



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

**Кафедра «Гидротехническое и энергетическое
строительство»**

М. И. Богданович

**РАСЧЕТ СУДО- И ГРУЗОПРОПУСКНОЙ
СПОСОБНОСТИ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ**

**Пособие по выполнению
курсового проекта**

**Минск
БНТУ
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Гидротехническое и энергетическое строительство»

М. И. Богданович

РАСЧЕТ СУДО- И ГРУЗОПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

Пособие по выполнению курсового проекта
на тему «Судоходный шлюз»
по дисциплинам «Водные пути и порты», «Водные пути
и технический флот» для студентов специальности 1-70 04 01
«Водохозяйственное строительство»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2017

УДК 626.4.04:378.147.091.313(075.8)

ББК 39.4я7

Б73

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Гидравлика и гидравлические машины» БГАТУ *А. М. Кравцов*;
начальник отдела Водного мониторинга и кадастра РУП «ЦНИИКИВР» *В. Н. Корнеев*

Богданович, М. И.

Б73 Расчет судо- и грузопропускной способности судоходных шлюзов : пособие по выполнению курсового проекта на тему «Судоходный шлюз» по дисциплинам «Водные пути и порты», «Водные пути и технический флот» для студентов специальностей 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство» / М. И. Богданович. – Минск: БНТУ. – 2017. – 29 с.

ISBN 978-985-550-660-8.

В пособии содержатся пояснения по выполнению раздела курсового проекта на тему «Судоходный шлюз», посвященного расчету его пропускной способности.

Даны рекомендации по выбору методики расчета пропускной способности судоходного шлюза и последовательности его выполнения. Изложены расчетные зависимости, а также справочные данные для определения параметров, необходимых для расчета.

УДК 626.4.04:378.147.091.313(075.8)

ББК 39.4я7

ISBN 978-985-550-660-8

© Богданович М. И., 2017

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Пропускная способность судоходных шлюзов определяется количеством пропущенных за определенный период времени через шлюз судов, составов, плотов и пропущенного груза в тоннах. За единицу времени могут приниматься сутки, месяц, период навигации. Поэтому различают судопропускную и грузопропускную способность шлюза за соответствующий период времени.

В проектной практике расчет пропускной способности выполняют в соответствии с ТКП 45-3.04-171–2009 (022550) [1], где изложены основные положения по определению пропускной способности шлюзов. При выполнении курсового проектирования используют различные методики [2–9], которые с той или иной степенью полноты учитывают требования [1] в зависимости от задач, решаемых в курсовом проекте по результатам расчета пропускной способности. Студенты специальностей 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство» и 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта» в ходе выполнения курсового проекта на тему «Судоходный шлюз» производят расчет возможной пропускной способности шлюза на завершающей стадии проектирования шлюза с целью определения его эксплуатационных показателей. При расчете используют размеры камеры и подходных каналов, а также времена наполнения и опорожнения камеры, полученные при выполнении предыдущих разделов проекта.

В пособии изложены сведения, позволяющие студентам в рамках времени, отведенного учебным планом, изучить основные принципы расчета пропускной способности судоходных шлюзов и получить справочные данные для его выполнения.

Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРУЗОБОРОТА, СУДООБОРОТА И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ШЛЮЗОВ

Через шлюз с известными полезными размерами камеры целесообразно пропускать или судно с наибольшими допустимыми габаритами, или состав (плот), сформированный по размерам камеры шлюза, или группу судов и даже группу составов, одновременно размещаемых в камере и полностью использующих ее полезные размеры. Такие суда, составы, группы, пропускаемые за одно шлюзование, называются *шлюзовыми составами* или, для краткости, *составами*.

Пропуск через шлюз одного шлюзового состава считается одним шлюзованием, а затрачиваемое при этом время – продолжительностью одного шлюзования. Число шлюзований за навигацию – основной показатель работы шлюза. Общее число шлюзований или равное ему число шлюзовых составов, которое может пропустить шлюз за навигацию, называется судопропускной способностью шлюза за период навигации. Количество грузов, перевозимых в судах и плотях, которые шлюз может пропустить за тот же период времени, составит грузопропускную способность шлюза (в тоннах). Таким образом, пропускная способность шлюза должна рассматриваться двояко: как судопропускная и грузопропускная способность; первая должна быть не меньше проектного судооборота через шлюз за навигацию, вторая – не меньше проектного грузопотока (в обоих направлениях) за тот же период.

В течение навигации к шлюзу подходят составы по графику движения, действующему на водном пути. Может оказаться, что в одном направлении движется больше составов, чем в другом. Например, в случаях, когда часть судов возвращается иным водным путем или когда в одну сторону следуют плоты. Направление, по которому движется больше составов, называется прямым направлением, а противоположное – обратным. Число составов, проходящих через шлюз за сутки,

изменяется в течение навигации. Обычно их меньше в начале и конце навигации и больше в середине. Длительность навигации делится на равные промежутки времени, например декады. Для каждого промежутка определяют среднее суточное число составов по направлениям, причем наибольшее их число может оказаться в разных промежутках [9].

1.1. Определение количества судов, подлежащих пропуску через проектируемый шлюз

Эксплуатационными показателями водного пути, для которого проектируется шлюз, связанными с расчетом его пропускной способности, являются объемы перевозок грузов в тоннах за навигацию, длительность навигации в сутках и характеристики судов, используемых на водном пути в текущий момент и на перспективу. В соответствии с [1] за расчетный перспективный срок принимают: для шлюзов на сверхмагистральных и магистральных водных путях – 10 лет после начала постоянной эксплуатации; для шлюзов на водных путях местного значения – 5 лет. Объемы перевозок грузов каждого вида q_j через шлюз определяют на перспективные сроки по схеме развития водного транспорта водного пути, а при ее отсутствии – на основании экономических исследований. Данные о грузопотоках приводят в виде таблицы, которая включает сведения об объемах грузов, проходящих в створе гидроузла в прямом и обратном направлениях, а также о суммарных объемах грузов.

