разряды*:

- 1 разряд – 25÷30 миль;
- 2 разряд – 20÷24 миль;
- 3 разряд – 15÷19 миль;
- 4 разряд – 8÷14 миль.

Каждому маяку, навигационному знаку и огню присваивается определенный штатный цвет и характеристика огня, которые указываются на картах и в описании «Огни и знаки».

На рис. 77 показан Балтийский маяк в г. Балтийск Калининградской области. Высота маяка составляет 33,2 метра над уровнем моря, огонь виден на расстоянии 16 морских миль, период маяка равен 12 секундам (три секунды темноты, девять секунд света).

Навигационные знаки – сооружения маячного типа, но более легкой конструкции. Дальностей видимости огней до 10 миль. Береговые огни и знаки служат для фиксации конкретных объектов на берегу или их частей (углов причала, пирса, мола и т. п.), конструкции: башни, пирамиды, столбы с различными фигурами треугольной или круглой формы или огнями. На рис. 78 показан навигационный знак на голове мола.



Рис. 77. Балтийский маяк



Рис. 78. Навигационный знак на голове мола

Навигационные створы предназначены для обеспечения судовождения в заданном направлении, проводки судов по прямолинейным участкам каналов, фарватеров, в узкостях среди навигационных опасностей. Морской навигационный створ представляет собой систему нескольких маяков, знаков, огней, расположенных на местности в соответствующем порядке и образующих линию, называемую *осью створа*.

В зависимости от назначения *створы подразделяются* на:

- *ведущие створы* – для проводки судна в стесненных навигационных условиях;
- *секущие створы*, обозначающие места поворотов на новый курс, или фиксирующие расстояние, пройденное по ведущему створу.

Створные знаки сооружают в виде решетчатых башен, на которых монтируют створные щиты различных размеров, формы и окраски, а также светооптическое оборудование. Располагаясь строго в плоскости, проходящей через осевую линию канала, навигационный створ помогает судоводителю удерживать судно в средней части канала. Схема и вид навигационного знака показаны на рис. 79.

В последнее время получили распространение *лазерные створы* – светотехническое устройство, установленное на берегу или на гидротехническом основании, использующее принцип формирования световой створной зоны с помощью одного или нескольких лазерных излучателей – *лазерных створных маяков* (ЛСМ). Принцип действия лазерного створа показан на примере лазерных створных маяков типа «Анемон». Лучи, генерируемые ЛСМ, движутся синхронно в горизонтальной плоскости из крайних положений навстречу друг другу, пересекаясь на оси створа, совмещенной с осью фарватера/канала (рис. 80). Обратный ход лучей гасится. Частота сканирования выбирается из условий удобства наблюдений с судна. Вследствие малой угловой ширины лазерного луча (несколько угловых минут) каждый из лучей попадает в поле зрения лишь на короткое время, поэтому они воспринимаются как проблесковые.

При нахождении судна на оси фарватера (канала) судоводитель видит оба лазерных огня в виде синхронных проблесков, причем этот эффект имеет место в пределах осевой зоны створа, размеры которой могут задаваться. При отклонении судна от оси фарватера (канала) и его выходе за пределы осевой зоны створа лучи воспринимаются «как бегущий огонь»: слева направо – если судно уклонилось влево, и справа налево – если оно уклонилось вправо.

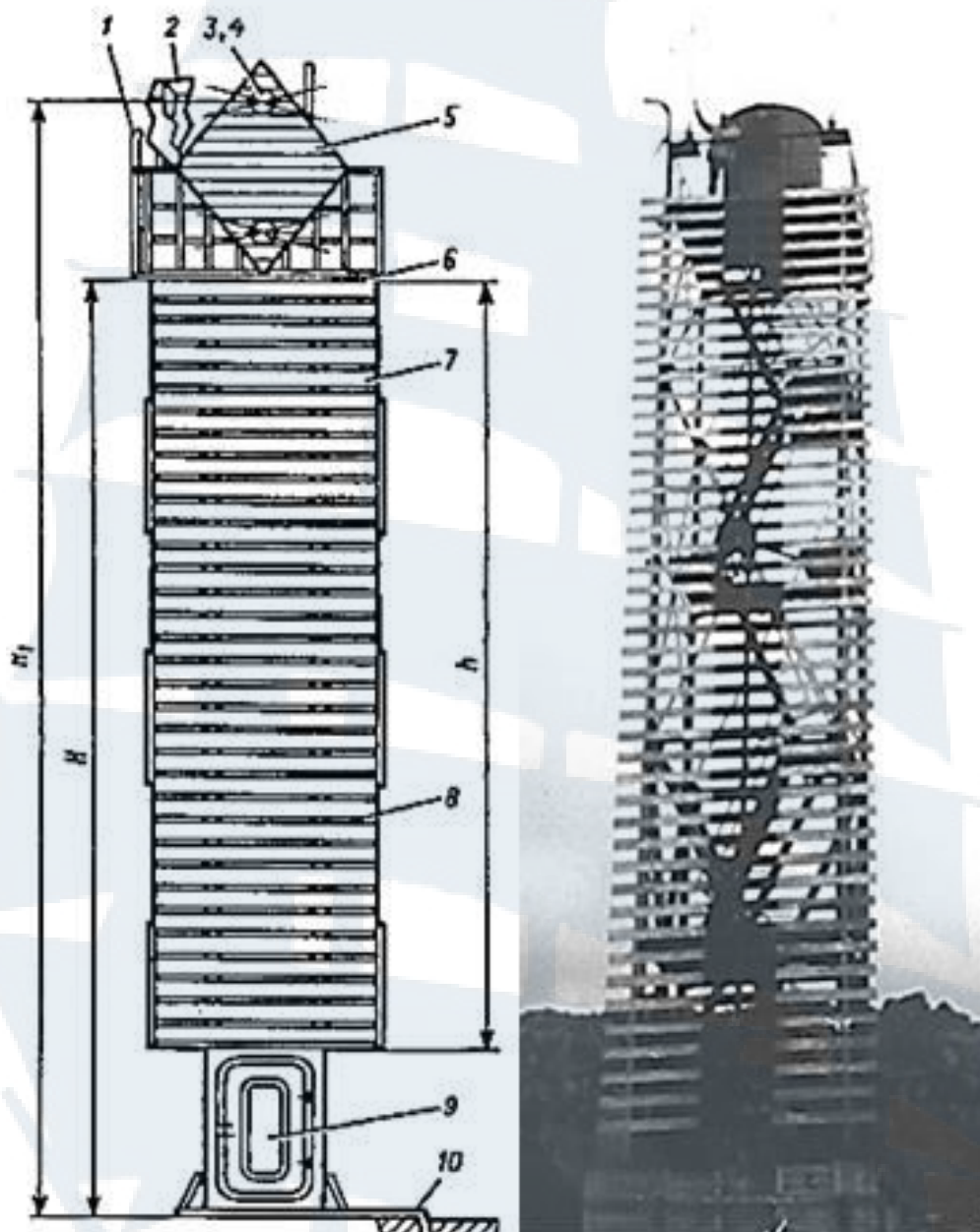


Рис. 79. Створный знак:

1 – грузоподъемное устройство; 2 – пассивный радиолокационный отражатель; 3 – светооптический аппарат; 4 – электрическое оборудование; 5 – фонарный отсек; топовая фигура; 6 – площадка; 7 – щит; 8 – башля; 9 – отсек для оборудования; 10 – заземление

Интервал между проблесками по мере увеличения отклонения судна возрастает. При выходе судна за пределы рабочей зоны створа ЛСМ теряются из поля зрения.

Таким образом, зрительная задача, решаемая судоводителем при движении по лазерному створу, состоит в том, чтобы вести судно в зоне

синхронных проблесков огней. Преимуществами лазерного створа по сравнению со световыми створами являются:

- более высокая чувствительность (меньшее боковое отклонение);
- возможность установки ЛСМ на одном знаке или на двух знаках, расположенных вдоль береговой линии поперечно к фарватеру;
- лучшая видимость в плохих погодных условиях (дымка, дождь) и при наличии фоновой засветки; возможность дистанционного управления работой ЛСМ.

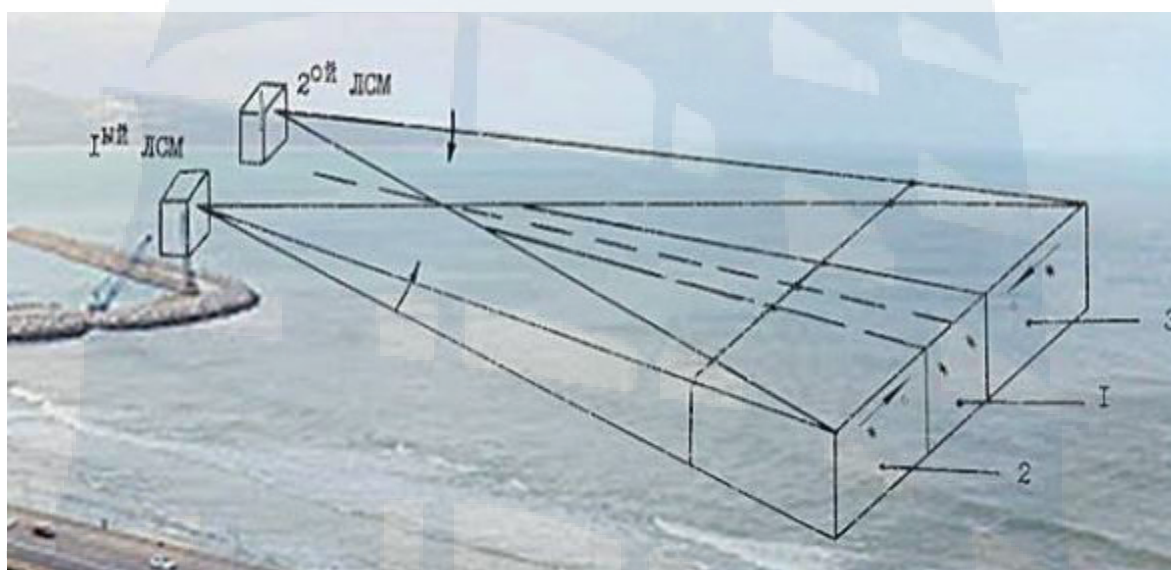


Рис. 80. Схема лазерного створа

На рис. 81 показаны лазерные створы, установленные на Калининградском морском канале (КМК).

Плавающие СНО – знаки, буи и вехи (рис. 82), плавающие маяки (рис. 83), устанавливаются на якорях для ограждения навигационных подводных опасностей, обозначения положения морских каналов и фарватеров, подводных кабелей, трубопроводов, рыболовных снастей, мест якорных стоянок, а также для обозначения отдельных точек на воде, границ полигонов, зон разделения движения судов и других целей. Устанавливаются вблизи от опасности или на самой опасности.

Плавающий маяк – небольшое самоходное или несамоходное судно, имеющее особую окраску и снабженное светотехническим, звуко-сигнальным, радиотехническим навигационным оборудованием. Плавающий маяк устанавливается на точно определенные координаты, на якорях.

