

Предисловие

Шлюзованным водным путям и строительству судоходных шлюзов посвящено значительное количество научных работ. В них рассматриваются различные вопросы проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений, однако, на наш взгляд, недостаточное внимание уделяется рациональному проектированию систем питания камер судоходных шлюзов, улучшению качества их работы и изучению гидромеханических явлений, связанных с наполнением и опорожнением камер.

Под качеством системы питания судоходного шлюза понимается совокупность показателей его работы, при которых обеспечиваются безопасные условия стоянки в камере шлюзуемых судов, заданное время судопропуска, надёжная эксплуатация сооружения и его оборудования.

Качество систем питания судоходных шлюзов при проектировании оценивалось по условиям стоянки в камере расчетных групп судов без учета в большинстве случаев влияния элементов системы питания на гидравлические параметры поступающего в камеру потока воды и изменений структуры флота в перспективе.

Эти обстоятельства привели к дальнейшей необходимости проведения в натуре и на моделях специальных гидравлических исследований, направленных на улучшение эксплуатационных качеств многих судоходных шлюзов как с головной, так и с распределительной системами питания, построенных на реках и каналах России.

Первой научной работой в России, посвященной устройству и гидравлическим расчётам головных систем питания судоходных шлюзов с напором на камеру до 10 м, была работа А. В. Михайлова, опубликованная в 1951 году, а по устройству отдельных схем распределительного питания камер водой и оценке их качеств – работа В. В. Каяка (1963).

В настоящей работе приведены проектные решения различных схем питания судоходных шлюзов России по результатам их исследований

в гидравлических лабораториях: им. проф. В. Е. Тимонова Ленинградского института водного транспорта (ЛИВТ, впоследствии Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций – СПГУВК, затем Государственный университет морского и речного флота – ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова), в НИС Гидропроекта им. С. Я. Жука и во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. Рассмотрены особенности их работы и дана оценка качества систем питания отдельных шлюзов на основании результатов натурных исследований, выполненных кафедрой гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики (ГТС, К и Г) СПГУВК и другими организациями. Приведены также некоторые оригинальные решения по системам питания судоходных шлюзов, построенных за рубежом: в США, Германии, Франции, Португалии, Нидерландах, Ирландии, Швейцарии, Австрии, Румынии, Швеции, Финляндии, странах СНГ и др.

Настоящая работа рассматривает вопросы, ранее изложенные при анализе систем питания¹, но является переработанной и дополненной. Особое внимание, наряду с исследованием работы систем питания, уделено конструктивным особенностям и вопросам проектирования судоходных шлюзов.

Изложенные в монографии материалы могут быть использованы проектными и научными организациями, специализирующимися в области водных путей и судоходных гидротехнических сооружений, а также в учебном процессе при подготовке инженерных и научных кадров.

¹ Гапеев А. М., Кононов В. В. Системы питания судоходных шлюзов водой. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. – 268 с.

Введение

Реки с древних времен служили местом расселения людей и источником широкого использования водных ресурсов для удовлетворения различных нужд. Наиболее важными направлениями использования водных ресурсов являются транспортная, энергетическая, мелиоративная деятельность (орошение, обводнение и осушение земель), водоснабжение населённых мест и промышленных предприятий.

Достижение этих и других народнохозяйственных целей стало возможным только при шлюзовании рек – наиболее рациональном способе изменения их естественного гидрологического режима.

Шлюзование предусматривает возведение на реках ряда подпорных сооружений, позволяющих аккумулировать в водохранилищах сток воды (полностью или частично), который эффективно используется для различных водохозяйственных нужд. В состав подпорных сооружений при комплексном использовании водных ресурсов входят плотины, судоходные шлюзы или судоподъемники, гидроэлектростанции, насосные станции, водосбросные и водозаборные сооружения, рыбопропускные сооружения и др.