Количество судов, необходимых для обеспечения требуемого грузопотока, то есть навигационный грузооборот, определяют по направлениям прямому и обратному отдельно груженых и порожних судов различных типов: самоходных и несамоходных, пассажирских и грузопассажирских, плотоводов, технического флота, шлюзуемых секций плотов и др. [1].

Количество судов каждого типа N_i , необходимых для перевозки своей доли грузов q_j , определяют по зависимости [3, 4, 6, 7]

$$N_i = \frac{q_j}{G_i \delta_i}, \frac{\text{судов}}{\text{навигацию}}, \quad (1.1)$$

где G_i – грузоподъемность судна i -го типа для перевозки грузов j -го вида;

δ_i – коэффициент использования грузоподъемности судов i -го типа за навигацию; значение δ_i изменяется в пределах 0,6–0,8.

Грузопотоки через шлюз в прямом и обратном направлении, как правило, отличаются по величине. Часть судов в обратном направлении идет порожняком. Если грузопотоки имеются в обоих направлениях [3], то есть существуют $q_{j(\text{п})}$ и $q_{j(\text{о})}$, то для нахождения числа порожних судов определяют отдельно количество судов i -го типа, необходимых для перевозок грузов в прямом направлении и обратном:

$$N_{i(\text{п})} = \frac{q_{j(\text{п})}}{G_i \delta_i}, \frac{\text{судов}}{\text{навигацию}} \quad (1.2)$$

и $N_{i(\text{о})} = \frac{q_{j(\text{о})}}{G_i \delta_i}, \frac{\text{судов}}{\text{навигацию}}.$

Тогда число порожних судов i -го типа будет равно

$$N_{i(\text{пор})} = \left| N_{i(\text{п})} - N_{i(\text{о})} \right|, \frac{\text{судов}}{\text{навигацию}}. \quad (1.3)$$

Сумма всех судов i -го типа при $N_{i(\text{п})} \geq N_{i(\text{о})}$ численно равна удвоенному числу судов, необходимых для перевозки грузов прямого направления.

Среднесуточный грузооборот по каждому виду грузов определяется как отношение навигационного грузооборота к длительности навигации в сутках, умноженное на коэффициент неравномерности подхода судов и плотов к шлюзам, принимаемый по данным анализа проектируемого грузооборота [1, 3, 4]:

$$n_i = \frac{N_{i(\text{п})} + N_{i(\text{о})} + N_{i(\text{пор})}}{T_{\text{нав}}}, \frac{\text{судов}}{\text{сутки}},$$

где $T_{\text{нав}}$ – длительность навигации в сутках, которая устанавливается с учетом ее продления при отрицательных температурах воздуха органами, регулирующими судоходство на внутренних водных путях;

φ – коэффициент неравномерности подхода судов к шлюзу из-за штормов, туманов, задержки погрузочно-разгрузочных операций и т. д. При отсутствии данных анализа проектируемого грузооборота коэффициент неравномерности φ допускается принимать: для судов – 1,3; плотов – 1,7.

Общее число плотов [3] определяют аналогично числу судов, то есть

$$N_{\text{пл}} = \frac{Q_{\text{др}}}{G_{\text{пл}}}, \frac{\text{плотов}}{\text{навигацию}}; \quad n_{\text{пл}} = \frac{N_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}}} \varphi, \frac{\text{плотов}}{\text{сутки}}, \quad (1.5)$$

где $Q_{\text{др}}$ – масса сплаваемой за навигацию древесины, т;

$G_{\text{пл}}$ – масса шлюзуемой секции плота, т;

$N_{\text{пл}}$ – число плотов, проходящих створ гидроузла за навигацию;

$n_{\text{пл}}$ – число плотов, проходящих створ гидроузла за сутки;

$T_{\text{пл}}$ – продолжительность навигации плотов; допускается принимать на 20–30 дней меньше, чем полную длительность физической навигации;

$\varphi = 1,7$ – коэффициент неравномерности подхода плотов.

Среднесуточный грузооборот $n_{\text{пас}}$ по пассажирскому флоту устанавливается на основе перечня пассажирских линий на перспективу с учетом частоты отправления судов по линиям.

Для шлюзов, строящихся на сверхмагистральных водных путях, должно предусматриваться две пары шлюзований технического флота в сутки $n_{\text{т}}$, а на водных путях местного значения – одна [1].

Тогда общее количество судов n , подлежащее пропуску через проектируемый шлюз в наиболее напряженный период навигации, определяют при помощи выражения

$$n = \sum n_i + n_{\text{пл}} + 2n_{\text{пас}} + 2n_{\text{т}}, \frac{\text{судов}}{\text{сутки}}, \quad (1.6)$$

где $\sum n_i$ – сумма всех грузовых судов, проходящих шлюз в течение суток.

При расчетах n для шлюзов на водных путях местного значения в формуле (1.6) следует исключать множитель 2 перед параметром $n_{\text{т}}$.

1.2. Определение необходимой пропускной способности

Данные о типах судов, пропускаемых через шлюз в течение суток, приводят в виде таблицы с разбивкой на несамоходные и самоходные, в том числе грузовые теплоходы, танкеры, буксиры, пассажирские суда водоизмещающие и скоростные (на подводных крыльях, на воздушной подушке, полуглиссирующие и т. д.), плоты и т. д. [2].

Примером такой таблицы является табл. 1.1 [2, с. 26].