Плавающие предостерегающие знаки предупреждают судоводителей о наличии опасности, запрещают движение в их сторону и указывают безопасный путь. Могут оснащаться светооптическими аппаратами

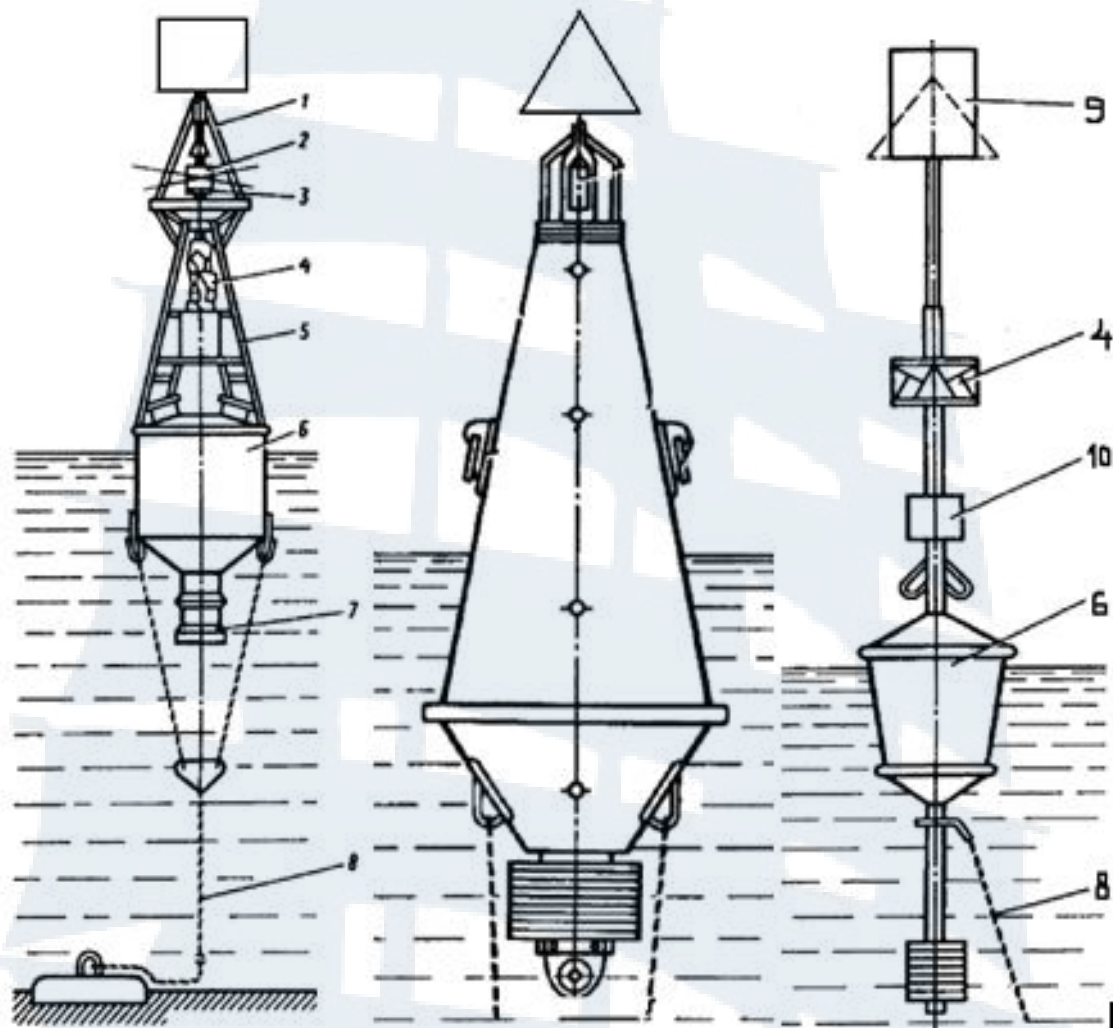
ми, маркерными радиомаяками, радиолокационными маяками-ответчиками, пассивными радиолокационными отражателями.

Буи: морские, каналные (большой – на начальных и поворотных участках канала; средний – бровках и мелководных каналов; малый – на речных участках морских каналов). Также бывают буи зимние с усиленной конструкцией для контактов со льдом (высота буев ~ 5-14 м).



*Рис. 81. Лазерные створы на КМК:
а) Севастопольский – северный знак;
б) створ Ижевского поворота – южный знак*

Морской буй (рис. 83) состоит из цилиндрического корпуса с металлической решетчатой надстройкой и хвостовика с чугунным балластом. На вершине надстройки устанавливается светооптический аппарат. Балласт обеспечивает бую необходимую остойчивость. Внутри корпуса размещаются герметически закрывающиеся пеналы, в которые помещают электрические батареи или ацетиленовые баллоны, питающие светооптический аппарат. Для получения нужной характеристики огня в оборудование бую вводится электрический проблесковый автомат или ацетиленовый проблескатор.



а) морской буй

б) ледовый буй

в) морская вежа

Рис. 82. Плавающие СНО:

1 – держатель топовых фигур; 2 – светооптический аппарат; 3 – электрическое оборудование; 4 – пассивный радиолокационный отражатель; 5 – надстройка; 6 – корпус; 7 – хвостовик; 8 – якорное устройство; 9 – топовая фигура; 10 – номерной щит

На озерных и морских буях устанавливают радиолокационные пассивные отражатели, благодаря которым значительно увеличивается дальность их обнаружения. Для подачи звуковых сигналов при плохой видимости морские буи снабжают звукосигнальными устройствами: колоколами и воздушными волновыми ревунами. Действие колокола основано на использовании сил инерции, возникающих при качке буя, ревуны приводятся в действие при вертикальных колебаниях буя, вызываемых волнением.

Буи морские светящие (БМС) предназначены для ограждения навигационных опасностей, расположенных в морских глубоководных и речных районах, бровок подходных каналов, фарватеров и акваторий портов (рис. 84). Основные характеристики: глубина постановки 5÷40 м, оптическая дальность видимости 9,5÷12,0 км.



Рис. 83. Плавающий маяк «Ирбенский» (в настоящее время – экспонат в музее Мирового океана, Калининград)

Буи морские ледовые светящие (БМЛС) предназначены для ограждения морских каналов, фарватеров, рекомендованных курсов, а также отдельных навигационных опасностей в море в дневное и ночное время. Эксплуатационный период – круглогодичный, в том числе в ледовых условиях. Малый ледовый буй может быть установлен на водохранилищах и судоходных внутренних морских путях.

Буи канальные светящие (БКС) предназначены для ограждения навигационных опасностей, расположенных в морских мелководных и речных районах, бровок подходных каналов, фарватеров и акваторий портов.

Вехи – плавающий корпус с пропущенной сквозь него трубой с топовой фигурой.

Морские и канальные вехи (ИМ или ВК) предназначены для ограждения навигационных опасностей, расположенных в морских и речных районах, бровок подходных каналов, фарватеров и акваторий портов.

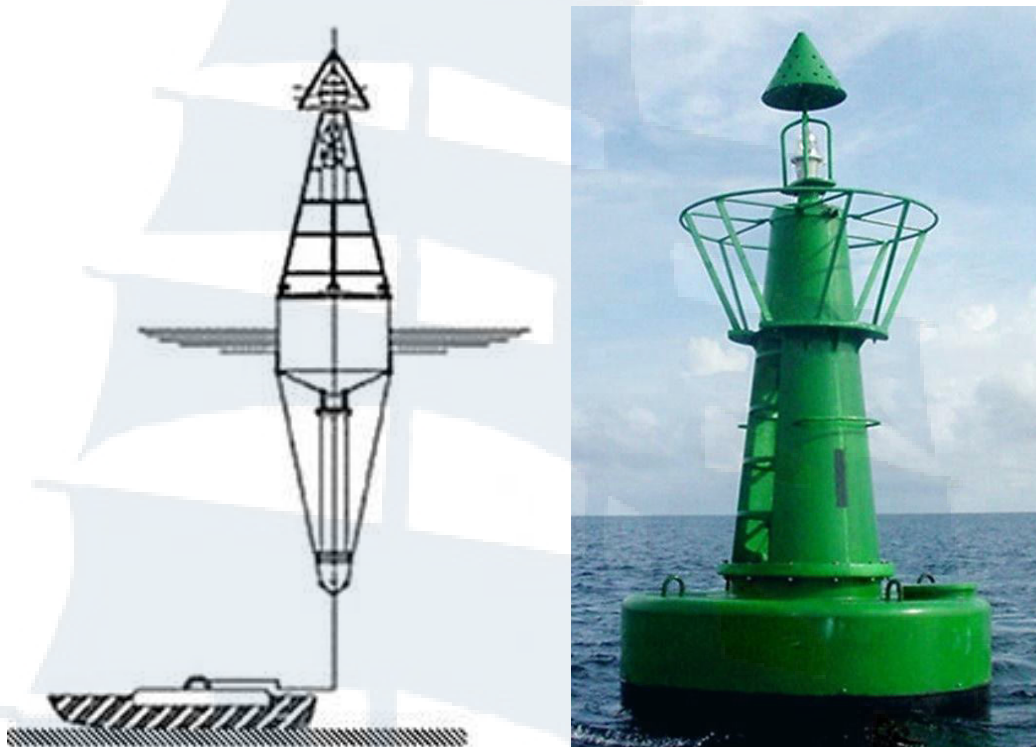


Рис. 84. Схема и вид буя морского светящего

3.3. Транспортно-экономические характеристики каналов

Транспортно-экономические характеристики (ТЭХ) каналов являются показателями безопасности и удобства движения по ним судов и затрат на поддержание навигационных потерь. Движение судов определяет порядок, время и скорость прохождения по каналу, пропускную способность канала, характер судопотока.

Ограниченность ширины канала заставляет по требованиям навигационной безопасности делить фарватеры каналов на две категории.

К *первой категории* относятся фарватеры, у которых маневровая ширина полосы движения $V_{\text{ман}}$ меньше $1,5 \cdot L_c$, а также фарватеры каналов, по которым проходят суда со взрывоопасными грузами. Ко *второй категории* относят все остальные фарватеры.

На фарватерах первой категории может быть приостановлено движение судов из-за внезапного перекрытия фарватера по причине остановки одного из впереди идущих судов. Обгон такого судна из-за стесненности невозможен. А на фарватерах второй категории такой обгон возможен.

Судопоток на канале – параметр, зависящий от внутренних и внешних факторов.

К внутренним факторам относятся размерения судов, их маневровые качества, скорость движения, а также профессиональные и психологические качества судоводителей, действующие правила совместного плавания, техническое обеспечение.

К внешним факторам относятся гидрометеорологические условия, навигационные ситуации, наличие и полнота судоходной обстановки, правила плавания по каналу.

Судопоток обладает следующими взаимосвязанными параметрами:

- интенсивностью ω , с^{-1} ;
- плотностью ρ , м^{-2} ;
- напряженностью μ , $\text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

Интенсивность – это количество судов проходящих через фиксированный створ канала за определенный промежуток времени. Различают общую интенсивность движения и интенсивность определенного судопотока (определенного направления). Схема судопотока показана на рис. 85. При средней скорости движения судов \bar{v} , м/с и среднем интервале движения судов между проходящими судами, выраженном через расстояние между их одноименными точками $l_{\text{инт}}$, интенсивность судопотока по N полосам движения:

$$\omega = \frac{\bar{v} \cdot N}{l_{\text{инт}}} . \quad (24)$$

Плотность потока – отношение количества судов n_c и используемой ими площади акватории или ее части, приходящейся на одно судно S :

$$\rho = n_c / S . \quad (25)$$

Движение потока судов с определенной скоростью v_c и плотностью ρ характеризует его напряженность μ :

$$\mu = \rho \cdot v_c . \quad (26)$$

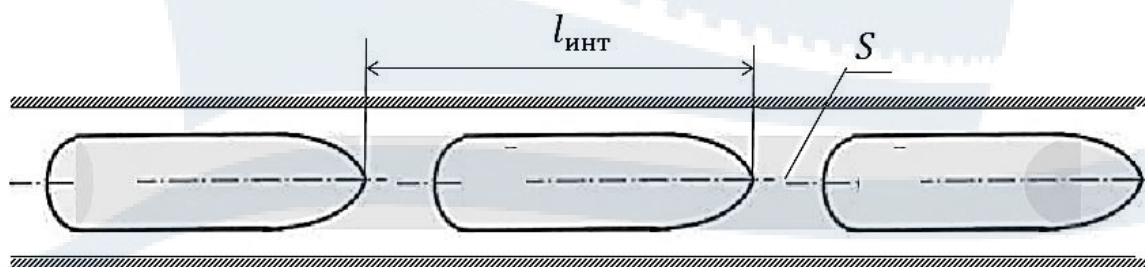


Рис. 85. Схема каравана судов в канале

4. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

Характерной особенностью водных путей является наличие на них *гидроузлов*.