Особое внимание в России, начиная с конца XIX века, уделялось как транспортному, так и энергетическому использованию водных ресурсов. Напоры на гидроузлах с этого времени начали увеличиваться: сначала до 10–15 м, а затем до 25–40 м и более. Мощности гидроэлектростанций достигли сотен тысяч, а затем и миллионов киловатт. За счет роста напоров на гидроузлах существенно выросли габариты судовых ходов на реках и увеличилась грузоподъемность судов, а наличие электроэнергии позволило применить машинное (с помощью насосов) питание на отдельных судоходных каналах.

Эти обстоятельства явились мощным импульсом для использования водных ресурсов, широкого развития шлюзования рек и создания новых межбассейновых соединений.

В настоящее время в России значительно выросло количество шлюзованных рек: Волга, Дон, Кама, Енисей, Москва, Свирь, Волхов, Ока, Обь, Северский Донец, Кубань, Маныч, Северная Двина, Цна и др. Построены крупные судоходные каналы: Беломорско-Балтийский (Белое море – Онежское озеро), Волго-Балтийский (Онежское озеро – река Волга), канал имени Москвы (река Волга – река Москва), Волго-Донской (река Волга – река Дон).

Шлюзование рек и строительство судоходных каналов позволило создать в европейской части страны Единую глубоководную систему внутренних водных путей, которая имеет огромное значение для народного хозяйства страны.

По шлюзованным водным путям осуществляются перевозки грузов в крупнотоннажных судах смешанного (река – море) плавания на значительные расстояния как на внутренних, так и на зарубежных линиях.

Протяженность эксплуатируемых водных путей в России в настоящее время составляет свыше 100 тыс. км, в числе которых на долю свободных рек приходится свыше 80% и 16,7% – на шлюзованные (искусственные) водные пути, однако по шлюзованным водным путям перевозится до 90% всех народнохозяйственных грузов, привлекаемых на речной транспорт.

Интенсивность перевозок внутренним водным транспортом постепенно увеличивается. Значительная доля объема перевозок приходится на нефть и нефтепродукты, металл, древесину, минерально-строительные грузы и др. Существенно увеличиваются и перевозки пассажиров. В ближайшие годы возможна организация перевозок по международным транспортным коридорам «Север – Юг», «Север – Урал», а также развитие экономических связей со странами Среднего и Ближнего Востока, Юго-Восточной Европы и Средиземноморья через бассейны Каспийского и Черного морей. Возможно увеличение объемов перевозок и в страны Западной Европы, и на иранском направлении.

Основным типом судопропускных сооружений на шлюзованных водных путях, оказывающих существенное влияние на интенсивность судопропуска, являются судоходные шлюзы. В настоящее время на водных путях России эксплуатируется 128 шлюзов и один судоподъемник в составе Красноярского гидроузла.

Широкое применение судоходные шлюзы получили на водных путях стран СНГ, Западной Европы и Америки: Украина – 7, Белоруссия – 12, Италия – 16, Великобритания – 36, Франция – 35, Нидерланды – 36, Бельгия – 39, США – 237, Германия – более 400.

Проблема увеличения пропускной способности судоходных шлюзов, а следовательно, и всего шлюзованного водного пути, является одной из самых актуальных на водном транспорте, и связана она не только с улучшением их эксплуатационных качеств, но и с растущей интенсивностью движения флота. Особое внимание из числа основных мероприятий по повышению пропускной способности судоходных шлюзов и водного пути в целом уделяется рациональному проектированию систем питания, элементов и конструкций шлюза, а также обоснованию оптимальных режимов наполнения и опорожнения камер.

Обоснование систем питания и их элементов и оптимальных режимов наполнения (опорожнения) камер, как правило, осуществляется на стадии проектирования в лабораторных условиях на общих и фрагментарных моделях шлюзов по условиям стоянки в камере расчетных судов и составов с дальнейшей проверкой принятых решений в натуре. Иногда конструкции систем питания принимаются по аналогии с уже эксплуатируемыми шлюзами.