Таблица 1.1

Данных о числе судов, проходящих через створ гидроузла
в наиболее напряженные сутки навигации

№ п/п	Тип судна	Грузоподъемность судна, т	Количество груженых судов в сутки, единиц		Количество порожних судов в сутки, единиц		Всего единиц флота в сутки		Суммарная грузоподъемность груженых судов, т
			в прямом направлении	в обратном направлении	в прямом направлении	в обратном направлении	в прямом направлении	в обратном направлении	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Грузовой теплоход проекта 1565	5000	7	1	-	6	7	7	40 000
2	Грузовой теплоход проекта 1565М	5500	4	2	-	2	4	4	33 000
3	Грузовой теплоход проекта 576	2000	6	1	-	5	6	6	14 000
4	Грузовой теплоход проекта 613	2360	3	1	-	2	3	3	9440
5	Секционный состав проекта 1787	7500	3	1	-	2	3	3	30 000
6	Секционный состав Р-156	10 000	4	2	-	2	4	4	60 000
7	Нефтеналивная баржа проекта Р-43	9200	5	-	-	5	5	5	46 000
			32	8	-	24	32	32	232 440
8	Буксир-толкач проекта 749	-					4	4	
9	Буксир-толкач проекта 758	-					8	8	
10	Пассажирское судно	-					3	3	

Расчеты по определению необходимого количества шлюзований в наиболее напряженные сутки производят на основании данных о максимальном числе судов и плотов, проходящих через шлюз, и о размерах его камеры. При сооружении гидроузла в каскаде уже действующих на реке гидроузлов, как правило, размеры камеры шлюза такого гидроузла принимают аналогичными уже существующим. При проектировании шлюза, являющегося первым на водном пути, принимают размеры, соответствующие размерам наибольшего из судов или составов, выбранных для обеспечения расчетного грузооборота. Из расчетных судов, подлежащих размещению в камере за одно шлюзование, формируют составы (комбинации), при которых наилучшим образом используется вся площадь зеркала воды в камере. Выбор возможных сочетаний судов на одно шлюзование производят с учетом общего количества судов тех или иных типов, а также плотов, подлежащих пропуску через шлюз. При этом учитывают, что одновременное шлюзование судов и плотов не допускается так же, как и шлюзование судов с нефтегрузами первой категории совместно с другими судами. Общее число составов с учетом того, что некоторые могут повторяться неоднократно, определяет число шлюзований в сутки, необходимых для пропуска всех судов через шлюз. В зависимости от того, сколько тонн груза (тонн тоннажа) в среднем находится в одной шлюзуемой группе, вычисляют необходимую грузопропускную способность шлюза.

Пример составления схем расстановки судов в камере шлюза, при которых наиболее полно используется площадь ее зеркала, дан на рис. 1.1 [2, с. 224].

Общее число шлюзований в сутки, требуемое для обеспечения расчетного грузооборота, должно быть сопоставлено с числом возможных шлюзований через данный шлюз.

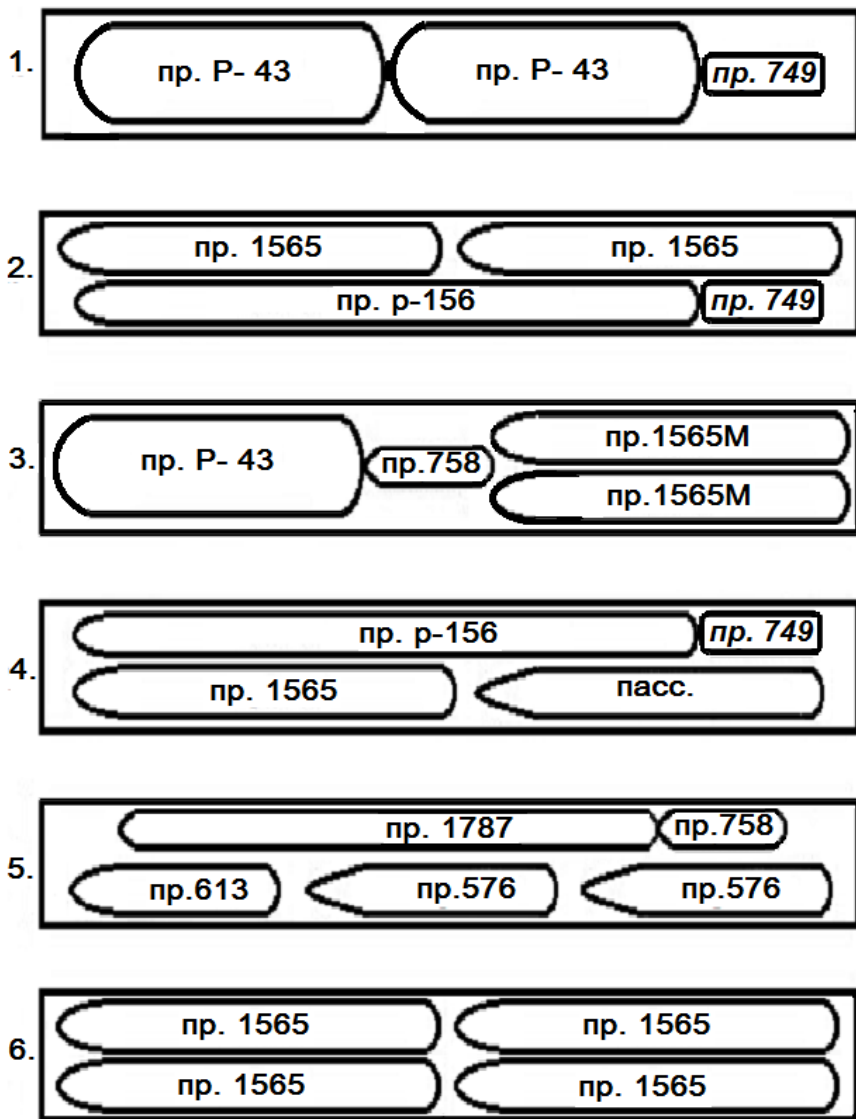


Рис. 1.1. Возможные схемы расстановки судов в камере шлюза для шлюзования

1.3. Определение возможной пропускной способности

1.3.1. *Определение продолжительности одного шлюзования*

Возможное количество шлюзований за выбранный период времени зависит от продолжительности одиночного шлюзования. При ее определении необходимо исходить из нижеприведенных следующих предпосылок [1]:

1. Пропуск судна производят через шлюз при одностороннем или двустороннем шлюзовании. При определении пропускной способности однониточных шлюзов число шлюзований для всех типов судов следует принимать 25 % при одностороннем шлюзовании и 75 % – при двустороннем; для плотов принимается только одностороннее шлюзование.