Гидроузел – узел гидротехнических сооружений или группа гидротехнических сооружений, объединённых по расположению и условиям их совместной работы. В зависимости от основного назначения гидроузлы делятся на энергетические, водно-транспортные, водозаборные и др. Гидроузлы чаще всего бывают комплексные, одновременно выполняющие несколько водохозяйственных функций.

В данном учебном пособии рассматриваются водно-транспортные гидроузлы – судопропускные сооружения, позволяющие осуществлять прохождение судов по водному пути.

Судопропускными сооружениями называются гидротехнические сооружения, предназначенные для преодоления судами перепадов уровней воды, то есть перемещения судов из одного бьефа в другой.

Среди таких сооружений различают *судоходные шлюзы* и *судоподъёмники*. Процесс пропуска судов из одного бьефа в другой – *шлюзование*.

4.1. Судоходные шлюзы. Шлюзование

Судоходными шлюзами называются напорные гидротехнические сооружения, при помощи которых суда преодолевают сосредоточенные падения уровней воды на гидроузлах при переходе из одного бьефа в другой.

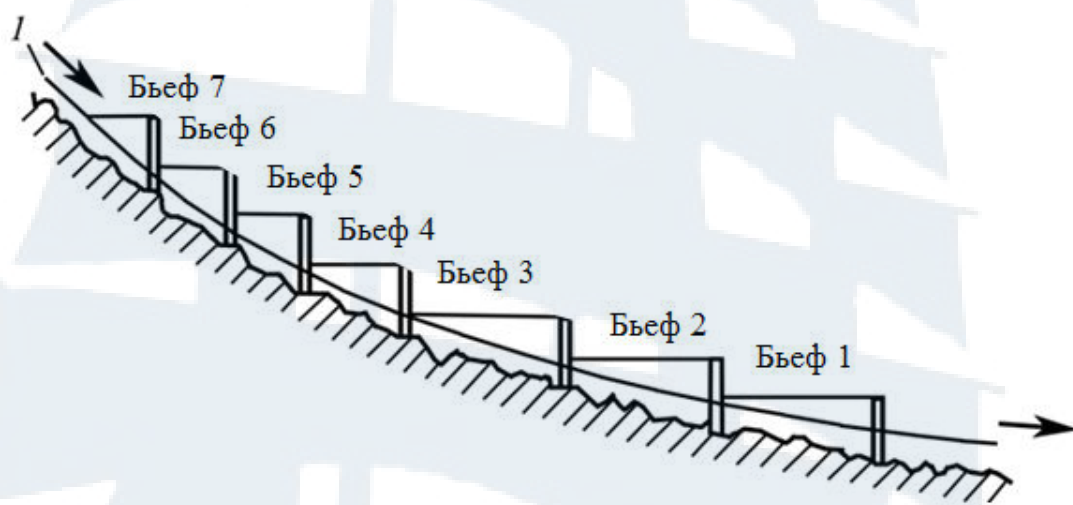
Напор H – разность уровней воды между верхним бьефом (ВБ) и нижним бьефом (НБ). В зависимости от перепада уровней воды по трассе водного пути различают варианты шлюзования:

- *низконапорные* (рис. 86), когда напор $H \leq 10$ м;
- *средненапорные*, с напором $10 \geq H \leq 40$ м;
- *высоконапорные* (рис. 87), с напором $H > 40$ м.

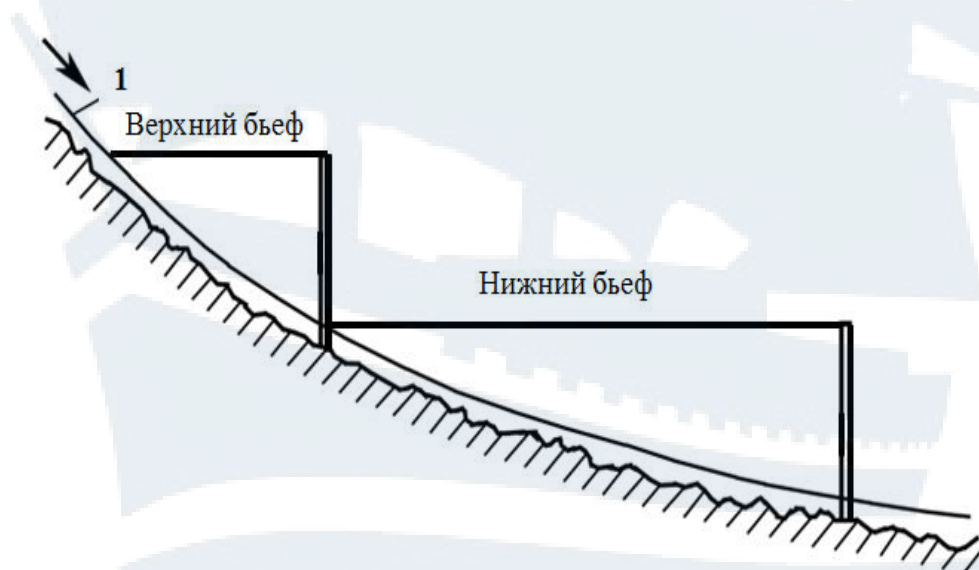
Основные конструктивные части судоходного шлюза показаны на рис. 88.

Шлюзование состоит из отдельных операций и может осуществляться в одностороннем (при наличии судов одного направления) или двухстороннем порядке. Принцип работы шлюза при проходе из верхнего бьефа (с более высоким уровнем воды) в нижний следующий:

- входные ворота открываются, в камере устанавливается уровень воды верхнего бьефа;
- судно заходит внутрь камеры и швартуется к тумбам, расположенным на плавучих рымах;
- входные ворота закрываются;
- открываются затворы водопроводных устройств на нижней голове, вызывая падение уровня воды в камере с находящимся в ней судном до уровня нижнего бьефа;
- впускные ворота открываются, и судно выходит из камеры.



*Рис. 86. Низконапорный вариант илюзования:
1 – кривая низких уровней воды*



*Рис. 87. Высокonaпорный вариант илюзования:
1 – кривая низких уровней воды*

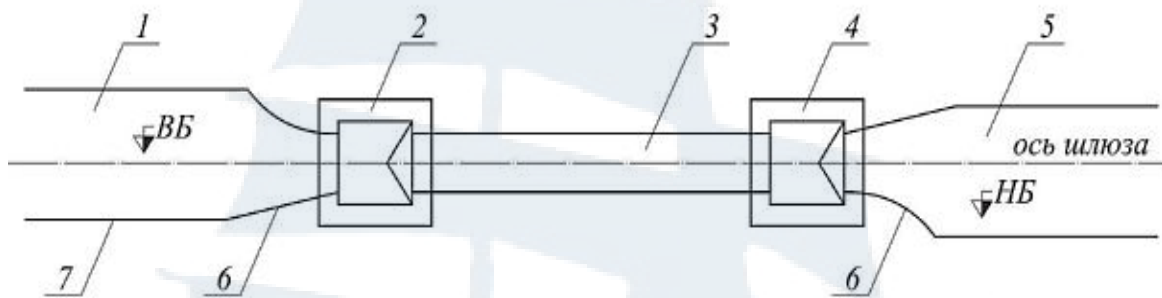


Рис. 88. Схематический план судоходного шлюза:

- 1 – верхний подходный канал; 2 – верхняя голова; 3 – камера шлюза;
 4 – нижняя голова; 5 – нижний подходный канала;
 6 – направляющие пальцы; 7 – причальная стенка

Шлюзование длится, как правило, от 10 до 20 минут в зависимости от размера камеры и перепада уровня воды. В случае, если судно движется вверх по течению, из нижнего бьефа в верхний, процесс меняется на обратный: судно входит в камеру с уровнем воды, соответствующим нижнему бьефу, швартуется, нижние ворота закрываются, затем открываются затворы водопроводных устройств верхней головы, наполняя камеру водой и поднимая судно.

4.1.1. Классификация и типы шлюзов

Судоходные шлюзы различают между собой:

- по материалу;
- напору;
- числу камер и их расположению в плане;
- типу систем питания;
- способу сбережения воды на шлюзование.

В зависимости от материала для изготовления камеры шлюзы бывают:

- деревянными;
- каменными;
- из металлического шпунта;
- бетонными;
- железобетонными.

В зависимости от числа последовательно расположенных камер шлюзы подразделяются на *однокамерные* и *многокамерные*, а по числу параллельно расположенных камер – на *одноточные* и *многоиточные*.

В однокамерном шлюзе (рис. 89, а) суда преодолевают весь напор на гидроузле в одной камере. При относительно небольших напорах (6÷8 м) и существенных колебаниях уровня воды в верхнем бьефе (ВБ) дно на подходах к шлюзу со стороны верхнего и нижнего бьефов (НБ) и дно камеры шлюза могут находиться примерно на одной высоте.

При больших напорах воды строят однокамерные шлюзы со *стенкой падения* (рис. 89, б), которая выравнивает глубины на порогах верхней и нижней голов шлюза, позволяет уменьшить высоту ворот со стороны верхнего бьефа, снизить затраты на строительство шлюза. Наличие уступа в верхней голове используют и в технологических целях – для прохода судов ворота верхней головы опускаются под воду у стенки падения.