Самое широкое применение на водных путях при напорах до 15 м получили сосредоточенные (головные) системы питания камер водой как наиболее простые по устройству и экономичные, однако они не всегда обеспечивают заданную пропускную способность водного пути и безопас-

ность пропуска шлюзуемых судов. В этом случае целесообразно использовать комбинированные схемы головного питания камер судоходных шлюзов за счёт увеличения площади водопропускных отверстий. Комбинированные схемы головного наполнения камер водой получили применение пока только для шлюзов с напорами до 8 м.

Для сокращения времени наполнения и опорожнения камер шлюзов в дальнейшем стали применять распределительные системы питания, сначала простые, а с увеличением напоров (свыше 20 м) – сложные. При очень больших напорах иногда применяют эквиинерционные распределительные системы питания. Распределительные системы питания считаются сложными в конструктивном отношении и дорогостоящими, поэтому в России они не нашли широкого применения (10 шлюзов из 128). В настоящее время разработаны комбинированные схемы питания камер водой, основанные на использовании распределительных и головных систем питания, однако эффективность их применения пока не обоснована на практике.

На судоходных каналах за рубежом с целью сбережения воды иногда возводят шлюзы со сберегательными бассейнами, которые имеют сложную конструкцию и более высокую стоимость по сравнению с распределительными системами питания.

Наиболее радикальным решением увеличения пропускной способности шлюзованного водного пути при интенсивном судоходстве считается устройство в составе гидроузлов многониточных шлюзов, чаще всего двухниточных или парных. Они удобны в эксплуатации, при осмотрах и ремонте, могут иметь головную или распределительную систему питания, а при устройстве перепуска воды из одной камеры в другую позволяют сэкономить сливную призму при шлюзовании.

В данной работе приведены конструктивные решения различных систем питания судоходных шлюзов и выполнен их анализ по гидравлическим, кинематическим, эксплуатационным и другим признакам.

1. Краткие исторические сведения о судоходных шлюзах.

Понятие о системе питания шлюза водой

С древних времен реки, озера и внутренние моря использовались людьми не только для обеспечения своей жизнедеятельности, но и как транспортные пути. При плавании по рекам условия судоходства зависели от водности года, от расхода и уровня воды, от наличия препятствий в русле: порогов, отмелей, перекатов, каменных гряд и др. Для их преодоления приходилось или переносить груз в обход препятствий (делать обносы) с последующей погрузкой на то же судно, прошедшее через препятствие благодаря меньшей осадке, или перегружать груз на судно с меньшей осадкой (эта операция называлась «паузкой»). С увеличением размеров и грузоподъемности судов обносы и паузки становились все более трудоемкими операциями, требовавшими все больше затрат времени.

Первыми искусственными сооружениями, позволившими отказаться от обносов и паузок, были плотины с отверстиями для прохода судов. Отверстия перекрывались подвижными затворами (воротами). При закрытии затворов перед плотиной накапливалась вода. Уровень воды повышался и затапливал препятствия, что позволяло судам подойти к плотине. Для пропуска судов затворы поднимались или удалялись в сторону, а после окончания пропуска судов возвращались обратно. При удалении затворов вода из подпертого бьефа перед плотиной вместе с судами перемещалась через отверстие вниз по течению в виде волны попуска через затруднительные для судоходства участки реки. Эти сооружения получили название полушлюзов. Суда проводились через полушлюзы в оба направления: вниз по течению реки самосплавом на волне попуска; вверх против течения тоже на волне попуска с использованием конной тяги или бурлаков. Имеются сведения, что полушлюзы существовали в Древнем Египте на канале, соединявшем реку Нил с Красным морем в период правления династии Пто-

лемеев (305–30 гг. до н. э.). Практически в это же время (III в. до н. э.) в Древнем Китае были построены полушлюзы на судоходном канале Линцью (Магический канал); они получили название гидросливов (рис. 1.1). Гидросливы разделяли канал на отдельные бьефы и позволяли не только пропускать суда по каналу, но и регулировать уровни воды в бьефах. Участки канала между гидросливами имели небольшие уклоны; по ним суда перетаскивались волоком по рельсам за канаты, которые тянули волю.