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

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

Для многокамерного шлюза во всех случаях добавляют операцию по переводу судов из одной камеры шлюза в другую.

4. Время на учалку судна $t_{уч}$ в шлюзе для всех судов, за исключением скоростных, принимают 2 мин, для скоростных судов – 0,5 мин. Учалку судов, как правило, выполняют одновременно с закрытием ворот. Если $t_{уч}$ не превышает время закрытия ворот, то в общем времени цикла его не учитывают.

5. Время наполнения $t_{\text{нап}}$ и опорожнения камер $t_{\text{оп}}$ шлюза определяют гидравлическими расчетами.

6. Время открытия $t_{\text{ов}}$ и закрытия ворот $t_{\text{зв}}$ шлюза следует определять на основании конструктивных разработок в зависимости от типа ворот и механизмов, высоты перекрываемого отверстия, а также ширины шлюза.

При предварительных расчетах продолжительности открытия и закрытия ворот $t_{\text{в}}$ допускается принимать одинаковыми:

– для плоских ворот – 2 мин при высоте перекрываемого отверстия $h_h \leq 5$ м; 2,5 мин – при $5 < h_h \leq 10$ м и 3 мин – при $h_h > 10$ м;

– для двустворчатых ворот – 2 мин при ширине камеры $b_c \leq 18$ м; 2,5 мин – при $18 < b_c \leq 30$ м и 3 мин – при $b_c > 30$ м.

7. Время входа судов в шлюз $t_{\text{вх}}$, выхода из него $t_{\text{вых}}$ и перевода из камеры в камеру $t_{\text{перев}}$ определяют в зависимости от скорости и длины пути их движения:

$$t_{\text{вх}} = l_{\text{вх}} / v_{\text{вх}}, \quad (1.7)$$

$$t_{\text{вых}} = l_{\text{вых}} / v_{\text{вых}}. \quad (1.8)$$

Скорости движения при входе в шлюз $v_{\text{вх}}$ и выходе из него $v_{\text{вых}}$ необходимо определять расчетом из условия обеспечения безопасности входа, выхода и стоянки судов у причала.

Для предварительных расчетов средние скорости движения судов на внутренних водных путях в шлюзе и на подходах к нему принимают по табл. 1.2.

Длину пути движения судна при входе $l_{\text{вх}}$ в шлюз и выходе из него $l_{\text{вых}}$ определяют положением его на подходах и в камере.

Начальное расчетное положение на подходе при одностороннем движении судов в каждом из направлений определяют допустимой величиной гидродинамической силы при наполнении

(опорожнении) камеры из подходного канала, при боковом заборе и выпуске воды – возможностью открытия ворот перед ним. При двустороннем движении судов начальное положение судна определяют возможностью расхождения со встречным судном.

Таблица 1.2

Средние скорости движения судов в шлюзе
и на подходах к нему

Шлюзуемый объект	Средняя скорость движения, м/с		
	Вход	Выход	Переход из одной камеры в другую
Скоростные суда	2,0	3,0	1,50
Самоходные суда	1,0	1,4	0,75
Толкаемые составы	0,9	1,2	0,75
Буксируемые составы	0,7	1,0	0,60
Плоты	0,6	0,6	0,50

Во всех случаях расстояние между судном и воротами не должно быть менее 5 м.

Положение последующих судов при выходе определяют: при одностороннем движении – возможностью закрытия ворот за ними, при двустороннем – расхождением со встречным судном, ожидающим шлюзования.

При одновременном шлюзовании нескольких судов длину пути движения следует определять по судну, которое входит в камеру шлюза и выходит из нее последним.

При переходе из камеры в камеру длину пути движения принимают равной длине камеры и средней головы шлюза.

При предварительных расчетах длину пути входа (выхода) расчетного судна, ожидающего шлюзования у причального сооружения в подходном канале, допускается принимать равной:

– при одностороннем движении судов в каждом из направлений

$$l_{\text{вх(вых)}} = l_{c,ef} (1 + \beta_1); \quad (1.9)$$

– при двустороннем движении судов в каждом из направлений

$$l_{\text{вх(вых)}} = l_{c,ef} (1 + \beta_2) + l_2, \quad (1.10)$$

где $l_{c,ef}$ – полезная длина камеры шлюза;

β_1 – коэффициент, принимаемый равным при входе 0,4, при выходе – 0,1;

β_2 – коэффициент, принимаемый равным 0,4, при входе и при выходе;

l_2 – длина участка, расхождения судов в уширенной части подходного канала.

8. Время шлюзования одиночного судна (состава из буксируемых или толкаемых судов) определяют по зависимости:

– при одностороннем шлюзовании

$$T_1 = t_{\text{вх}} + 4t_{\text{в}} + t_{\text{нап}} + t_{\text{оп}} + t_{\text{вых}}; \quad (1.11)$$

– при двустороннем шлюзовании

$$T_2 = \frac{1}{2} (2t_{\text{вх}} + 4t_{\text{в}} + t_{\text{нап}} + t_{\text{оп}} + 2t_{\text{вых}}). \quad (1.12)$$

9. Время шлюзования группы из k судов или составов [10]:

– при одностороннем шлюзовании

$$T_{1\text{шл гр}} = (1 + 0,1k) \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k T_{1,i}; \quad (1.13)$$

– при двустороннем шлюзовании

$$T_{2\text{шл гр}} = (1 + 0,1k) \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k T_{2,i}, \quad (1.14)$$

где $T_{1,i}$, $T_{2,i}$ – продолжительность шлюзования i -го судна из группы в минутах, соответственно, при одностороннем или двустороннем шлюзовании, вычисляемая по формулам (1.11), (1.12).