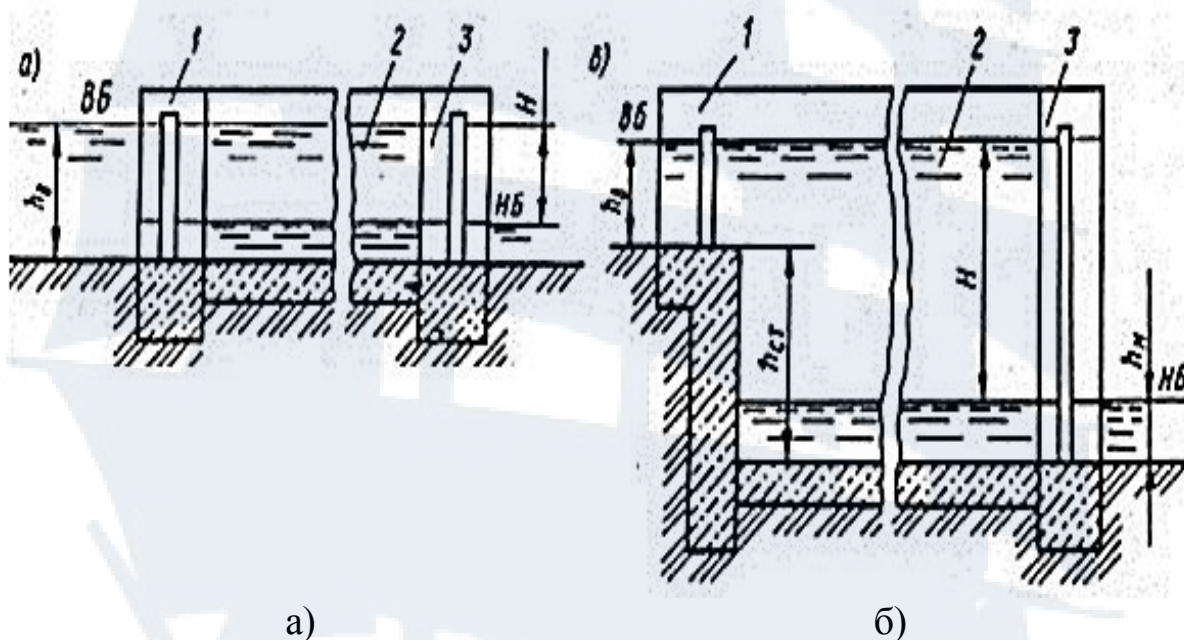


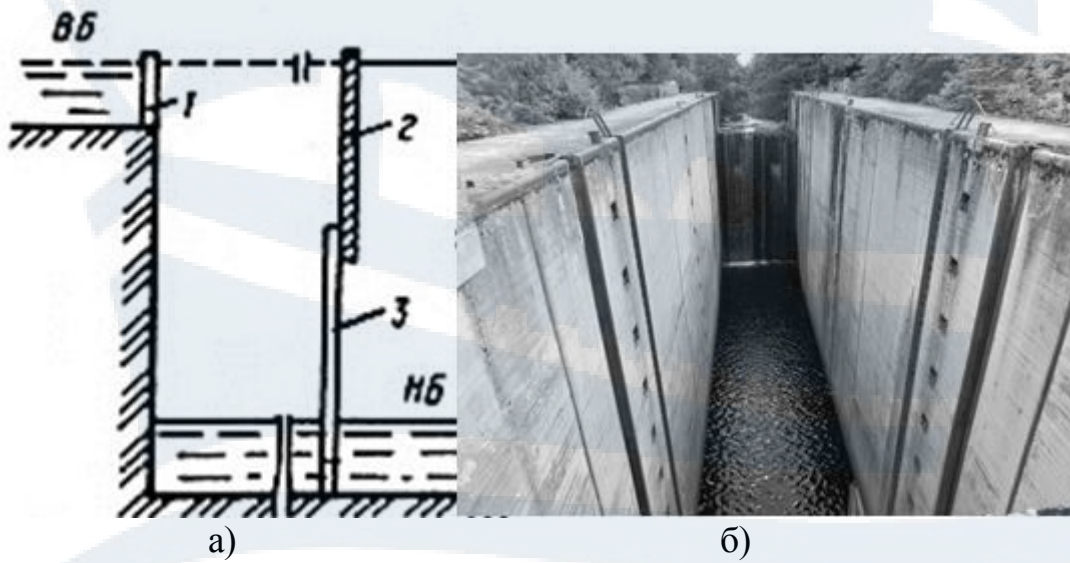
Рис. 89. Схема однокамерного шлюза:
а) без стенки падения; б) со стенкой падения;
1 – верхняя голова; 2 – камера; 3 – нижняя голова

Вид однокамерного шлюза показан на рис. 90.

При больших напорах (30 м и более) и ограниченности пространства строят *шлюзы шахтного типа* (рис. 91), отличающихся от средне- и низконапорных шлюзов бетонным элементом шлюза – *забральной стенкой* со стороны нижнего бьефа, которая воспринимает часть напора на нижнюю голову. Такая конструкция шахтного шлюза позволяет уменьшить высоту ворот нижней головы и существенно облегчить их.



Рис. 90. Запорожский однокамерный судоходный шлюз



а)

б)

Рис. 91. Схема шахтного шлюза (а) и шахтный шлюз Мазурского канала (б)

При больших напорах на однокамерный шлюз существенно увеличиваются скорость течения воды в галереях и вакуум за затворами, возникают кавитационные явления. Это ведет к необходимости усложнения системы питания и соответственно к удорожанию шлюза. Материалоемкость шлюза возрастает в квадратичной зависимости с увеличением напора на шлюз. Появляются существенные трудности при создании и эксплуатации механического оборудования, испытывающего значительные нагрузки.

Применение *многокамерных (многоступенчатых)* шлюзов позволяет уменьшить или исключить большую часть отмеченных выше недостатков. В многокамерном шлюзе преодолеваемый значительный напор разбивается на несколько равных частей и суда преодолевают его последовательно в нескольких камерах одного шлюза (рис. 92, 93). При этом на шлюзование расчетного судна или состава расходуется меньшее количество воды сливной призмы по сравнению с их шлюзованием в однокамерном шлюзе. В отличие от однокамерного шлюза, многокамерный шлюз имеет промежуточные головы, сопрягающие две смежные камеры. На промежуточных головах величина напора удваивается тогда, когда одна камера наполнена, а нижележащая опорожнена. Строительные конструкции камер многокамерных шлюзов просты, а их механическое оборудование испытывает более низкие нагрузки по сравнению с оборудованием однокамерных шлюзов, возведенных в одном и том же створе. Во многих случаях деление общего напора на части в многокамерном шлюзе позволяет наиболее рационально вписывать шлюз в существующий рельеф местности, обеспечивая минимальные объемы основных видов работ. Пропускная способность многокамерных шлюзов несколько ниже, чем однокамерных, так как растет число операций при шлюзовании. Это связано с переходом судов из камеры в камеру. Особенно увеличивается время шлюзования при двустороннем движении судов через шлюз.

Для обеспечения большей пропускной способности, превышающей показатели однокамерного шлюза, строятся *парные (двухниточные) многокамерные шлюзы* (рис. 92-94). При этом каждая нитка шлюза работает в режиме одностороннего. Они могут состоять как из однокамерных, так и из многокамерных шлюзов судопропуска.



Рис. 92. Схема многокамерного шлюза с распределительной системой питания



*Рис. 93. Многокамерный двухниточный шлюз
Панамского канала*

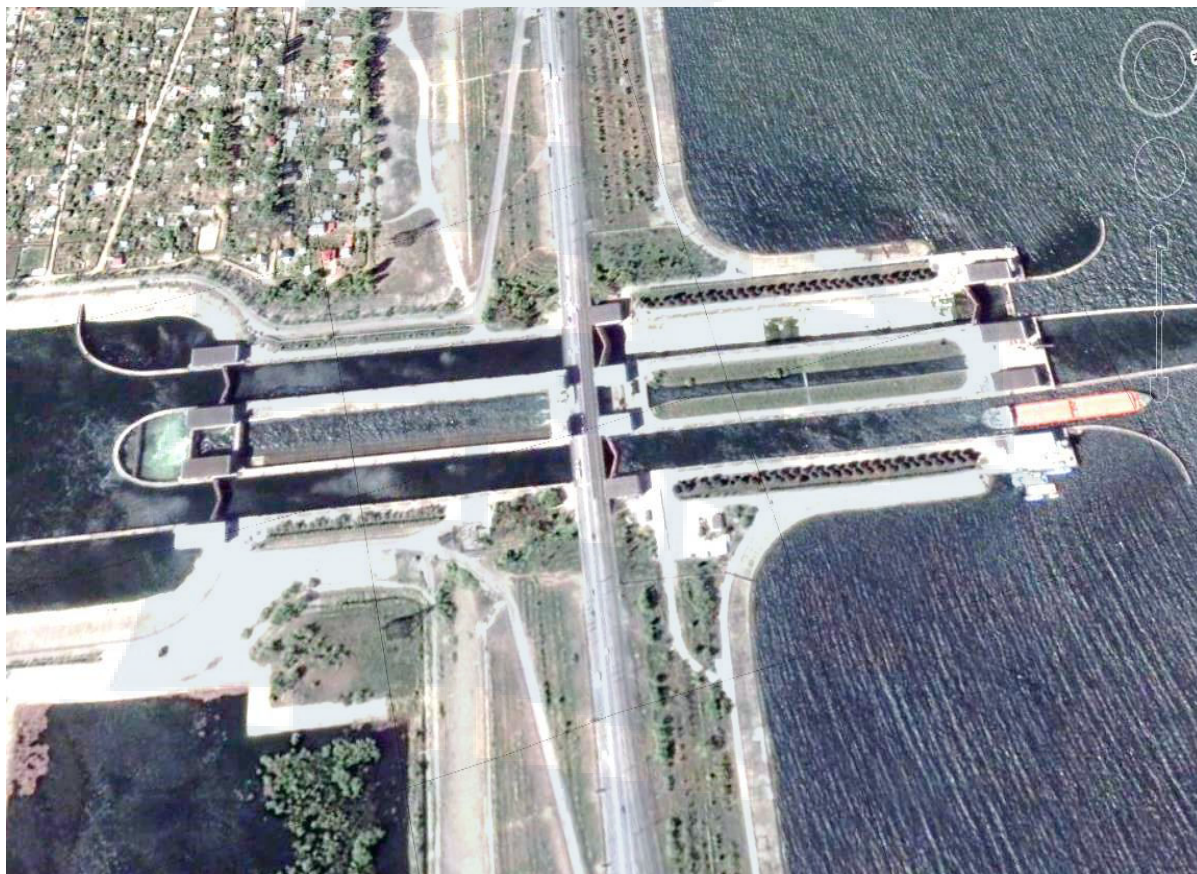


Рис. 94. Двухниточный шлюз Волжской ГЭС

4.1.2. Основные конструктивные элементы шлюза

Основными конструктивными элементами шлюза являются:

– *камера*, имеющая объем (вместимость), достаточный для размещения одного или нескольких судов. Уровень воды в ней изменяется в процессе шлюзования (рис. 95); в поперечном сечении камера современного шлюза имеет очертания дока с вертикальными стенами. На стенах камеры размещаются устройства в виде тумб, а по высоте – плавающие рымы, за которые швартуются суда;

– *верхняя и нижняя головы*, поддерживающие разность уровней воды между бьефами и камерой при ее наполнении и опорожнении. На головах размещается оборудование, предназначенное для осуществления процесса шлюзования; для обеспечения плавного входа судов в отверстия голов шлюза устраиваются направляющие палы, которые имеют в плане вид криволинейных стен; на верхних головах часто устраивают аварийно-ремонтные или аварийные затворы, которые могут пере-

крывать судоходное отверстие в процессе наполнения камеры при возникновении на шлюзе аварийных ситуаций;

– *верхний и нижний подходные каналы*, примыкающие к соответствующим головам шлюза; имеют размеры, обеспечивающие расхождение судов при входе в камеру и выходе из нее, а также безопасные условия стоянки судов, ожидающих шлюзования у причальных стенок;

– *ворота камеры* – металлические щиты, расположенные на обоих концах камеры и служащие для впускания и выпуска судна из камеры и герметизирующие камеру во время шлюзования; для изоляции шлюза и отдельных его частей от бьефов.



Рис. 95. Камера шлюза № 7 канала им. Москвы

Шлюз оборудован механизмами для открытия ворот и затворов, причальными устройствами для швартовки судов, предохранительными

устройствами для защиты ворот от навала судов и другими приспособлениями.

В зависимости от назначения и условий работы *ворота шлюзов*, располагаемые на верхних, нижних и промежуточных головах, подразделяются:

- на основные или рабочие;
- ремонтные;
- аварийные.

Основные ворота перекрывают судоходные отверстия в головах шлюза. Они предназначены для выполнения операций по пропуску судов через шлюз и могут использоваться для наполнения и опорожнения камер.

Ремонтные ворота устанавливаются перед основными воротами и служат для изоляции шлюза от воды верхнего и нижнего бьефов. Они позволяют выполнять осмотр подводных частей сооружения и необходимый ремонт.

Аварийно-ремонтные ворота располагаются на верхних головах шлюзов перед основными воротами со стороны водохранилищ с большими объемами воды и служат не только для выполнения ремонтных работ в камере шлюза, но и для быстрого перекрытия судоходного отверстия в случае повреждения основных ворот.

Существуют различные типы основных ворот, отличающиеся между собой конструктивными признаками и эксплуатационными показателями. Наиболее широкое применение на шлюзах получили *плоские подъемно-опускные ворота* и *двустворчатые*; также имеются конструкции – *сегментные* и *откатные ворота*.

Плоские подъемно-опускные ворота (рис. 96) широко применяют на верхних головах шлюза со стенкой падения при глубине на пороге до $6 \div 8$ м. Они используются для наполнения камеры, просты по конструкции, компактны по расположению, удобны для осмотра и ремонта, но требуют больших усилий для подъема и подвержены вибрации. Для исключения или уменьшения их возможной вибрации в процессе наполнения камер часто вместо опор качения используют опоры скольжения.