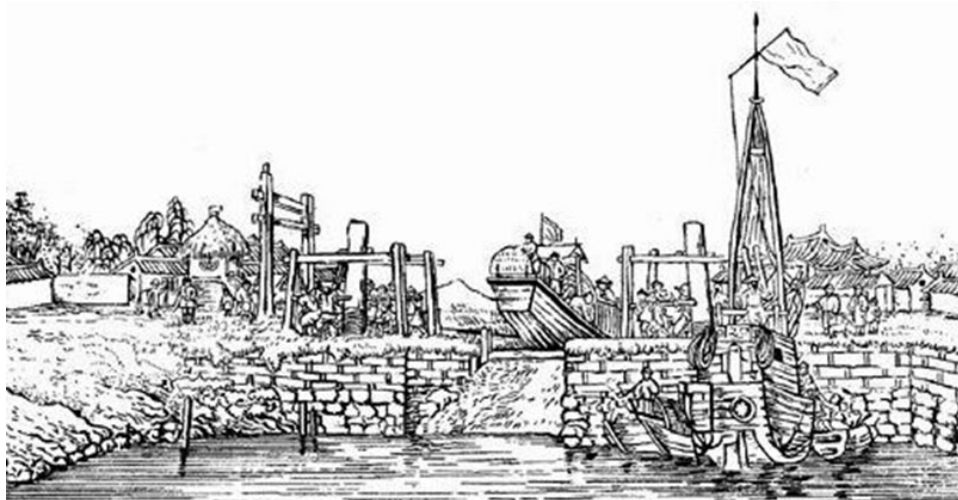


Рис. 1.1. Судопропускное устройство на Великом канале
(со старинной китайской гравюры)

В Европе первые полушлюзы были построены в XIII веке в Германии на реке Альстер. Затворы полушлюзов устраивались в виде горизонтальных брусьев (шандор) или вертикальных брусьев (спиц). Полушлюзы использовались при напорах до 1 м и ширине судоходного отверстия до 12 м. В XIV веке стали применяться затворы в виде двухстворчатых ворот, имеющих вертикальные оси вращения (полушлюзы на реке Дельфенау, притоке Эльбы в Германии). В створках ворот были устроены отверстия, названные клинкетами, перекрываемые плоскими подъемными затворами (рис. 1.2). Перед открытием ворот затворы поднимались вверх вручную

посредством прикрепленных к ним штанг и пропускали воду из верхнего бьефа в нижний. Напор на ворота при этом уменьшался, что позволяло открыть их для пропуска судов.