Если расчет длины входа и выхода судов производят по зависимостям (1.9) и (1.10), то время входа и выхода у всех судов группы будет одинаковым и тогда время шлюзования группы судов вычислят по зависимости

$$T_{1\text{шл гр}} = (1 + 0,1k)T_1 \quad \text{или} \quad T_{2\text{шл гр}} = (1 + 0,1k)T_2. \quad (1.15)$$

Если оператор шлюза сформировал шлюзуемую группу из трех теплоходов грузоподъемностью по 2000 т, то загрузка камеры увеличивается в три раза по сравнению со шлюзованием одного судна, а продолжительность шлюзования возрастает лишь на 30 % [10].

10. При определении возможного количества шлюзований через запроектированный шлюз при известной продолжительности одного шлюзования расчетный период (сутки, месяц, навигация) делят на продолжительность одного шлюзования, что дает число шлюзований в расчетный период. При этом необходимо учесть [8, 9] неравномерность движения судов по направлениям и по времени.

1.3.2. Расчет судопропускной способности шлюза

Наибольшее возможное количество шлюзований в сутки через запроектированный шлюз при трехсменной работе и полном использовании зеркала камеры может $n_{\text{в}}$ быть определено в соответствии с [8, 9] по формуле

$$n_{\text{в}} = \frac{1440(\varphi_{\text{п}} + \alpha\varphi_{\text{о}})}{T_1(\varphi_{\text{п}} - \alpha\varphi_{\text{о}}) + T_2 2\alpha\varphi_{\text{о}}}, \quad \frac{\text{составов}}{\text{сутки}}, \quad (1.16)$$

где 1440 – количество минут в сутках;

$\varphi_{\text{п}}$, $\varphi_{\text{о}}$, α , – коэффициенты, соответственно, неравномерности движения судов в прямом направлении, обратном, в прямом и обратном направлениях. Вычисляются по формулам:

$$\alpha = \frac{(m_{\text{о}})_{\text{ср}}}{(m_{\text{п}})_{\text{ср}}}, \quad \varphi_{\text{п}} = \frac{n_{\text{п}}}{(m_{\text{п}})_{\text{ср}}}, \quad \varphi_{\text{о}} = \frac{n_{\text{о}}}{(m_{\text{о}})_{\text{ср}}},$$

где $(m_{\text{о}})_{\text{ср}}$, $(m_{\text{п}})_{\text{ср}}$ – среднее за навигацию число составов (судов) в сутки в обратном и прямом направлениях;

$n_{\text{о}}$, $n_{\text{п}}$ – число составов и судов в сутки, проходящих через проектируемый шлюз в наиболее напряженный период навигации в обратном и прямом направлениях.

В курсовом проекте α может быть принято в пределах 0,8–1,0; $\varphi_{\text{п}}$ – в пределах 1,2–1,3; $\varphi_{\text{о}}$ – 1,1–1,2.

При расчете количества шлюзований групп из k судов или составов в формулу (1.16) вместо T_1 и T_2 подставляют и $T_{1\text{шл гр}}$ и $T_{2\text{шл гр}}$.

Технически возможную судопропускную способность шлюза за навигацию определяют по формуле

$$N_{\text{т}} = n_{\text{в}} T_{\text{нав}}, \quad \frac{\text{составов}}{\text{навигацию}}, \quad (1.17)$$

где $T_{\text{нав}}$ – длительность навигации в сутках.

Действительная судопропускная способность шлюза за навигацию

$$N_{\text{д}} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 N_{\text{т}}, \quad \frac{\text{составов}}{\text{навигацию}}, \quad (1.18)$$

где η_1 – коэффициент полезного действия шлюза [9]:

$$\eta_1 = \frac{1 + \alpha}{\varphi_n + \alpha\varphi_0};$$

η_2 – коэффициент использования площади зеркала камеры; при предварительных расчетах может быть принят равным 0,85–0,95;

η_3 – коэффициент использования времени суток:

$$\eta_3 = \frac{T_{\text{раб}}}{24},$$

где $T_{\text{раб}}$ – время работы шлюза.

В соответствии с [1] грузо- и судопропускную способность шлюзов должны определять при работе шлюза, в среднем, в течение 23 ч в сутки.

Если технически возможная судопропускная способность шлюза принятых в первом приближении габаритов меньше количества требуемых шлюзований, следует рассматривать шлюз с камерой увеличенных габаритов или две нитки шлюзов.

Выбор между этими двумя вариантами должен быть сделан с учетом намечаемого способа организации перевозок в отдельных судах или составах. Поскольку, кроме отдельных случаев, перевозка в составах является более эффективной и производительной, как правило, следует принимать однопонтоный шлюз, рассчитанный на шлюзование двух одиночных расчетных судов или расчетного состава из двух или более барж с буксиром-толкачом [2].

1.3.3. Определение грузопропускной способности шлюза

Определяют технически возможную грузопропускную способность шлюза, исходя из того, что шлюз пропускает только грузовые суда с полной загрузкой:

$$P_T = N_d G, \frac{\text{ТОНН}}{\text{навигацию}}, \quad (1.19)$$

где G – плановая грузоподъемность шлюзуемого состава в тоннах, проходящего через шлюз при одном шлюзовании, которую определяют как сумму грузоподъемностей G_i судов, входящих в состав. При известных типах расчетных судов G_i принимают по их техническим характеристикам. В рамках курсового проектирования грузоподъемности G_i могут быть вычислены по формуле

$$G_i = \gamma \varphi l_s b_s (S - S_{\text{п}}), \quad (1.20)$$

где $\gamma = 1 \frac{\text{Т}}{\text{М}^3}$ – объемная масса воды;

$\varphi = 0,85-0,90$ – коэффициент полноты водоизмещения грузовых судов внутреннего плавания;

l_s – длина расчетного судна;

b_s – ширина расчетного судна;

S – осадка расчетного судна в полном грузу;

$S_{\text{п}}$ – осадка порожнего судна; $S_{\text{п}} = (0,2-0,4)S$.