Двустворчатые ворота (рис. 97) в качестве основных используются на нижних, промежуточных и верхних головах шлюзов. Они могут перекрывать отверстия значительной ширины и нуждаются в нише больших размеров. К основным недостаткам можно отнести также сложность монтажа и затруднительность ремонта подводной части ворот.

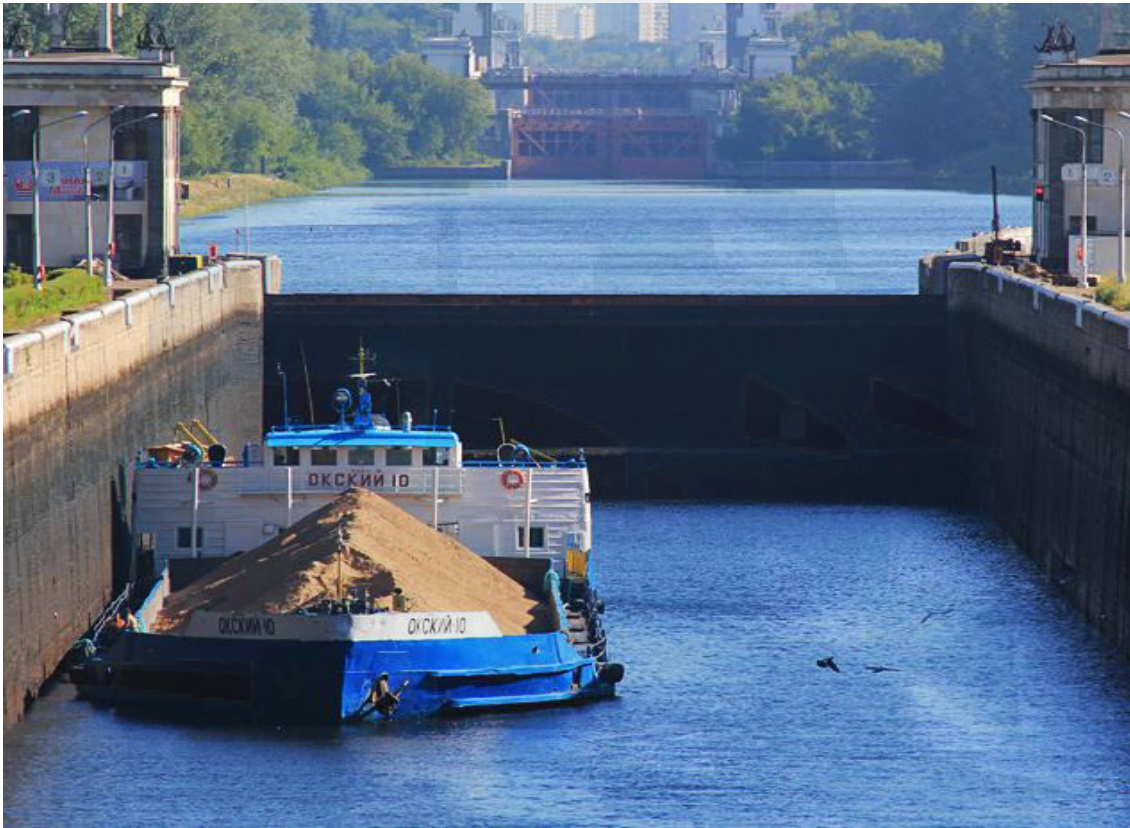


Рис. 96. Плоские подъемно-опускные ворота шлюза № 8 канала им. Москвы

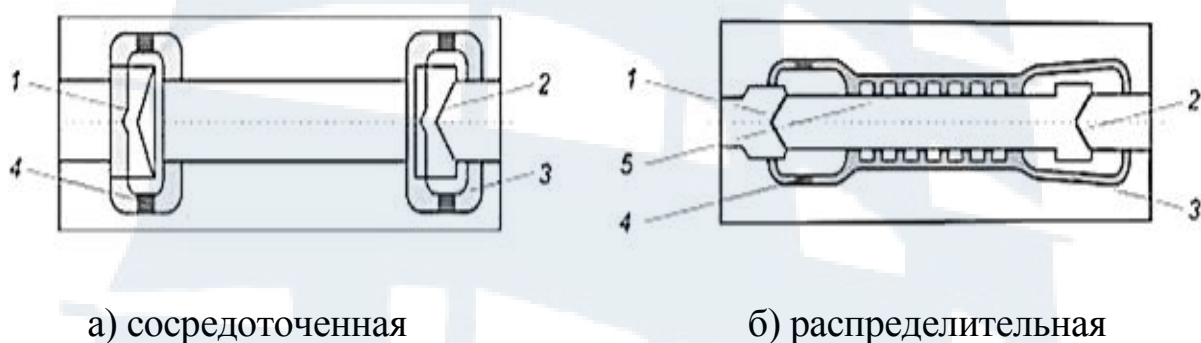


Рис. 97. Двухстворчатые ворота Запорожского шлюза

4.1.3. Системы питания шлюзов

Совокупность водопроводных устройств, обеспечивающих наполнение и опорожнение камеры шлюза, называют *системой питания шлюза*. Системы питания судоходных шлюзов подразделяются:

– по способу подачи воды в камеру и выпуска из нее (рис. 98) на *сосредоточенные* или *головные*, *распределительные* и *комбинированные*;



а) сосредоточенная

б) распределительная

Рис. 98. Схемы питания шлюза:

1 – верхние ворота; 2 – нижние ворота; 3 – водопроводная галерея;
4 – затвор; 5 – выпуски

– 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).

При *головной* системе питания подача воды в камеру и сброс из неё осуществляется соответственно в верхней и нижней головах шлюза. При больших напорах такая система не обеспечивает должного гашения скорости потока, поэтому безопасное шлюзование судов требует увеличения времени наполнения камеры, что снижает пропускную способность шлюза.

Вместе с тем, водопроводные устройства шлюзов с сосредоточенным питанием имеют небольшие размеры, строительство их требует меньших затрат. Эти 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.

На рис. 99 показана схема шлюза с головной системой питания (с промежуточной головой).

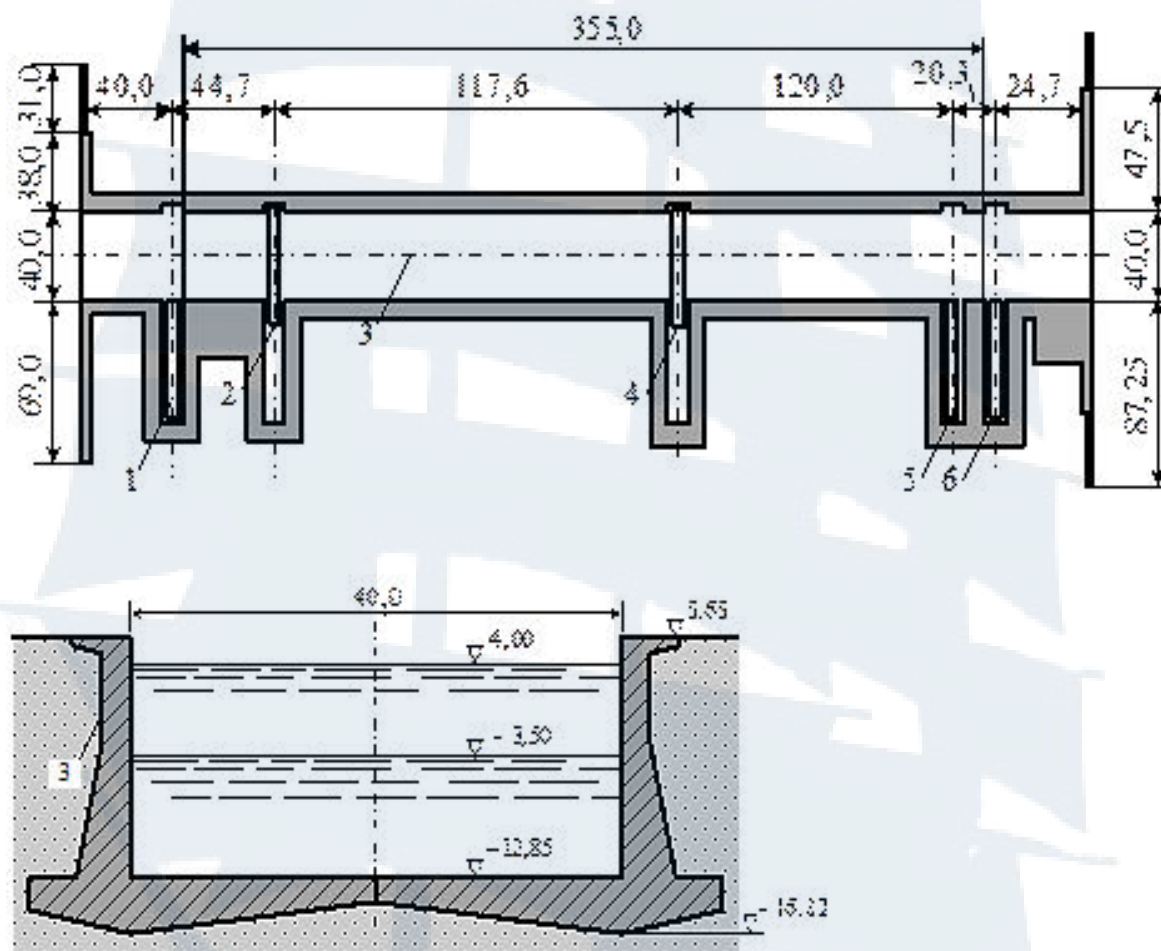


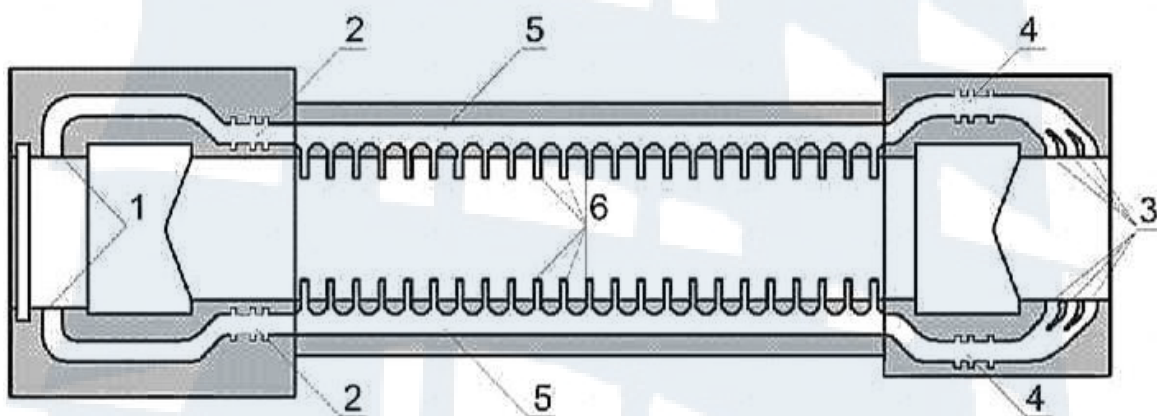
Рис. 99. Шлюз с головной системой питания промежуточной головой в Тернезене (Голландия):

- 1 – аварийный затвор верхней головы; 2 – основные рабочие ворота верхней головы; 3 – шлюзовая камера; 4 – промежуточные ворота; 5 – основные рабочие ворота нижней головы; 6 – низовой аварийный затвор

При больших напорах рациональной оказывается *распределительная* система питания шлюза, обеспечивающая возможность ускоренного наполнения и опорожнения камеры шлюза. 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 *эквишнрционными* (рис. 100). Распределительная система питания усложняет конструкцию шлюза и существенно повышает его строительную стоимость. В то же время равномерная подача воды в камеру обеспечивает гидравлический режим, при котором волновые колебания масс воды и продольные течения незначительны.



*Рис. 100. 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*

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).