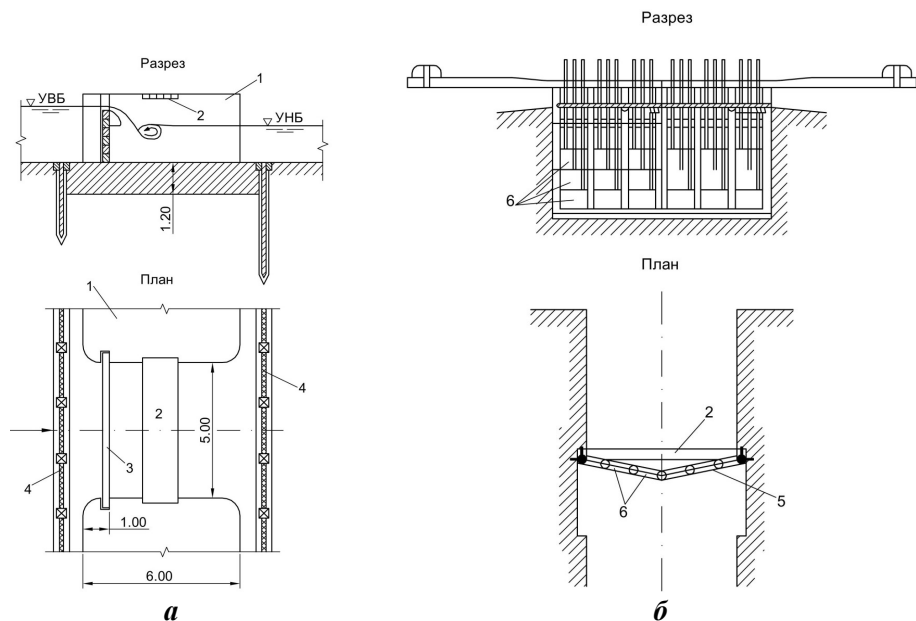


Рис. 1.2. Полушлюзы:

а – с затворами в виде горизонтальных балок (шандор); б – с затворами в виде двустворчатых ворот с отверстиями (клинкетами) для пропуска воды;
1 – плотина; 2 – мост; 3 – шандорный затвор; 4 – свайные ряды; 5 – двустворчатые ворота; 6 – клинкеты.

В России первые полушлюзы были построены в 1697–1701 годах на трассе Волго-Донского канала, проходившей между рекой Иловлей, притоком Дона, и рекой Камышинкой, притоком Волги (в то время строительство канала завершено не было).

В процессе эксплуатации полушлюзов выявились их недостатки: судоходство с использованием волны попуска требовало большого расхода воды; на процесс пропуска судов затрачивалось много времени; неустановившееся движение воды, возникающее при открытии отверстий, пред-

ставляло большую опасность для судов, так как ухудшало их управляемость и устойчивость на курсе.

Точно неизвестно, когда впервые были построены два полушлюза на некотором расстоянии друг от друга так, что между ними образовалось пространство, в котором располагались суда. Поочередно открывая и закрывая затворы на верхнем и нижнем полушлюзах, можно наполнять водой пространство между полушлюзами (названное камерой) до уровня верхнего бьефа или опорожнять его до уровня нижнего бьефа. Это сооружение получило название шлюз (от *лат.* *excludo*, *голлан.* *sluis* – исключая, удерживая, отделяю). В широком смысле слова шлюз означает отделение по количеству и времени чего-либо текущего. Так говорят о воздушных, тепловых, транспортных, горных, рыбопропускных и других шлюзах. Прообразом современного судоходного шлюза можно считать сооружение, построенное в Китае в 984 году на канале Даюньхэ (Великий канал) помощником министра транспорта города Хуайнани Цяю Вэйюзем. По описанию это был прямолинейный участок канала длиной до 76 м, ограниченный по торцам воротами. Берега шлюза были укреплены, а над ним устраивался навес. Ворота шлюза изготавливались из деревянных брусьев и перемещались вертикально. Напоры, преодолеваемые шлюзами, составляли до 1,5 м. По всей длине Великого канала шлюзы были построены в течение XI столетия.

В Европе первый камерный судоходный шлюз был построен в 1439 году в Италии около города Виарены инженерами Филлипсом из города Модены и Фиораванти из города Болоньи. Первое описание камерного шлюза было сделано в 1440 году Леони Баптиста Альберти в книге *Dereaedificatoria*. В 1497 году знаменитый итальянский ученый и художник Леонардо да Винчи в своих книгах эскизов привел несколько рисунков, имеющих отношение к судоходным шлюзам. На рисунке «Канал со шлюзами» показаны камерные шлюзы на судоходном канале и эскизы голов шлюза.