Действительная грузопропускная способность шлюза

$$P_d = \delta \eta_4 P_T, \frac{\text{ТОНН}}{\text{навигацию}}, \quad (1.21)$$

где δ – коэффициент использования грузоподъемности судов; значение может быть принято в пределах 0,6–0,8;

η_4 – коэффициент, учитывающий долю грузовых судов в общем числе судов, проходящих через шлюз за навигацию, и принимаемый в соответствии с [1] равным 0,75.

1.3.4. Последовательность расчета возможной судовой грузопропускной способности шлюза

1. Путем изучения пп. 1.3.1–1.3.3 и задания на проектирование определяют состав исходных данных для расчета.

2. Выполняют по п. 4–6 пп. 1.3.1 определение продолжительности составляющих $t_{\text{уч}}$, $t_{\text{нап}}$, $t_{\text{оп}}$, $t_{\text{в}}$ цикла одностороннего и двустороннего шлюзования.

3. Выполняют по п. 7 пп. 1.3.1 (см. табл. 1.2) определение скорости движения судна при входе в шлюз $v_{\text{вх}}$ и выходе из него $v_{\text{вых}}$ и расчет по формулам (1.9), (1.10) длины пути движения судна при входе $l_{\text{вх}}$ в шлюз и выходе из него $l_{\text{вых}}$ в условиях одностороннего и двустороннего шлюзования.

4. Выполняют вычисление по п. 7 пп. 1.3.1 (формулы (1.7), (1.8)) составляющих $t_{\text{вх}}$, $t_{\text{вых}}$ цикла одностороннего и двустороннего шлюзования.

5. Выполняют вычисление по п. 8 пп. 1.3.1 (формулы (1.11), (1.12)) времени шлюзования в условиях одностороннего T_1 и двустороннего шлюзования T_2 .

6. Выполняют вычисление по п. 9 пп. 1.3.1 (формулы (1.13), (1.14) или (1.15)) времени шлюзования группы из k судов или составов в условиях одностороннего $T_{1\text{шл гр}}$ и двустороннего шлюзования $T_{2\text{шл гр}}$, если в задании на проектирование заданы два и более одиночных судна или два и более составов, шлюзуемых одновременно.

7. Выполняют по пп. 1.3.2 (формулы (1.16)–(1.18)) расчет наибольшего возможного количества шлюзований в сутки $n_{\text{в}}$ через запроектированный шлюз при трехсменной работе и полном использовании зеркала камеры, технически $N_{\text{т}}$ и действительно возможной $N_{\text{д}}$ судопропускной способности шлюза за навигацию.

8. Выполняют по пп. 1.3.3 (формулы (1.20), (1.21)) расчет технически $P_{\text{т}}$ и действительно возможной $P_{\text{д}}$ грузопропускной способности шлюза за навигацию.

Раздел 2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВОЗМОЖНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

В соответствии с учебными программами дисциплин «Водные пути и порты», «Водные пути и технический флот» в курсовом проекте проектируют судоходный шлюз на вновь осваиваемой для судоходства реке, где он является первым. Поэтому в предыдущих разделах курсового проекта размеры шлюза запроектированы исходя из размеров наибольшего состава, предполагаемого для эксплуатации на данном водном пути. Целью расчета пропускной способности судоходного шлюза в рамках курсового проекта является получение эксплуатационных показателей для оценки возможности обеспечения предполагаемого грузооборота.

Исходные данные в задании на курсовое проектирование:

- расчетный состав – два грузовых теплохода;
- длина расчетных судов $l_{s1} = l_{s2} = 72,8$ м;
- ширина расчетных судов $b_{s1} = b_{s2} = 10$ м;
- осадка расчетных судов в полном грузу $S_1 = S_2 = 1,28$ м;
- продолжительность навигации – 200 суток.

Исходные данные для расчета, полученные в предыдущих разделах курсового проекта:

- полезная длина камеры шлюза $l_{c,ef} = 100$ м;
- полезная ширина камеры $b_{c,ef} = 12$ м;
- длина второго участка подходного канала $l_2 = 138,7$ м;
- время наполнения камеры шлюза – 6,0 мин;
- время опорожнения камеры шлюза – 5,8 мин;
- тип ворот в верхней голове – плоские подъемно-опускные, высотой 4,9 м;
- тип ворот в нижней голове – плоские, двухстворчатые.

Порядок расчета.

1. Время учалки судна в камере в соответствии с [1] принимают $t_{уч} = 2$ мин, так как по заданию в качестве расчетных судов заданы нескоростные суда. Время наполнения $t_{нап} = 6,0$ мин

и опорожнения $t_{\text{оп}} = 5,8$ мин получены в результате гидравлического расчета. Время открытия $t_{\text{об}}$ и закрытия $t_{\text{зв}}$ плоских подъемно-опускных ворот верхней головы в соответствии с [1] принимают одинаковыми и равными $t_{\text{в}} = 2$ мин, так как ворота имеют высоту менее 5 м. Время открытия $t_{\text{об}}$ и закрытия $t_{\text{зв}}$ двухстворчатых ворот нижней головы в соответствии с [1] принимают одинаковыми и равными $t_{\text{в}} = 2$ мин, так как $b_{c,ef} = 12$ м, что меньше 18 м.

2. Скорость движения судна при входе в шлюз $v_{\text{вх}} = 1,0$ м/с и выходе из него $v_{\text{вых}} = 1,4$ м/с принимают по табл. 2.2, как для самоходных судов. Длины пути движения судна при входе $l_{\text{вх}}$ в шлюз и выходе из него $l_{\text{вых}}$ в условиях одностороннего шлюзования определяют по (1.9) и равны:

$$l_{\text{вх}} = l_{c,ef} (1 + \beta_1) = 100(1 + 0,4) = 140 \text{ м,}$$

$$l_{\text{вых}} = l_{c,ef} (1 + \beta_1) = 100(1 + 0,1) = 110 \text{ м,}$$

где $\beta_1 = 0,4$ – при входе;

$\beta_1 = 0,1$ – при выходе.

Длину пути движения судна при входе $l_{\text{вх}}$ в шлюз и выходе из него $l_{\text{вых}}$ в условиях двустороннего шлюзования определяют по (1.10):

$$l_{\text{вх}} = l_{\text{вых}} = l_{c,ef} (1 + \beta_2) + l_2 = 100(1 + 0,4) + 138,7 = 278,7 \text{ м,}$$

где $\beta_2 = 0,4$ – при входе и выходе.

3. Время, необходимое судну на вход в камеру шлюза $t_{\text{вх}}$, и время, необходимое судну на выход из камеры шлюза $t_{\text{вых}}$, в условиях одностороннего шлюзования вычисляют по (1.7) и (1.8):

$$t_{\text{ВХ}} = \frac{l_{\text{ВХ}}}{v_{\text{ВЫХ}}} = \frac{140}{1,0} = 140 \text{ с} = 2,3 \text{ мин};$$

$$t_{\text{ВЫХ}} = \frac{l_{\text{ВЫХ}}}{v_{\text{ВЫХ}}} = \frac{110}{1,4} = 78,6 \text{ с} = 1,3 \text{ мин}.$$

Время, необходимое судну на вход в камеру шлюза $t_{\text{ВХ}}$, и время, необходимое судну на выход из камеры шлюза $t_{\text{ВЫХ}}$, в условиях двустороннего шлюзования вычисляют по (1.7) и (1.8):

$$t_{\text{ВХ}} = \frac{l_{\text{ВХ}}}{v_{\text{ВХ}}} = \frac{278,7}{1,0} = 278,7 \text{ с} = 4,6 \text{ мин};$$

$$t_{\text{ВЫХ}} = \frac{l_{\text{ВЫХ}}}{v_{\text{ВЫХ}}} = \frac{278,7}{1,4} = 199,1 \text{ с} = 3,3 \text{ мин}.$$

4. Время шлюзования одного судна из заданной группы судов (состава) в условиях одностороннего шлюзования T_1 вычисляют по (1.11):

$$\begin{aligned} T_1 &= t_{\text{ВХ}} + 4t_{\text{В}} + t_{\text{нап}} + t_{\text{оп}} + t_{\text{ВЫХ}} = \\ &= 2,3 + 4 \cdot 2,0 + 6,0 + 5,8 + 1,3 = 23,4 \text{ мин}. \end{aligned}$$

Время на учалку не входит в сумму времен, так как оно равно времени закрытия ворот.

Время шлюзования одного судна из заданного состава в условиях двустороннего шлюзования T_2 вычисляют по (1.12):

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{1}{2}(2t_{\text{ВХ}} + 4t_{\text{В}} + t_{\text{н}} + t_{\text{оп}} + 2t_{\text{ВЫХ}}) = \\ &= \frac{1}{2}(2 \cdot 4,6 + 4 \cdot 2,0 + 6,0 + 5,8 + 2 \cdot 3,3) = 17,8 \text{ мин}. \end{aligned}$$

5. Время шлюзования состава из $k = 2$ самоходных судов в условиях одностороннего шлюзования $T_{1\text{шл гр}}$ вычисляются по (1.15):

$$T_{1\text{шл гр}} = (1 + 0,1k)T_1 = (1 + 0,1 \cdot 2) \cdot 23,4 = 28,1 \text{ мин.}$$

Время шлюзования состава из $k = 2$ самоходных судов в условиях двустороннего шлюзования $T_{2\text{шл гр}}$ вычисляются по (1.15):

$$T_{2\text{шл гр}} = (1 + 0,1k)T_2 = (1 + 0,1 \cdot 2) \cdot 17,8 = 21,4 \text{ мин.}$$

6. Наибольшее возможное количество шлюзований в сутки через запроектированный шлюз при трехсменной работе и полном использовании зеркала камеры $n_{\text{в}}$ вычисляются по формуле (1.16):

$$\begin{aligned} n_{\text{в}} &= \frac{1440(\varphi_{\text{п}} + \alpha\varphi_{\text{о}})}{T_{1\text{шл гр}}(\varphi_{\text{п}} - \alpha\varphi_{\text{о}}) + T_{2\text{шл гр}}2\alpha\varphi_{\text{о}}} = \\ &= \frac{1440(1,2 + 0,9 \cdot 1,1)}{28,1(1,2 - 0,9 \cdot 1,1) + 21,4 \cdot 2 \cdot 0,9 \cdot 1,1} = 66 \frac{\text{составов}}{\text{сутки}}, \end{aligned}$$

где α , $\varphi_{\text{п}}$, $\varphi_{\text{о}}$ – приняты, соответственно, равными 0,9; 1,2; 1,1.

Технически возможную судопропускную способность шлюза за навигацию $N_{\text{т}}$ вычисляются по формуле (1.17):

$$N_{\text{т}} = n_{\text{в}}T_{\text{нав}} = 66 \cdot 200 = 13\,200 \frac{\text{составов}}{\text{навигацию}},$$

где $T_{\text{нав}}$ – длительность навигации в сутках; по заданию равна 200 суток.

Действительно возможную судопропускную способность шлюза за навигацию $N_{\text{д}}$ вычисляются по формуле (1.18):

$$N_{\text{д}} = \eta_1\eta_2\eta_3N_{\text{т}} = 0,87 \cdot 0,90 \cdot 0,96 \cdot 13\,200 = 9923 \frac{\text{составов}}{\text{навигацию}},$$

где η_1 – коэффициент полезного действия шлюза [9]:

$$\eta_1 = \frac{1 + \alpha}{\varphi_n + \alpha\varphi_0} = \frac{1 + 0,9}{1,2 + 0,9 \cdot 1,1} = 0,87;$$

η_2 – коэффициент использования площади зеркала камеры; принят равным 0,90;

η_3 – коэффициент использования времени суток:

$$\eta_3 = \frac{T_{\text{раб}}}{24} = \frac{23}{24} = 0,96,$$

где $T_{\text{раб}}$ – время работы шлюза; в соответствии с [1] принято равным 23 ч в сутки.

6. Технически возможную грузопропускную способность шлюза P_T вычисляют по формуле (1.19):

$$P_T = N_D G = 9923 \cdot 1048 = 10\,399\,304 \frac{\text{тонн}}{\text{навигацию}},$$

где G – плановая грузоподъемность шлюзуемой группы судов в тоннах, проходящих через шлюз при одном шлюзовании, которая определяется как сумма грузоподъемностей G_k грузовых судов, входящих в группу:

$$G_k = \gamma \varphi l_s b_s (S - S_{\text{п}}) = 1 \cdot 0,8 \cdot 72,8 \cdot 10(1,28 - 0,38) = 524 \text{ т};$$

$$G = 2 \cdot 524 = 1048 \text{ т},$$

где $\gamma = 1 \frac{\text{т}}{\text{м}^2}$ – объемная масса воды;

$\varphi = 0,8$ – коэффициент полноты водоизмещения грузовых судов внутреннего плавания;

l_s – длина расчетного судна; $l_s = 72,8$ м;

b_s – ширина расчетного судна; $b_s = 10$ м;

S – осадка расчетного судна в полном грузу; $S = 1,28$ м;

S_{Π} – осадка порожнего судна; $S_{\Pi} = 0,3 \cdot S = 0,3 \cdot 1,28 = 0,38$.

Вычисляют действительную грузопропускную способность шлюза по (1.21):

$$\begin{aligned} P_d &= \delta \eta_4 P_T = 0,7 \cdot 0,75 \cdot 10\,399\,304 = \\ &= 5\,459\,635 \frac{\text{тонн}}{\text{навигацию}}, \end{aligned} \quad (1.21)$$

где δ – коэффициент использования грузоподъемности судов; принят 0,7;

η_4 – коэффициент, учитывающий долю грузовых судов в общем числе судов, проходящих через шлюз за навигацию, и принимаемый в соответствии с [1] равным 0,75.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения : ТКП 45-3.04-171–2009 (022550). – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010. – 56 с.
2. Пособие по проектированию судоходных шлюзов к СНиП 2.06.07–87. – Москва: Гидропроект, 1988. – 352 с.
3. Гарибин, П. А. Речные судоходные шлюзы (типы шлюзов, системы питания и пропускная способность) : учебное пособие / П. А. Гарибин, С. А. Головков. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2009. – 133 с.
4. Кононов, В. В. Гидротехнические сооружения водных путей, портов и континентального шельфа : учебно-методическое пособие : в 2 ч. / В. В. Кононов. – Санкт-Петербург: СПГУВК, 2009. – Ч. 1: Судоходный канал и бетонный шлюз. – 141 с.
5. Методические указания по выполнению курсового проекта «Судоходный шлюз» по дисциплине «Водные пути и порты» для студентов дневного, вечернего и заочного обучения специальности 1203 «Гидротехническое строительство речных сооружений и ГЭС» / сост. Е. М. Левкевич. – Минск: БПИ, 1986. – 70 с.
6. Методические указания к выполнению курсового проекта судоходного шлюза по дисциплинам «Гидротехнические сооружения водного транспорта и континентального шельфа» и «Гидротехнические сооружения водного транспорта» для студентов, обучающихся по направлению 270800 «Строительство» (профиль «Гидротехническое строительство», квалификация – бакалавр) и по специальности 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений» (специализация «Строительство гидротехнических сооружений повышенной ответственности», квалификация – специалист) / сост. С. Н. Левачев [и др.]; М-во образования и науки Российской Федерации,

Московский государственный строительный университет. – Москва: МГСУ, 2014. – 64 с.

7. Михайлов, А. В. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа: в 2 ч. / А. В. Михайлов. – Москва: АСВ, 2004. – Ч. 1: Внутренние водные пути. – 448 с.

8. Перехвальский, В. С. Расчет судоходного шлюза / В. С. Перехвальский. – Москва: Транспорт, 1965, – 155 с.

9. Семанов, Н. А. Судоходные каналы, шлюзы и судоподъемники / Н. А. Семанов, Н. Н. Варламов, В. В. Баланин. – Москва: Транспорт, 1970, – 352 с.

10. Шишкин, А. А. Повышение эффективности использования флота в шлюзованных системах : автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19 / А. А. Шишкин. – Нижний Новгород: ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. – 24 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРУЗОБОРОТА, СУДОБОРОТА И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ШЛЮЗОВ	4
1.1. Определение количества судов, подлежащих пропуску через проектируемый шлюз	5
1.2. Определение необходимой пропускной способности	8
1.3. Определение возможной пропускной способности	12
Раздел 2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВОЗМОЖНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ	21
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	27

Учебное издание

БОГДАНОВИЧ Михаил Иванович

**РАСЧЕТ СУДО- И ГРУЗОПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ
СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ**

Пособие по выполнению курсового проекта
на тему «Судоходный шлюз»
по дисциплинам «Водные пути и порты», «Водные пути
и технический флот» для студентов специальности 1-70 04 01
«Водохозяйственное строительство»

Редактор *Т. В. Грищенкова*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 29.09.2017. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,74. Уч.-изд. л. 1,36. Тираж 100. Заказ 986.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.