Системы питания судоходных шлюзов должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать время наполнения и опорожнения камер в соответствии с заданной пропускной способностью шлюза;
- обеспечивать в течение заданного времени удовлетворительные (безопасные) условия стоянки шлюзуемых в камере судов и судов, ожидающих шлюзования у причальных стенок подходных каналов;
- не допускать при установленных режимах наполнения и опорожнения камер разрушений отдельных элементов и материала шлюза, размывов dna подходных каналов, кавитацию, вибрацию затворов водопропускных отверстий и другие негативные последствия, нарушающие нормальную эксплуатацию шлюзов.

4.1.4. Основные принципы проектирования шлюзов

Данные по типам расчетных судов, грузо- и грузообороту (навигационному и среднесуточному в наиболее напряженный период навигации) в створе гидроузла, определяемые на расчетный перспективный срок. За расчетный перспективный срок принимается: для шлюзов на сверхмагистральных и магистральных водных путях – 10 лет после начала постоянной эксплуатации; для шлюзов на водных путях местного значения – 5 лет. Расчетное судно выбирается по водоизмещению, длине, ширине, осадке, надводному возвышению привального бруса, надводному габариту.

Общее число шлюзований в сутки определяют как сумму шлюзований транспортного флота с увеличением на две пары шлюзований для сверхмагистральных и магистральных водных путей и одну пару – для водных путей местного значения при учете пропуска технического флота.

Время цикла одностороннего шлюзования определяется продолжительностью следующих операций: ввод судов в шлюз, швартовка судов, закрытие ворот, наполнение или опорожнение камеры, открытие ворот, вывод судов из шлюза, закрытие ворот, опорожнение или наполнение камеры, открытие ворот.

Время цикла двустороннего шлюзования определяется продолжительностью следующих операций: ввод судов в шлюз, швартовка судов, закрытие ворот, наполнение или опорожнение камеры, открытие ворот, вывод судов из шлюза.

Для многокамерного шлюза во всех случаях добавляется операция по переводу судов из одной камеры шлюза в другую.

Время наполнения и опорожнения камеры шлюза t мин, предварительно определяют по формуле:

$$t = \alpha \cdot \sqrt[3]{H \cdot b_{\text{кам}} \cdot l_{\text{кам}}}, \text{ мин}, \quad (27)$$

где α – коэффициент, принимаемый для шлюзов с головной системой питания, равным 0,27, с распределительной системой питания – 0,19; H – расчетный напор на камеру, м; $b_{\text{кам}}$ – полезная ширина камеры, м; $l_{\text{кам}}$ – полезная длина камеры, м.

При предварительных расчетах *время открытия и закрытия ворот* принимают:

- для плоских ворот – 2÷3 мин в зависимости от высоты перекрываемого отверстия ≤ 5 м ÷ > 10 м;
- для двустворчатых ворот – 2÷3 мин при ширине камеры ≤ 18 м ÷ > 30 м.

Средняя скорость движения самоходных судов на ВВП в шлюзе и на подходах к нему: вход – 1,0 м/с; выход – 1,4 м/с; переход из одной камеры в другую – 0,75 м/с.

Грузо- и судопропускная способность шлюзов определяется числом шлюзований расчетных судов исходя из полной загрузки шлюза в наиболее напряженные сутки (при работе шлюза, в среднем в течение 23 ч) при принятых типах расчетных судов и структуре перевозок на установленные расчетные сроки. При определении пропускной способности односторонних шлюзов число шлюзований для всех типов судов следует принимать 25 % при одностороннем шлюзовании и 75 % при двустороннем шлюзовании.

Основные габариты шлюзов (полезная длина и ширина камеры, а также глубина на порогах) расположенных на одном водном пути, должны приниматься одинаковыми и должны отвечать характеристикам расчетных судов (рис. 101).

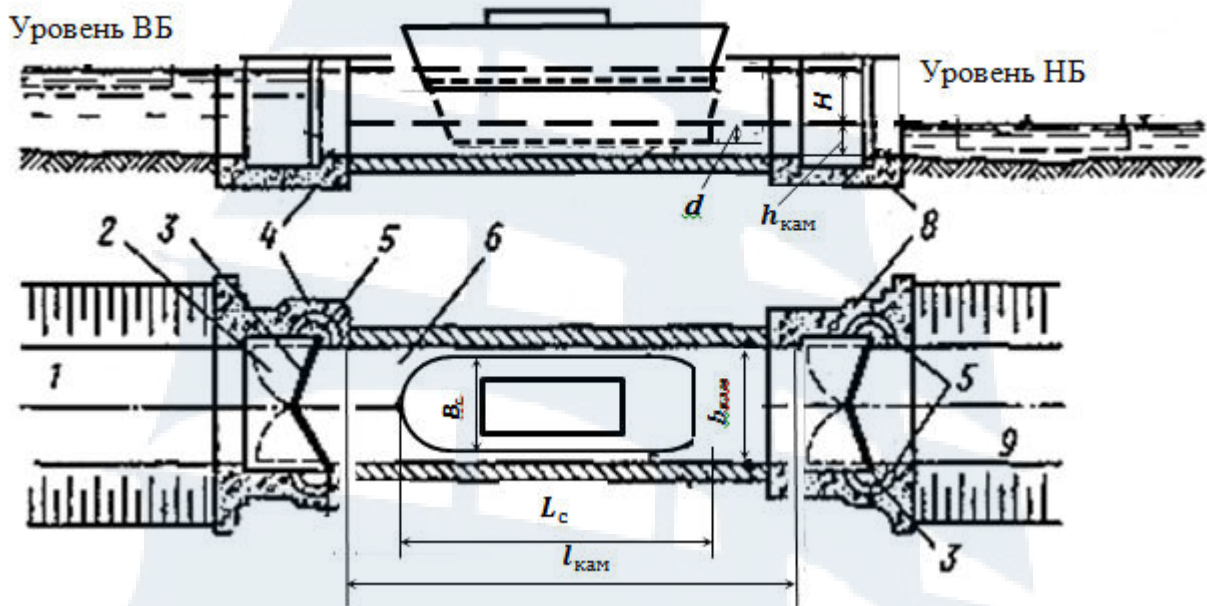


Рис. 101. Основные габариты шлюзов

Полезная длина камер определяется по формуле:

$$l_{\text{кам}} = \sum_1^n L_c + \sum_1^{n+1} \Delta L_c, \quad (28)$$

где $\sum_1^n L_c$ и $\sum_1^{n+1} \Delta L_c$ – сумма длин n расчетных судов, шлюзуемых одновременно и устанавливаемых в камере шлюза в кильватер и запас по длине камеры в каждую сторону между судами:

$$\Delta L_c = 2 + 0,03L_c. \quad (29)$$

Полезная ширина камер определяется по формуле:

$$b_{\text{кам}} = \sum_1^n B_c + \sum_1^{n_1+1} \Delta B_c, \quad (30)$$

где $\sum_1^n B_c$ и $\sum_1^{n_1+1} \Delta B_c$ – сумма ширин n_1 судов, стоящих рядом одновременно и запас по ширине камеры в каждую сторону и между рядом стоящими судами.

Запасы по ширине с каждой стороны камеры и между судами должны быть не менее: при ширине судна до 10 м – 0,2 м; до 18 м – 0,4 м; до 30 м – 0,75 м; свыше 30 м – 1 м. В шлюзах, предназначенных для пропуска морских судов, эти запасы должны быть не менее 1,5 м, при движении судна своим ходом; при заводке буксировщиком – запас с одной стороны увеличивается на ширину буксировщика.

Глубина на порогах камеры шлюза, отсчитываемая от расчетного наинизшего судоходного уровня, принимается:

$$h_{\text{кам}} \geq 1,3 \cdot d, \quad (31)$$

где d – осадка расчетного судна в полном грузу.

Границей полезной длины камеры шлюза с верховой ее стороны считают: при *распределительной* системе питания – низовую грань стенки падения или шкафной части головы, или низовую грань других частей конструкции верхней головы наиболее выступающих в сторону камеры; при *головной* системе питания – конец успокоительного участка.

4.2. Судоподъемники

Судоподъемники обеспечивают подъем судов с помощью механических, гидравлических или электрических подъемников.

Судоподъемник – комплекс механизмов, предназначенный для преодоления судами сосредоточенных падений уровней воды и позволяющий осуществлять подъем и спуск судов с одного уровня водного пути на другой. Судоподъемники при пропуске судов не требуют затрат воды и имеют несколько большую пропускную способность по сравнению со шлюзами. Их целесообразно возводить при напорах на гидроузлах свыше 40 м. При наличии скальных оснований стоимость судоподъемников существенно уменьшается.

На практике осуществлены следующие основные схемы судоподъемников: вертикальные, наклонные и вращающийся (пока единственный в мире).

Судоподъемник – сооружение, предназначенное для перемещения судов с одного уровня на другой. В транспортных судоподъемниках судно, как правило, перемещается на плаву, в наполненной водой подвижной камере, оборудованной (в торцах) затворами для ввода и вывода судов. Камера движется по рельсовым путям, обычно с помощью механической или электрической тяги.

4.2.1. Классификация и конструкции судоподъемников

В зависимости от направления трассы движения камеры судоподъемника с судном все судоподъемники подразделяются на *наклонные* и *вертикальные* (рис. 102, 103). Как наклонный, так и вертикальный судоподъемник включает в себя камеру, которая перемещает находящееся в ней судно от верхнего бьефа к нижнему и обратно.

По способу перемещения:

- на плаву – в камере, наполненной водой;
- без воды, по принципу сухого дока.

По направлению перемещения:

- наклонные,
- продольные,
- поперечные;
- вертикальные;
- вращающиеся.

По типу привода и балансировке:

- водяной балласт;
- гидравлический привод;
- электрический привод;
- поплавковый привод.

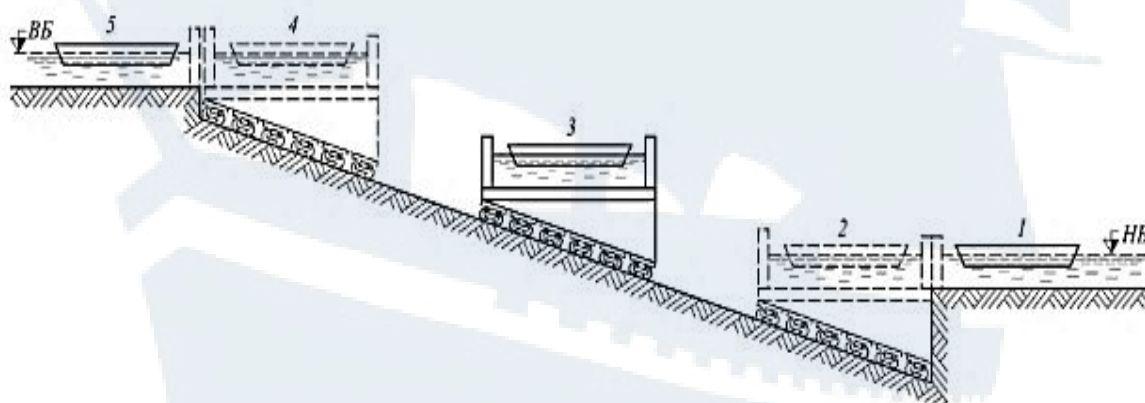


Рис. 102. Схема продольного наклонного судоподъемника:

1 – судно в нижнем бьефе; 2 – судно в камере у нижнего бьефа;

3 – судно в камере, перемещающееся к верхнему бьефу;

4 – судно в камере верхнего бьефа; 5 – судно в верхнем бьефе

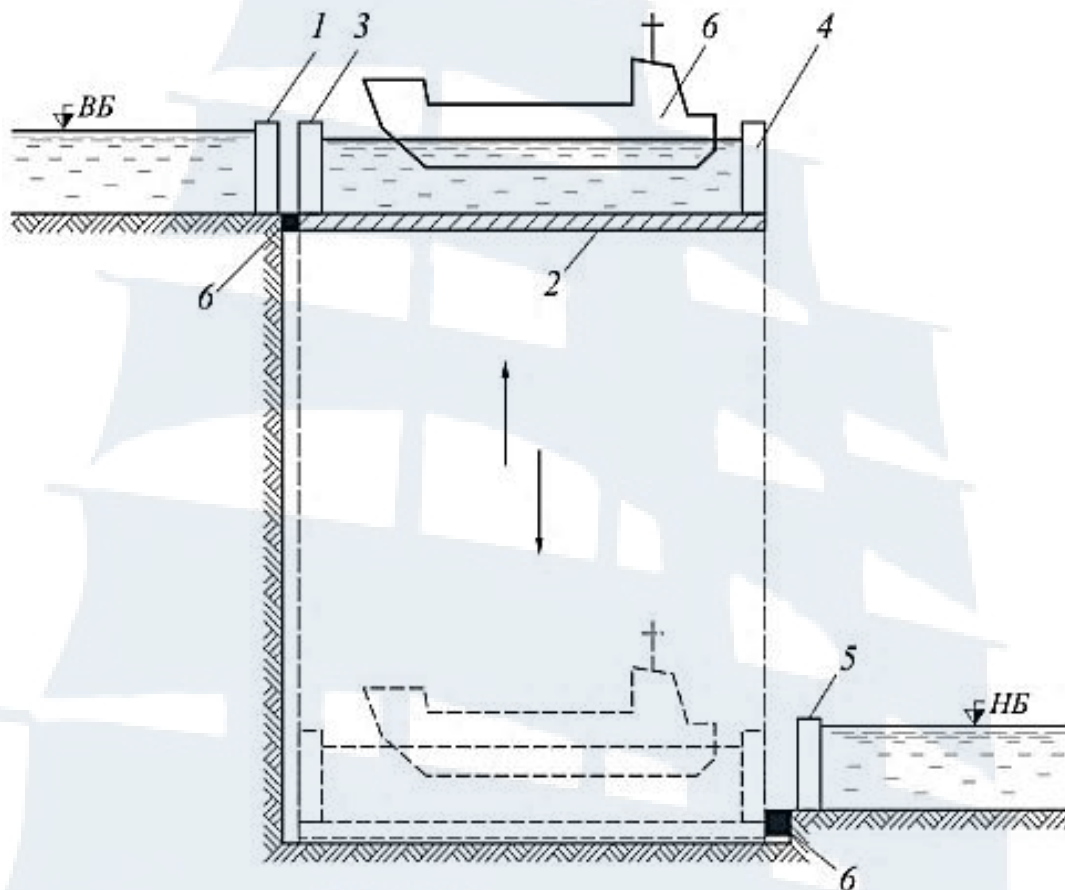


Рис. 103. Схема вертикального судоподъемника:

1 – ворота полушлюза верхнего бьефа; 2 – камера судоподъемника;
 3-4 – ворота в торце камеры; 5 – ворота полушлюза нижнего бьефа;
 6 – контурное уплотнение

Наклонные судоподъемники

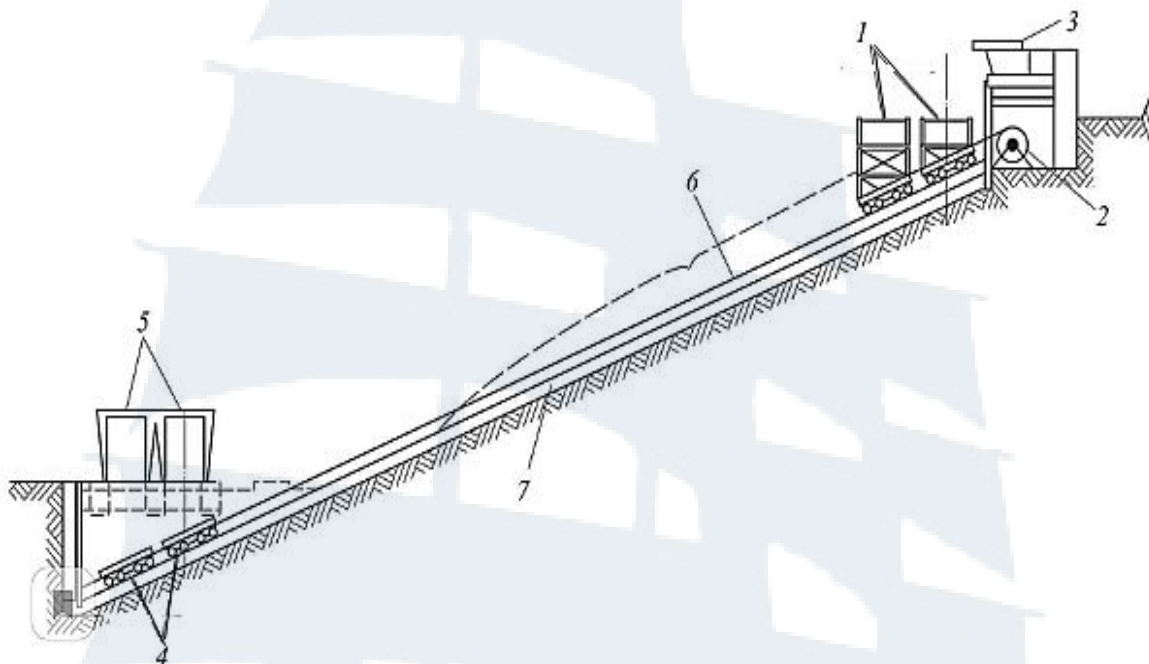
В зависимости от положения судна к направлению его перемещения бывают:

- накладные судоподъемники *продольные*, при этом судно располагается вдоль направления движения (рис. 104);
- *поперечные* (рис. 105), когда судно располагается перпендикулярно направлению движения.

По форме продольного профиля:

- *односкатные*;
- *двускатные* – с поворотным устройством для перевода судна через водораздел или гребень плотины.

Суда могут перемещаться в тележках *насухо* или *на плаву* в камерах. Тележки могут быть *самоходными* или *прицепными*.



*Рис. 104. Схема поперечного наклонного судоподъемника:
 1 – камеры; 2 – канатные машины; 3 – пульт; 4 – противовесы;
 5 – порталные подъемники полушлюзов; 6 – пути камеры;
 7 – пути противовесов*



*Рис. 105. Поперечный наклонный судоподъемник
 в Арзвиллер (Франция)*

Для передачи судна из камеры в бьефы служат *полушлюзы*, представляющие собой головные сооружения подходных каналов, оборудованные воротами. Для обеспечения перемещения камеры между полушлюзами и передачи судна в бьефы судоподъемник оборудуется следующими основными системами:

- уравнивания камеры;
- привода перемещения камеры;
- эксплуатационного и аварийного торможения;
- уплотнений между торцом камеры и полушлюзами;
- захватов, удерживающих камеру у полушлюза в момент открытия ворот и перехода судов.

Наклонные судоподъемники помимо указанных систем оборудуются системой опирания камеры на судовозные пути, т.е. колесами и системой выравнивания нагрузок на колеса.

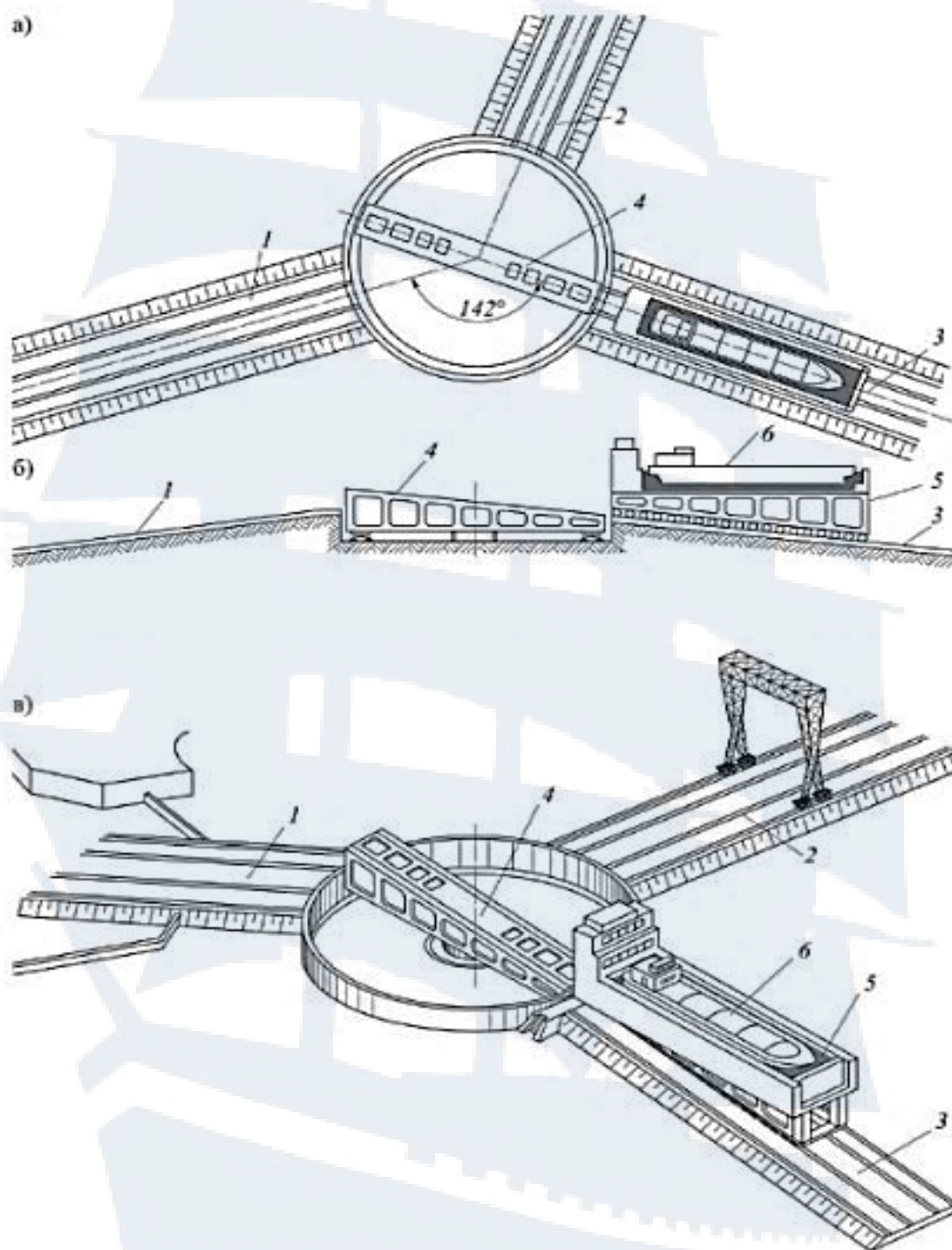
Различают *три вида* вертикальных судоподъемников:

- *механические* судоподъемники работают аналогично обычному лифту, камера висит на тросах и уравнивается противовесом;
- *поплавковые* судоподъемники, где камера поддерживается поплавками, которые находятся в подземных резервуарах (шахтах или колодцах), изменяя количество воды в шахтах, можно поднимать или опускать камеру;
- *гидравлические* (плунжерные), в которых две камеры связаны между собой и приводятся в движение по принципу гидравлического пресса.

Наклонные двухскатные судоподъемники используются в гидроузлах, где имеют место значительные колебания уровней в бьефах. Двухскатный судоподъемник не требует устройства полушлюзов, так как сопряжение камеры с бьефами производится заходом камеры по наклонным путям, проложенным на необходимую глубину под уровни верхнего и нижнего бьефов. Для перехода камеры с одного наклонного пути на другой на стыке путей сооружается поворотное устройство. Камера судоподъемника может быть самоходной, например судоподъемник Красноярской ГЭС (рис. 106, 107), или иметь канатный привод.

При самоходной камере предусматривается зубчатое зацепление приводных колес за зубчатые рейки, проложенные вдоль наклонных путей. Канатный привод передвижения состоит из лебедки, установленной на балке поворотного устройства. Суда перевозят в камере, размещая их в воде или на сухой тележке. В последнем случае в камере монтируются

кильблочные устройства в виде деревянных брусьев, пневматических баллонов или других устройств.



*Рис. 106. Судоподъемник с поворотным кругом
(Красноярская ГЭС):*

*а) – план; б) – продольный разрез; в) – общий вид;
1 – пути верхнего бьефа; 2 – монтажная площадка; 3 – пути нижнего бьефа; 4 – поворотное устройство; 5 – судовозная камера; 6 – судно*



Рис. 107. Продольный наклонный (Красноярский) судоподъемник

Процесс перемещения судна из бьефа включает следующие операции:

- заход судна в камеру или на тележку;
- закрытие затвора в торце камеры или подвод под корпус судна кильблочных устройств;
- подъем судна в камере до поворотного устройства и остановка нем;
- разворот камеры с судном на поворотном устройстве;
- спуск судна в камере по судовозным путям до противоположного бьефа;
- выход судна из камеры в подходной канал.

Вертикальные судоподъемники по принципу работы бывают (рис. 108):

- механические (с противовесами);
- плунжерные (с гидравлическими прессами);
- поплавковые.

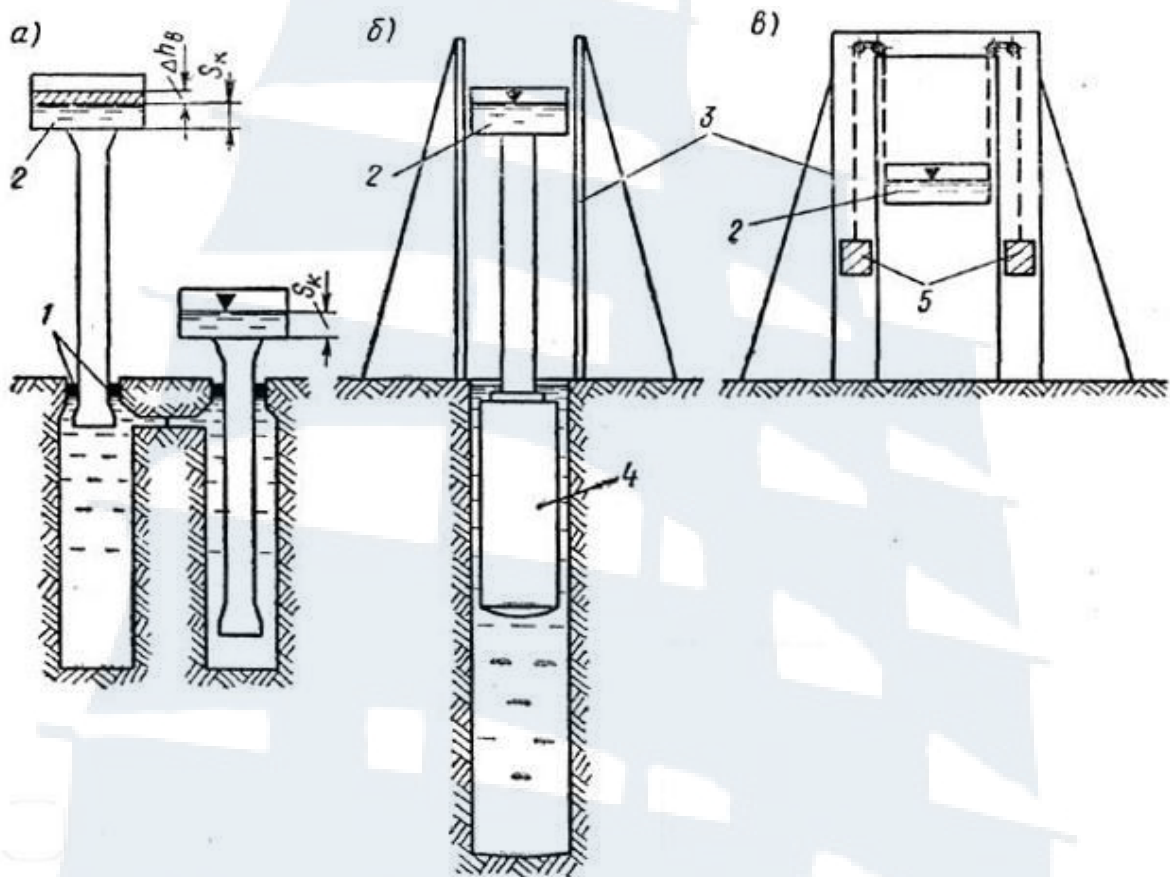


Рис. 108. Вертикальные судоподъемники:
 а) гидравлические с двумя параллельными камерами;
 б) поплавковые; в) механические;
 1 – сальник; 2 – камера; 3 – направляющие; 4 – поплавок;
 5 – противовес

Поплавковые судоподъемники могут быть однониточными. Камера опирается металлическими пространственными фермами на расположенные под ней вертикальные поплавки. Подъемная сила поплавков должна соответствовать весу всей системы – камеры с водой (и судном), металлических ферм и поплавков – в течение всего периода подъема и опускания. Поэтому в нижнем положении камера судоподъемника может опускаться только в сухую приемную камеру. Для уменьшения мощности механизмов применялась иногда догрузка камеры при ее движении вниз слоем воды в несколько сантиметров, выпускаемой в камеру из верхнего бьефа и затем выпускаемой в нижний.

В механическом судоподъемнике (рис. 109, 110) вес камеры с водой и находящимся в ней на плаву судном уравнивается в основном противовесами, соединенными с камерой через блоки многочисленными стальными канатами или цепями.



Рис. 109. Вертикальный механический судоподъемник в Стрети-Тъё (Бельгия)



Рис. 110. Суда в камере судоподъемника в Стрети-Тъё (Бельгия)

Вес камеры во время ее движения должен быть постоянным. Поэтому расположенная ниже уровня нижнего бьефа часть сооружения, обычно доковой конструкции, должна быть сухой, для чего она отделяется от бьефа воротами. Камера должна иметь ворота с обоих торцов. На случай обрыва отдельных канатов (цепей) или нарушения равновесия подвешенной на них камеры в механических вертикальных судоподъемниках устанавливают противоаварийные устройства, обеспечивающие безопасность судоходства.

4.2.2. Условия применения судоподъемников

Технико-экономическая целесообразность применения судоподъемника (вместо судоходного шлюза), а также выбор его типа определяются в каждом конкретном случае большим числом факторов. Основные из них:

- грузоподъемность наибольшего расчетного судна;
- степень обеспеченности верхнего бьефа водой для шлюзования;
- величина преодолеваемого падения и амплитуда навигационных колебаний бьефов;
- топографические и геологические условия района сооружения.

С увеличением размеров и грузоподъемности судов на водных путях конструкции камер и механическое оборудование судоподъемников усложняются значительно больше, чем на шлюзах. В настоящее время через вертикальные судоподъемники предусмотрен пропуск судов грузоподъемностью до 1 500 т, а через продольные наклонные – до 2 000 т.

Технико-экономические сравнения вариантов судоходных шлюзов и судоподъемников показали целесообразность перехода на последние только при больших напорах на гидроузлах, превышающих в зависимости от местных топографических условий 50÷70 м. Поэтому на гидроузлах, на которых напоры не превышают 40 м, судоподъемники применения не нашли.

Выбор между всеми этими типами и схемами судоподъемников зависит, при современных широких возможностях машиностроения в отношении механического оборудования, главным образом, от топографических, геологических и компоновочных условий гидроузла, определяющих условия вписывания трассы судоподъемника в рельеф и врезки ее в основание. В частности от возможности трассировать судовозные пути наклонного судоподъемника с уклоном, близким к поверхности земли, без больших выемок и высоких эстакад.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 55506-2013 Транспорт водный внутренний. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200106282>
2. ГОСТ 26600-98 Знаки навигационные внутренних судоходных путей. Общие технические условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006487>
3. ГОСТ 26775-97. Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901710267>
4. ГОСТ 23903-79 Пути водные внутренние и их навигационное оборудование. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006466>
5. СП 444.1326000.2019 Нормы проектирования морских каналов, фарватеров и зон маневрирования. Свод правил [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.portsup.com/wp-content/uploads/2017/11/SP-444.1326000.2019-Normy-proektirovaniya-morskikh-kanalov.pdf>
6. СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Свод правил [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200094156>
7. СП 101.13330.2012 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Свод правил [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095534>
8. СНиП 2.06.01 – 86 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/snip/20601-86/index-2.htm>
9. Гладков Г.Л. Водные пути и гидротехнические сооружения / Г.Л. Гладков, М.В. Журавлев, А.В. Москаль, А.М. Гапеев, М.А. Колосов: учебник для вузов. – СПб.: СПГУВК, 2011. – 440 с.
10. Леонов А.О. Навигационное оборудование водных путей / А.О. Леонов: учебник для вузов. – СПб.: ГУМРФ им. С.О. Макарова, 2014. – 480 с.
11. Транспорт в России. 2018: Статистический сборник / Росстат. – Т. 65. – М., 2018. – 101 с.
12. Транспортный комплекс Сибири и Дальнего Востока [Текст]: учебное пособие / [Никифоров В. С. и др.]; под ред. В.С. Никифорова: Минтранс Российской Федерации, Федеральное агентство морского и речного трансп., ФГОУ ВПО «Новосибирская гос. акад. водного

трансп». – Новосибирск: Новосибирская гос. акад. водного трансп., 2010. – 203 с.

13. «Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации» от 07.03.2001 № 24-ФЗ (ред. от 29.12.2017).

14. ECMT Resolution 92/2 on New Classification of Inland Waterways [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itf-oecd.org/resolution-no-922-new-classification-inland-waterways>

15. Внутренние водные пути [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.morflot.ru/vvt.html>

16. Водный мир [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vodnyimir.ru/Locmanskoe_delo_Bui_i_bakeny.html

17. Гидротехнические сооружения на водных путях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://slide-share.ru/gidrotekhnicheskie-sooruzheniyana-vodnikh-putyakh-127085/>

18. Моторные лодки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kateralodki.ru/>

19. Навигационное оборудование ВВП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.pravanalodku.ru

20. Обзор водных путей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kamstorm.ru/info/sudov/puti.php>

21. Система ограждения МАМС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unatour.ru/assets/images/Jahting/MAMS.pdf>

22. Судходные сооружения. Общие понятия о судходных шлюзах и судподъемниках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hydrotechnics.ru/Gidrotekhnicheskie-sooruzheniia/>

23. Характеристика водных путей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ouvtk.ru/done/sailing/ObzorVodnyhPutey.php>

24. <https://fleetphoto.ru/>

25. <https://www.infoflotforum.ru/>



978980002167

Леонид Ефимович Мейлер

ВОДНЫЕ ПУТИ И ИХ ОБОРУДОВАНИЕ

Учебное пособие
для курсантов и студентов по направлению
подготовки бакалавриата 26.03.01 «Управление водным
транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства»
всех форм обучения

*Ведущий редактор М.Б. Априянц
Младший редактор Г.В. Деркач*

*Компьютерное редактирование
О.В. Савина*

*Подписано в печать 06.11.2019 г.
Усл. печ. л. 9,0. Уч.-изд. л. 8,8.*

Лицензия № 021350 от 28.06.99.

Печать офсетная.

Формат 60x90/16.

Заказ № 1521. Тираж 40 экз.

Доступ к архиву публикации и условия доступа к нему:
<http://bgarf.ru/academy/biblioteka/elektronnyj-katalog/>

БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»

*Издательство БГАРФ,
член Издательско-полиграфической ассоциации высших учебных заведений
236029, Калининград, ул. Молодежная, 6.*

БГАРФ