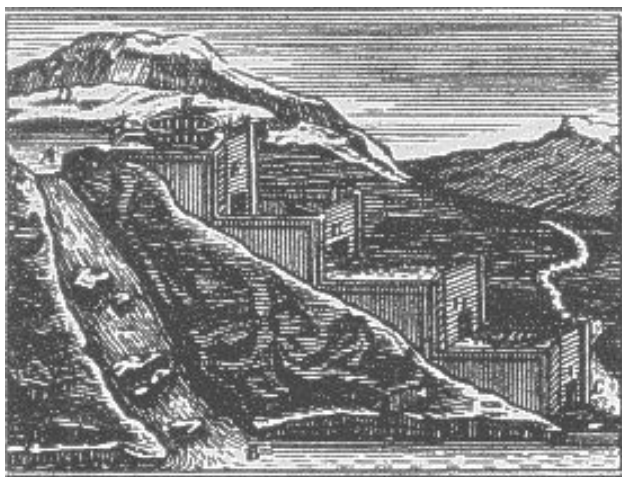


Рис. 1.3. Изображение камерного шлюза из книги Л. Б. Альберти

На рисунке «Ворота шлюза» (рис. 1.4) показаны двухстворчатые ворота, имеющие отверстия для наполнения и опорожнения камеры, перекрытые затворами.

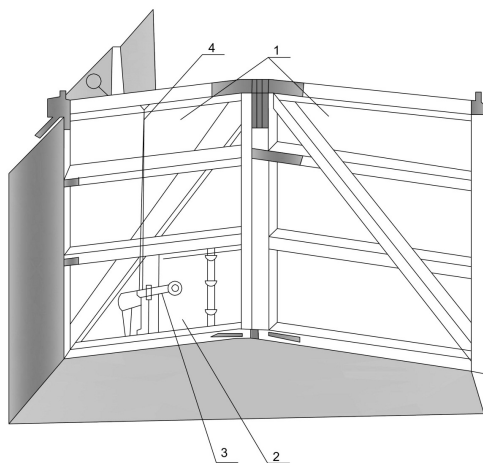


Рис. 1.4. Рисунок Леонардо да Винчи «Ворота шлюза»:

*1 – створки двухстворчатых ворот; 2 – затвор, перекрывающий отверстие в створке;
3 – засов затвора; 4 – тяга для открытия затвора.*

На рисунке показаны также засов затвора и тяга для открытия затвора. Леонардо да Винчи участвовал и в практических работах по строительству каналов и шлюзов, например канала Амбуаз во Франции.

В России первые шлюзы были построены в 1701–1707 годах на водном пути, соединившем бассейны рек Дона и Волги, по трассе р. Дон – оз. Ивановское – водораздел – р. Шать – р. Упа – р. Ока – р. Волга. Общая длина канала составляла 247 км. Были построены 37 шлюзов. Первые суда прошли по каналу в 1707 году. В 1708 году их число составило около 300. Пропуск судов осуществлялся в паводок, а в меженный период воды для движения судов по шлюзованному участку канала было недостаточно. В связи с этим в 1709 году работы по строительству канала были приостановлены, а с 1711 года прекращены.

С выходом России к Балтийскому морю и основанием в 1703 году Петербурга остро встал вопрос о снабжении населения и армии продовольствием, строительными материалами, фуражом для лошадей и др. По указу Петра I от 12 января 1703 года началось строительство первого постоянного искусственного водного пути в России по трассе р. Волга – р. Тверца – водораздельный канал – р. Цна – р. Мста – оз. Ильмень – оз. Ладожское – р. Нева – Балтийское море. Он получил название Вышневолоцкого пути по названию городка Вышний Волочек, расположенного в районе водораздельного участка. Строительство водного пути было окончено в 1708 году; с 1709 года по нему началось регулярное судоходство. В состав комплекса гидротехнических сооружений на водораздельном участке водного пути входили полушлюзы и шлюзы. В XVIII–XIX веках в России полушлюзы и шлюзы строились при создании судоходных каналов и при шлюзовании рек (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Строительство судоходных ГТС в России в XVIII–XIX вв.

<i>Название</i>	<i>Год окончания строительства, реконструкции</i>	<i>Трасса, водный путь</i>	<i>Состав судоходных сооружений</i>
1	2	3	4
Вышневолоцкий водный путь	1708 реконструкция 1723, 1786	р. Волга – Балтийское море через Вышний Волочек	Каналы, шлюзы, полушлюзы
Старо-Ладожский канал	1731	В обход Ладожского озера на Вышневолоцком водном пути	Канал, шлюзы по концам канала
Днепро-Бугский канал	1775 реконструкция 1956, 1997–2010	р. Днепр – Балтийское море через р. Западный Буг	Каналы; при реконструкции шлюзы, судоходные плотины, ГЭС
Сясьский канал	1802	р. Волхов – р. Сясь в обход Ладожского озера	Канал
Новгородский (Сиверсов) канал	1803	р. Мста – р. Волхов в обход оз. Ильмень	Канал
Огинский канал	1783	р. Ясельда (бассейн Припяти) – р. Щара (бассейн Немана)	Канал, шлюз
Березинский канал	1805	р. Днепр – Балтийское море через р. Западную Двину	Канал, шлюзы
Свирский канал	1810	р. Свирь – р. Сясь	Канал
Мариинский водный путь	1810 реконструкция 1896	р. Волга – Балтийское море через рр. Шексну, Вытегру	Каналы, полушлюзы, шлюзы; при реконструкции полушлюзы перестроены в шлюзы
Тихвинский водный путь	1811 реконструкция 1830	р. Волга – Балтийское море через рр. Мологу, Тихвинку	Каналы, полушлюзы; при реконструкции полушлюзы перестроены в шлюзы
Северо-Екатерининский канал	1822	р. Волга – Белое море через рр. Каму, Вычегду, Северную Двину	Канал, шлюзы
Северо-Двинский водный путь (водный путь герцога Александра Виртембергского)	1828 реконструкция 1921, 2013	р. Волга – Белое море через рр. Шексну, Сухону, Северную Двину	Каналы, шлюзы; при реконструкции каналы, шлюзы, судоходные плотины

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4
Вишерский канал	1836	р. Мста – р. Волхов в обход озера Ильмень	Канал
Шлюзование р. Тезы	1837	Приток р. Клязьмы, впадающей в р. Оку	Пять гидроузлов, шлюзы
Августовский канал	1839	р. Неман – р. Висла	Каналы, шлюзы
Волжско-Московский водный путь	1844	р. Волга – р. Москва через рр. Истру, Дубну	Каналы, шлюзы
Белозерский канал	1846 реконструкция 1896	В обход Белого озера на Мариинском водном пути	Канал, шлюзы
Онежский канал	1852	В обход Онежского озера на Мариинском водном пути	Канал
Сайменский канал	1856 реконструкция 1968	оз. Саймаа (Финляндия) – Балтийское море	Канал, шлюзы
Ново-Ладожский канал	1866	В обход Ладожского озера	Канал
Москворецкая шлюзованная система	1877 реконструкция 1972, 1989, 2015	р. Москва – р. Ока	Шлюзы, судоходные плотины
Ново-Сясьский канал	1882	р. Волхов – р. Сясь в обход Ладожского озера	Канал
Ново-Свирский канал	1882	р. Свирь – р. Сясь	Канал
Обь-Енисейский канал	1898	р. Обь – р. Енисей	Канал, шлюзы

В начальный период устройства полушлюзов и шлюзов они строились из местных материалов: дерева и камня.

Напоры, преодолеваемые судами при прохождении полушлюзов и шлюзов, были невелики.

Современный судоходный шлюз – напорное гидротехническое сооружение, предназначенное для перемещения плавучих объектов (судов, доков, плавкранов и др.) из верхнего бьефа в нижний или в обратном направлении.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru