

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Гидротехническое и энергетическое строительство»

М. И. Богданович

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
СТЕН КАМЕР СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

Методическое 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»

Минск
БНТУ
2013

УДК 626.41/.46:378.147.091.313(075.8)

ББК 39.471я7

Б73

Р е ц е н з е н т ы :

канд. техн. наук *Н. Н. Линкевич*;

канд. техн. наук *С. П. Гатилло*

Богданович, М. И.

Б73 Статический расчет стен камер судоходных шлюзов : методическое 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» / М. И. Богданович. – Минск : БНТУ, 2013. – 37 с.

ISBN 978-985-550-116-0.

В пособии содержатся рекомендации и пояснения по выполнению разделов курсового проекта на тему «Судоходный шлюз», посвященных проектированию камеры шлюза.

Даны рекомендации по установлению класса сооружения, выбору расчетного случая, сочетания нагрузок. Изложена методика определения обобщенных параметров для оценки наступления предельных состояний и корректирующих коэффициентов. Представлена последовательность выполнения оценки наступления предельного состояния по прочности стен камер шлюза.

УДК 626.41/.46:378.147.091.313(075.8)

ББК 39.471я7

ISBN 978-985-550-116-0

© Белорусский национальный
технический университет, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Студентами специальности 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство» специализаций 1-70 04 01 01 «Гидротехническое строительство» и 1-70 04 01 02 «Водные пути и порты» выполняется курсовой проект на тему «Судоходный шлюз». В двух разделах проекта студенты сначала конструируют камеру, а потом выполняют статический расчет.

На этапе конструирования студентами может использоваться ранее изданное методическое пособие [1]. Данное методическое пособие призвано облегчить работу студентов над статическим расчетом, в нем представлены нормы проектирования, связанные со статическим расчетом камер судоходных шлюзов и взятые из ТКП, СНиП, различных учебников и учебных пособий (см. список использованных источников).

Камеры судоходных шлюзов, как и другие гидротехнические сооружения, рассчитываются по методу предельных состояний. Наступление предельного состояния оценивается по соотношению между расчетным обобщенным силовым воздействием на камеру шлюза и расчетной обобщенной несущей способностью сооружения или основания. При этом обобщенные параметры корректируются несколькими коэффициентами, значение которых зависят от таких факторов, как назначение сооружений, их класс, группа предельных состояний, возможное отклонение нагрузок в неблагоприятную сторону, особенности работы сооружения, его элементов и основания, вид предельного состояния, приближенность расчетных схем и т. д.

Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

В рамках статического расчета на основе анализа конструкции сооружения, предполагаемой его работы под нагрузкой и с учетом требований [2, 3] необходимо определить виды расчетов, которые требуется выполнить по группам предельных состояний. Это позволяет выбрать обобщенные параметры для оценки наступления соответствующего предельного состояния, которая выполняется в соответствии с [2] по условию

$$K_n n_c N_p \leq mR, \quad (1.1)$$

где N_p – расчетное значение обобщенного силового воздействия;

R – расчетное значение обобщенной несущей способности;

K_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, учитывающий его класс, недостаточную изученность действительной работы сооружений и оснований и последствия при наступлении предельных состояний;

n_c – коэффициент сочетания нагрузок;

m – коэффициент условий работы сооружений, учитывающий особенности работы сооружения, его элементов и основания, вид предельного состояния, приближенность расчетных схем, перераспределение силовых факторов и деформаций.

Назначение коэффициентов K_n , n_c , m , корректирующих обобщенные параметры, требует предварительного установления класса сооружения, выбора расчетного случая и определения состава соответствующих ему нагрузок и рассматривается в п. 1.5.

1.1. Обобщенные параметры для оценки наступления предельных состояний камер судоходных шлюзов

Судоходные шлюзы, как и другие гидротехнические сооружения, рассчитываются по методу предельных состояний. Расчеты производятся по двум группам предельных состояний [3]. В табл. 1.1 дана их краткая характеристика.

Таблица 1.1

Характеристика предельных состояний сооружений

Расчетное состояние сооружения	Степень нарушения условий эксплуатации	Причины возникновения	Оцениваемые при расчете факторы
1	2	3	4
Первая группа предельных состояний	Полная непригодность к эксплуатации	Хрупкое, усталостное или пластическое разрушение материала сооружений или основания, крупные трещины и т. д.	Общая прочность и устойчивость системы сооружение–основание; общая фильтрационная прочность оснований; для отдельных видов сооружений – всплывание; прочность отдельных элементов сооружений, разрушение которых приводит к прекращению эксплуатации сооружений; неравномерность перемещений различных участков основания, приводящих к невозможности дальнейшей эксплуатации сооружения

1	2	3	4
Вторая группа предельных состояний	Непригодность к нормальной эксплуатации	Увеличение фильтрации и противодействия, раскрытие трещин, недопустимые деформации и т. п.	Местная прочность оснований, ограничение перемещений и деформаций, образование и раскрытие трещин, местная фильтрационная прочность отдельных элементов сооружений, не рассматриваемых по первой группе предельных состояний

Анализируя работу сооружения и предельные состояния, выбирают параметры, позволяющие оценить факторы, представленные в табл. 1.1. Например, для камер шлюзов с отдельно стоящими стенами при работе под нагрузкой возможна потеря устойчивости в виде сдвига по основанию или опрокидывания стены, поэтому для оценки наступления предельных состояний сооружения в качестве обобщенных параметров устойчивости используются соответственно суммы сдвигающих $F_{сд}$ и удерживающих сил $F_{уд}$ и суммы моментов сил, стремящихся опрокинуть $M_{оп}$ и удержать сооружение $M_{уд}$. Для камер шлюзов докового типа вероятность сдвига или опрокидывания мала, поэтому в состав факторов, оцениваемых при статическом расчете, устойчивость на сдвиг и опрокидывание не включаются. В плоской задаче для таких камер выполняется проверка на всплывание при основном и особом сочетании нагрузок [4]. При этом параметрами для оценки устойчивости является сумма сил, отрывающих конструкцию от основания F_t при наивысшем уровне воды за стенами и F_r – сумма сил, удерживающих ее. Для камер шлюзов всех типов выполняется

оценка прочности стен и днища. Для этого в качестве расчетного обобщенного силового воздействия используются напряжения σ , возникающие в стенах и днище, а расчетной обобщенной несущей способности – расчетное сопротивление бетона R_b или бетона и арматуры $R_b + R_s$ (для железобетонных конструкций).

Расчеты сооружений небольшой протяженности, непрямолинейных в плане, переменной высоты, с переменной высотой засыпки, с неоднородным вдоль сооружения основанием или засыпкой или другими переменными параметрами следует производить как для пространственной конструкции (для всего сооружения или его секции, ограниченной постоянными деформационными швами, с учетом взаимодействия с соседними сооружениями или конструкциями). **Если параметры сооружения, основания и засыпки не изменяются на протяжении более трех высот сооружения, расчеты допускаются производить на единицу его длины [4].**

1.2. Классы сооружений судоходных шлюзов

Судоходные шлюзы и их сооружения подразделяются на временные и постоянные [2]. К временным относятся шлюзы или их сооружения, используемые только в период строительства и ремонта постоянных сооружений. Примером временных шлюзов могут служить шлюзы в гидроузлах, предназначенные для пропуска судов и плотов только в период строительства и обеспечивающие преодоление ими перепада уровней при промежуточных отметках верхнего бьефа. Временными сооружениями постоянных судоходных шлюзов могут быть причальные и направляющие сооружения, обеспечивающие судоходство через постоянные шлюзы только в период строительства при уровнях ниже постоянных навигационных. К временным сооружениям относятся также перемычки, временные оградительные стенки и дамбы, котлованы и др.

Постоянные сооружения судоходных шлюзов подразделяются на основные и второстепенные, в зависимости от назначения. Сооружения, разрушение или повреждение которых приводит к прекращению судоходства или сокращению пропускной способности шлюза, относятся к основным. Это головы и камеры, противофильтрационные и дренажные устройства, сооружения системы питания, причальные и направляющие сооружения, подпорные стены, подходные каналы, сооружения, сопрягающие судоходные шлюзы с другими сооружениями гидроузла и входящие в состав напорного фронта. Второстепенные гидротехнические сооружения судоходных шлюзов – это сопрягающие подпорные стены, не входящие в состав напорного фронта, струенаправляющие и отдельные стенки и дамбы, отдельно стоящие служебно-вспомогательные причалы и другие сооружения, не перечисленные в составе основных гидротехнических сооружений.

Как указано в ТКП «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования» [2], классы гидротехнических сооружений (в том числе и классы сооружений судоходных шлюзов) назначаются в зависимости от возможных последствий их разрушения или нарушения требований эксплуатации.

Последствия разрушения сооружений должны оцениваться с учетом:

- наличия в нижнем бьефе городов, населенных пунктов, предприятий и объектов народного хозяйства и т. п.;
- наибольшей высоты водоподпорных сооружений и вида грунтов оснований;
- объемов и назначения водохранилищ;
- обеспечения безопасности плавания судов различного назначения;
- геологического, топографического строения района возведения и др.

Последствия нарушения эксплуатации гидротехнических сооружений судоходных шлюзов следует оценивать также с учетом ущерба, наносимого народному хозяйству нарушением работы речного транспорта.

Согласно [2, 4, 5] класс основных гидротехнических сооружений судоходного шлюза следует принимать по более высокому его значению, определяемому по табл. 1.2 и 1.3. Класс второстепенных сооружений и класс сооружений судоходных шлюзов определяются по табл. 1.3 в зависимости от последствий нарушения их эксплуатации.

Таблица 1.2

Классы сооружений судоходных шлюзов
в зависимости от последствий разрушения сооружений

Наименование сооружений	Виды грунтов основания	Классы сооружений			
		I	II	III	IV
		Высота сооружений H_c , м			
Сооружения судоходных шлюзов, участвующие в создании напорного фронта	Скальные грунты	более 100	от 60 до 100	от 25 до 60	менее 25
	Песчаные, крупно-обломочные и глинистые грунты в твердом и полутвердом состоянии	более 50	от 25 до 50	от 10 до 25	менее 10
	Глинистые, водонасыщенные в пластичном состоянии	более 25	от 20 до 25	от 10 до 20	менее 10

Примечание. Высота сооружений принимается равной высоте отдельных конструкций судоходного шлюза (голов, секций камер) в наиболее заглубленной их части как разность отметок верха сооружения (голов или пришлюзовых площадок, исключая парапеты

и другие конструкции, расположенные выше) и подошвы сооружений (без учета местных заглоблений в основании, таких как зубья).

Таблица 1.3

Классы сооружений судоходных шлюзов
в зависимости от последствий нарушения их эксплуатации

Классификационная группа водного пути	Глубина судового хода, м		Классы сооружений	
	гарантированная	средненавигационная	основных	второстепенных
Сверхмагистральные	свыше 2,5	свыше 2,9	II	III
Магистральные	1,5–2,5	1,7–2,9	III	IV
Местного значения	менее 1,5	менее 1,7	III	IV

Примечание. Если по гарантированной и средненавигационной глубине судового хода участок водного пути относится к разным классам, то следует относить его к более высокому из этих классов.

Класс основных гидротехнических сооружений шлюзов, входящих в состав напорного фронта комплексного гидроузла, устанавливается как для участника, показатели которого соответствуют более высокому классу.

При совмещении двух или нескольких отдельных сооружений различного назначения (например, причальных с оградительными) классы сооружений следует устанавливать по сооружению, соответствующему более высокому классу.

Временные гидротехнические сооружения шлюзов, как правило, следует относить к IV классу. В случае, если разрушение этих сооружений может вызвать последствия катастрофического характера для строительной площадки, населенных пунктов и предприятий или вызвать значительную задержку

возведения основных сооружений объектов I, II классов, при надлежащем обосновании они могут быть отнесены к III классу.

1.3. Расчетные случаи

Основной особенностью статической работы камер судоходных шлюзов является то, что действующий на них напор передается при наполнении и опорожнении попеременно: то на одни, то на другие части сооружения [4]. При этом очень быстро, в течение нескольких минут, действующий напор то возрастает от нуля до наибольшего расчетного значения, то снова снижается до нуля. Изменения же уровней воды в обратных засыпках шлюзов происходит по сравнению с изменением уровней воды в камерах весьма медленно – в течение многих часов и даже суток. Поэтому при проектировании отдельных частей шлюзов рассматривают два нормальных эксплуатационных расчетных случая их работы:

1. *Эксплуатационный случай I* (рис. 1, а).

Камера наполнена до наивысшего судоходного уровня, уровень грунтовых вод за стенами находится на наинизшем уровне, имеет место навал F_q судна на стену при минимальной силе давления грунта E за стеной.

2. *Эксплуатационный случай II* (рис. 1, б).

Камера опорожнена до наинизшего судоходного уровня, уровень грунтовых вод за стенами находится на наивысшем уровне при нормальной работе дренажных устройств и максимальной силе давления грунта E за стеной.

Для периода ремонта и возможных аварийных ситуаций рассматриваются следующие случаи:

1. *Ремонтный случай* (рис. 1, в).

Камера осушена, уровень грунтовых вод за стенами находится на наивысшем уровне.

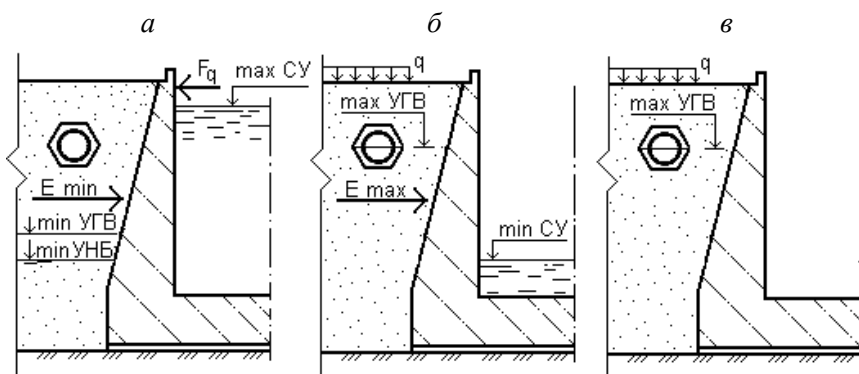


Рис. 1. Расчетные случаи для конструкций камер и голов шлюзов:
a – первый эксплуатационный с наполненной камерой; *б* – второй эксплуатационный опорожненной камерой; *в* – ремонтный осушенной камерой;
 F_q – сила навала расчетного судна; q – кратковременная нагрузка

2. Аварийно-ремонтные случаи:

1) камера наполнена, обратная засыпка частично удалена (желательно рассмотреть случай удаления засыпки до дна дренажа);

2) камера осушена, уровень грунтовых вод в засыпке на наивысшем уровне.

Аварийно-ремонтные случаи не являются определяющими и имеют поверочный характер. В результате расчетов в первом случае устанавливается минимальная отметка верха обратной засыпки, а во втором – максимальный уровень грунтовых вод, при котором возможно производить ремонт, не превышая при этом расчетных значений напряжений в бетоне и арматуре, полученных для других расчетных случаев.

Строительный случай, определяется схемой производства работ, этапами возведения шлюза и выполнения обратной засыпки. При этом уровень грунтовых вод в засыпке принимается в естественных условиях, если дренаж еще не работает. Размер наименьшей допустимой засыпки ко времени возведения сооружения на полную высоту должен устанавливаться

в проекте таким образом, чтобы этот случай не был расчетным. Для камер с временной разрезкой днища на период строительства необходимо производить расчет в строительном случае при двух этапах работы камеры: до замоноличивания временного шва по оси камеры и после его замоноличивания.

1.4. Нагрузки, воздействия и их сочетания

Нагрузки, воздействия и их сочетания должны определяться согласно требованиям действующих нормативных документов в основном и особом сочетаниях.

При расчетах на основные сочетания нагрузок и воздействий следует учитывать постоянные, временные длительные, кратковременные нагрузки.

А. Постоянные нагрузки и воздействия:

1) собственный вес сооружения, включая вес постоянного технологического оборудования (затворы, подъемные механизмы и пр.), местоположение которого не меняется в процессе эксплуатации, определяемый по проектным размерам, удельному весу материалов сооружения и технической документации на оборудование;

2) вес грунта, постоянно расположенного на сооружении, определяемый по проектным размерам и удельному весу грунтов с учетом их влажности в условиях возведения и эксплуатации сооружений;

3) боковое давление грунта, возникающее от действия собственного веса грунта, постоянных и длительных временных нагрузок, действующих на поверхности грунта, которое может быть определено по ТКП 45–3.04–171 [3];

4) силовое воздействие воды, в том числе фильтрационное, при установившихся расчетных уровнях со стороны лицевой и тыловой граней подпорной стены и стен шлюзов, при нормальной работе противофильтрационных и дренажных устройств, определяемое по СНиП 2.02.02–85 [6];

5) предварительное напряжение конструкции или ее анкерных устройств, определяемое по СНиП 2.06.08–87 [7].

Б. Временные длительные нагрузки и воздействия:

1) силовое воздействие воды налицевую грань стены камеры шлюза при наивысшем уровне воды основного расчетного случая или уровне наполненной камеры шлюза;

2) температурные воздействия, соответствующие изменениям среднемесячных температур окружающей среды для среднего по температурным условиям года, определяемые для бетонных и железобетонных конструкций по СНиП 2.06.08–87 [7];

3) дополнительное (реактивное) боковое давление грунта на подпорные стены и стены камер шлюзов, возникающее от действия длительных временных нагрузок, определяемое по ТКП 45-3.04–171 [3].

В. Кратковременные нагрузки и воздействия:

1) нагрузки от транспортных воздействий, строительных и перегрузочных механизмов и складываемых грузов (в зависимости от эксплуатационных условий данные нагрузки могут быть отнесены к временным длительным), определяемые по СНиП 2.01.07–85 [8];

2) нагрузки от судов (навал, натяжение швартовых тросов) при расчетных скоростях подхода судов, определяемые по ТКП 45–3.04–170 [9] и ТКП 45–3.04–171 [3];

3) нагрузки от волн, определяемые в соответствии с ТКП 45–3.04–170 [9] при средней многолетней скорости ветра;

4) ледовые нагрузки, определяемые в соответствии с ТКП 45–3.04–170 [9] для средней многолетней толщины льда;

5) гидродинамические, пульсационные нагрузки воды, определяемые на основании гидравлических лабораторных исследований.

При расчетах на особые сочетания нагрузок и воздействий следует учитывать постоянные, временные длительные, кратковременные и одну из следующих особых нагрузок и воздействий:

- сейсмические воздействия;
- силовое воздействие воды, в том числе фильтрационное, при форсированном уровне воды в водоеме (поверочный расчетный случай), соответствующем уровне нижнего бьефа, в случае нарушения нормальной работы противофильтрационных и дренажных устройств – до 50 % полной эффективности (взамен п. 4 категории А);
- температурные воздействия, определяемые для года с максимальной амплитудой колебаний среднемесячных температур, а также для года с максимально низкой среднемесячной температурой (взамен п. 2 категории Б);
- волновое воздействие, определяемое при максимальной расчетной скорости ветра обеспеченностью 2 % – для сооружений I и II классов и 4 % – для сооружений III и IV классов (взамен п. 3 категории В);
- ледовые нагрузки, определяемые при максимальной многолетней толщине или прорыве заторов в зимних попусках воды в нижнем бьефе (взамен п. 4 категории В);
- воздействия, вызванные взрывами вблизи проектируемого сооружения.

В основные и особые сочетания нагрузок и воздействий следует включать только те из кратковременных нагрузок и воздействий, которые могут действовать одновременно.

При соответствующем обосновании допускается не учитывать кратковременные нагрузки редкой повторяемости в расчетах по предельным состояниям второй группы.

Нагрузки и воздействия должны приниматься в наиболее неблагоприятных, но возможных сочетаниях и соответствовать рассматриваемому расчетному случаю.

Коэффициенты надежности по нагрузкам n_n принимают в соответствии с ТКП 45–3.04–169 [2]. В табл. 1.4 представлены значения n_n , непосредственно приведенные в этом документе и взятые из нормативных документов библиографических ссылок в [2].

Таблица 1.4

Коэффициенты надежности по нагрузке

№ п/п	Наименование нагрузок и воздействий	n_n
1	Собственный вес сооружения	1,05 (0,95)
2	Собственный вес обделок	1,2 (0,8)
3	Вертикальное давление веса грунта	1,1 (0,9)
4	Боковое давление грунта	1,2 (0,8)
5	Давление наносов	1,2
6	Гидростатическое и волновое давление, давление фильтрационных вод по подземному контуру, в швах и расчетных сечениях (противодавление)	1,0
7	Вертикальные и горизонтальные нагрузки от подъемных, погрузочных и транспортных механизмов, а также от веса людей, складских грузов и оборудования	1,2
8	Снеговые нагрузки	1,4
9	Ветровые нагрузки	1,2
10	Ледовые нагрузки	1,1
11	Нагрузки от судов	1,2
12	Температурные и влажностные воздействия	1,1
13	Сейсмические воздействия	1,1

Примечание. Указанные в скобках значения коэффициента надежности по нагрузке n_n относятся к случаям, когда применение минимального значения коэффициентов приводит к невыгодному загрузению сооружения.

1.5. Корректирующие коэффициенты

Для оценки наступления предельных состояний по выражению (1.1) значения коэффициентов K_n , n_c , m , корректирующих параметры N_p и R , выбираются с учетом данных, изложенных в п. 1.2–1.4 по ТКП 45–3.04–169–2009 [2].

Коэффициент надежности по ответственности сооружения K_n , учитывающий его класс, недостаточную изученность действительной работы сооружений и оснований и последствия при наступлении предельных состояний, принимается по табл. 1.5.

Таблица 1.5

Коэффициенты надежности
по ответственности сооружения

Группа предельных состояний	Класс сооружений	Коэффициент надежности по ответственности сооружения K_n
Первая группа	I	1,25
	II	1,2
	III	1,15
	IV	1,05
Вторая группа	I–IV	1,0

Коэффициент сочетания нагрузок n_c принимается в зависимости от рассматриваемого расчетного случая и сочетания нагрузок [4]. Для эксплуатационного расчетного случая при основном сочетании нагрузок $n_c = 1,0$, при особом – $n_c = 0,9$. Для строительного и ремонтного случая $n_c = 0,95$ при обоих сочетаниях нагрузок.

Коэффициент условий работы сооружений m , учитывающий особенности работы сооружения, его элементов и основания, вид предельного состояния, приближенность расчетных схем, перераспределение силовых факторов и деформаций. Значение принимается в соответствии с нормативными документами по видам расчетов. Например, при расчетах на опрокидывание подпорных стен судоводных шлюзов m принимается равным единице (табл. 5 СНиП 2.02.02–85 [6]). При расчете прочности бетонных и железобетонных конструкций

ГТС m принимается по СНиП 2.06.08–87 [7]. Значения из [7] приведены в табл. 1.6 и 1.7.

Таблица 1.6

Коэффициенты условий работы бетонных
и железобетонных конструкций

Факторы, обуславливающие введение коэффициентов условий работы	Коэффициенты условий работы бетона	
	условное обозначение	значение
Особые сочетания нагрузок для бетонных конструкций	m_{b1}	1,1
Многokrатное повторение нагрузки	m_{b2}	см. табл. 1.7
Железобетонные конструкции	m_{b3}	1,1
Бетонные конструкции: – внецентренно сжатые элементы, не подверженные действию агрессивной среды и не воспринимающие напор воды, рассчитываемые без учета сопротивления растянутой зоны сечения; – другие бетонные элементы	m_{b4}	1,2
	m_{b4}	0,9

Примечание. При наличии нескольких факторов, действующих одновременно, в расчет вводится произведение соответствующих коэффициентов условий работы. Произведение должно быть не менее 0,45.

Таблица 1.7

Коэффициенты условий работы бетонных и железобетонных конструкций при многократном повторении нагрузки m_{b2}

Состояние бетона по влажности	Коэффициент асимметрии цикла p_b							
	0–0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	$\geq 0,8$
Естественной влажности	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0
Водонасыщенный	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,85	0,95	1,0

Коэффициент асимметрии цикла определяется по формуле

$$p_b = \sigma_{b \min} / \sigma_{b \max},$$

где $\sigma_{b \min}$ и $\sigma_{b \max}$ – соответственно наименьшее и наибольшее напряжения в бетоне в пределах цикла изменения нагрузки.

Раздел 2. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КАМЕРЫ ШЛЮЗА

Выполнение полного статического расчета камеры в рамках курсового проекта по причине его значительного объема не представляется возможным. Поэтому программами дисциплин «Водные пути и порты», «Водные пути и технический флот» в содержании курсового проекта предусматривается оценка прочности стен камеры докового типа по первой группе предельных состояний с учетом необходимости ее армирования. Расчет должен быть выполнен для ремонтного расчетного случая (рис. 1, в) в условиях плоской задачи, считая, что профиль земляной массы и прочие факторы, определяющие нагрузки на стены камеры, являются постоянными и расчет ведется для ее участка длиной $l_n = 1$ м, ограниченного двумя вертикальными плоскостями, перпендикулярными продольной оси камеры. При этом считается, что камера находится под воздействием симметричных относительно той же оси и постоянных по длине камеры нагрузок.

Оценка должна быть выполнена по выражению (1.1), в котором в качестве расчетного значения обобщенного силового воздействия необходимо использовать σ_3 и σ_1 – соответственно максимальные главные сжимающие и растягивающие напряжения, а в качестве расчетного значения обобщенной несущей способности R_b и R_{bt} – расчетное сопротивление бетона сжатию и растяжению.

Выполнение расчета включает следующие этапы:

1. Определение класса капитальности сооружения и коэффициента надежности по ответственности сооружения.
2. Составление расчетной схемы.
3. Определение нагрузок на камерные стены и усилий в них.
4. Определение усилий в расчетных сечениях.
5. Оценка наступления предельного состояния.

2.1. Определение класса капитальности сооружения и коэффициента надежности по ответственности сооружения

Выполняется по п. 1.2. Высота сооружения H_c определяется как разность отметок верха стены камеры и низа фундамента:

$$H_c = \downarrow_{\text{верха}} - \downarrow_{\text{низ фундамента}}.$$

Вид грунта основания принимается по заданию на курсовое проектирование. С учетом H_c и грунта основания по табл. 1.2 определяется класс сооружения в первом приближении. По табл. 1.3 также определяют класс сооружений, относя камеру шлюза к основным сооружениям. При этом в качестве гарантированной глубины судового хода на водном пути в рамках курсового проекта следует принять глубину на порогах шлюза h_l , а классификационную группу водного пути в соответствии с принятой ранее при определении превышения верха стены над расчетным уровнем воды верхнего бьефа. Из двух полученных значений в дальнейших расчетах принимается более высокий класс. Коэффициент надежности по ответственности сооружения K_n необходимо принять по табл. 1.5 с учетом класса сооружения для расчетов по первой группе предельных состояний.

2.2. Составление расчетной схемы

В соответствии с принятой в предыдущем разделе курсового проекта конструкцией камеры составляется расчетная схема (рис. 2). На схеме намечаются расчетные сечения, в которых необходимо оценить прочность стены. Первое сечение принимается на уровне верха стены, остальные назначаются ниже: на уровнях переломов тыловой грани стены и смены физико-механических свойств грунта обратной засыпки. Если расстояния между сечениями оказываются более 10 м, то между ними вводится дополнительное сечение. Сечениям присваиваются номера $i = 0, 1, 2, \dots, n$. На уровне каждого сечения проводятся горизонтальные линии, которые делят обратную засыпку на слои толщиной Δu_i с удельным весом $\gamma_{\text{гр}i}$.

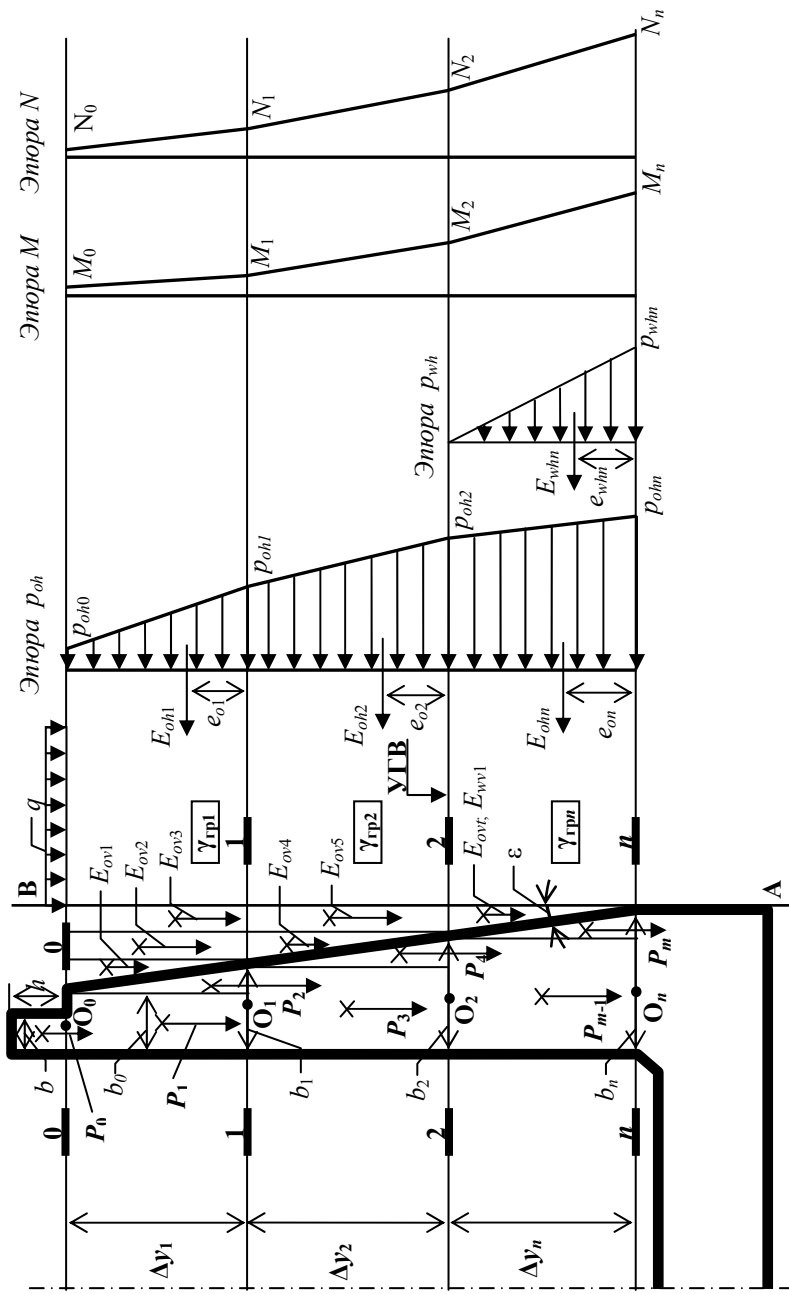


Рис. 2. Схема к расчету усилий в поперечных сечениях стен камеры шлюза докового типа

В точке пересечения сечения $n-n$ с тыловой гранью стены проводится вертикальная линия AB , являющаяся проекцией условной вертикальной плоскости, используемой при вычислении давления грунта и воды на стену. Поперечное сечение стены и площадь между AB и тыловой гранью делят на простые элементы прямоугольной и треугольной формы для определения собственного веса стены и веса грунта засыпки. Далее определяют центры тяжести элементов с указанием векторов сил веса. Схема должна быть выполнена в таком масштабе, чтобы можно было обозначить плечи сил относительно центров тяжести расчетных сечений O_n .

2.3. Определение нагрузок на камерные стены и усилий в них

Расчет в курсовом проекте ведется для основного сочетания нагрузок. В него входят постоянные, временные длительные и кратковременные нагрузки. В соответствии с принятым ремонтным случаем из нагрузок, представленных в п. 1.4, учитываются следующие:

1) постоянные:

- собственный вес сооружения;
- боковое давление грунта;
- давление фильтрационных вод по подземному контуру сооружения.

2) временные длительные:

- дополнительное (реактивное) давление грунта, вызываемое перемещением стены в сторону грунта засыпки под воздействием температурных перепадов окружающей среды;

3) кратковременные:

- нагрузки от транспортных воздействий, строительных и перегрузочных механизмов и складированных грузов на поверхности засыпки.

Расчет нагрузок ведется с учетом коэффициентов надежности по нагрузкам n_n , принимаемым для каждой нагрузки по табл. 1.4.

Определение кратковременной нагрузки.

Нагрузки от транспортных воздействий, строительных и перегрузочных механизмов, складываемых грузов на поверхности засыпки стен камер шлюзов определяются путем суммирования нормативных значений из разделов СНиП 2.01.07–85 [8], соответствующим перечисленным нагрузкам. На расчетной схеме стены камеры шлюза (рис. 2) ее принимают равномерно распределенной, расположенной на засыпке правее вертикальной расчетной плоскости АВ. Значение нагрузки q при возможности проезда по пришлюзовой площадке автотранспорта, складирования на ней материалов для ремонта, нахождения людей, подъемно-транспортного оборудования принимается в пределах 15–20 кПа [4, 10]. Коэффициент надежности по нагрузкам для кратковременной нагрузки $n_{1,q}$ принимается по табл. 1.4 ($n_{н,q} = 1,2$).

Вычисление собственного веса сооружения.

Поперечное сечение стены на расчетной схеме разбивается на элементы площадью $S_k^{с.в}$. Вес каждого элемента вычисляется по формуле

$$P_k = S_k^{с.в} l_n \gamma_б n_{н.с.в},$$

где $k = 0, 1, 2, \dots, m$ – номера элементов, составляющих поперечное сечение стены;

$\gamma_б = 24 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес бетона;

$n_{н.с.в}$ – коэффициент надежности по нагрузкам для собственного веса сооружения, принимается по табл. 1.4;

$S_k^{с.в}$ – площадь элемента поперечного сечения стены, м².

Если элементы поперечного сечения стены имеют прямоугольную форму (например, сечение $n-n$ на рис. 2), то их площадь вычисляется по формуле

$$S_{m-1}^{с.в} = \Delta y_n b_{n-1}.$$

А если элементы треугольные, то по формуле

$$S_m^{с.в} = 0,5 \Delta y_n (b_n - b_{n-1}).$$

Плечо силы веса прямоугольного элемента стены с номером $m - 1$ относительно центра тяжести O_n вычисляется по формуле

$$e_{m-1 O_n} = 0,5(b_n - b_{n-1}).$$

Плечо силы веса треугольного элемента стены с номером m относительно центра тяжести O_n вычисляется по формуле

$$e_m O_n = 0,5b_n - 0,67(b_n - b_{n-1}).$$

Вычисление давления грунта

Выполняется по ТКП 45–3.04–171 [3]. В соответствии с п. 8.1.5 этого документа основное давление грунта на расчетную плоскость следует определять при расчетах прочности, деформаций и перемещений гравитационных подпорных стен и стен камер шлюзов, как правило, принимая грунт в допредельном напряженном состоянии (давление покоя). В кур-

совом проекте предусматривается оценка прочности стен камеры, поэтому вычисляется давление грунта в состоянии покоя, как наибольшее из возможных.

При горизонтальных слоях грунта и равномерно распределенной нагрузке на поверхности грунта q в соответствии с [3, приложение Л] определяются горизонтальная E_{ohi} и вертикальная E_{ovi} составляющие силы давления грунта, действующей над i -м сечением.

Горизонтальная составляющая вычисляется как равнодействующая эпюры интенсивности давления p_{oh} в пределах i -го слоя засыпки на жесткую, не смещаемую в горизонтальном направлении плоскость AB (рис. 2):

$$E_{ohi} = 0,5(p_{ohi-1} + p_{ohi}) \Delta y_i l_n n_{н.д.г},$$

где $n_{н.д.г}$ – коэффициент надежности по нагрузкам для бокового давления грунта, принимается по табл. 1.4.

i – номер рассматриваемого сечения стены;

p_{ohi} – интенсивность давления на жесткую, не смещаемую в горизонтальном направлении вертикальную плоскость AB на уровне i -го сечения, которая определяется по формуле

$$p_{ohi} = p_{yi} \lambda_{oh},$$

где λ_{oh} – коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя.

$$\lambda_{oh} = \frac{\nu}{1 - \nu},$$

где ν – коэффициент поперечной деформации грунта. При отсутствии опытных данных принимается равным 0,3 [6];

p_{yi} – интенсивность вертикального давления в грунте на уровне i -го сечения, определяемая по формуле

$$p_{yi} = \sum_{i=1}^n \gamma_{\text{гpi}} \Delta y_i + q n_{\text{н.}q},$$

где $\gamma_{\text{гpi}}$ – объемный вес грунта i -го слоя обратной засыпки, в кН/м^3 . В слоях грунта, расположенных выше уровня грунтовых вод (УГВ), считается находящимся в состоянии естественной влажности, а ниже – во взвешенном состоянии;

Δy_i – высота i -го слоя грунта;

q – интенсивность кратковременной нагрузки на поверхности засыпки;

$n_{\text{н.}q}$ – коэффициент надежности по нагрузкам для кратковременной нагрузки, принимается по табл. 1.4.

Положение E_{ohi} относительно центра тяжести рассматриваемого сечения определяется по формуле

$$e_{oi} = \frac{\Delta y_i}{3} \cdot \frac{p_{ohi} + 2p_{ohi-1}}{p_{ohi} + p_{ohi-1}}.$$

Вертикальная составляющая давления грунта вычисляется с учетом того, что в ремонтном случае кратковременную нагрузку q располагают правее условной вертикали AB (рис. 2). Левее линии AB не учитывают нагрузку q , так как она уменьшает величины изгибающих моментов в расчетных сечениях стены [10, 11]. Тогда вертикальная составляющая давления грунта, действующая в рассматриваемом сечении, равна весу грунта, расположенного над этим сечением. Ее вычисление производится путем суммирования веса всех элементов, выделенных в плоскости между тыловой гранью стены и линией AB , и расположенных над рассматриваемым сечением (рис. 2).

Так, например, над сечением 1-1 располагается элемент грунта с весом E_{ov1} , над сечением 2-2 – элементы с весом E_{ov1} , E_{ov2} , E_{ov4} . Следовательно, вертикальная составляющая давления грунта в сечении 1-1 будет равна E_{ov1} , а в сечении 2-2 – сумме E_{ov1} , E_{ov2} и E_{ov4} . Вес элемента грунта вычисляется по формуле

$$E_{ovk} = S_k^{\text{ГР}} \gamma_{\text{ГР}i} l_n n_{\text{н.д.Г}},$$

где $k = 1, 2, \dots, t$ – номера элементов, составляющих поперечное сечение грунта между тыловой гранью стены и плоскостью AB ;

$\gamma_{\text{ГР}i}$ – удельный вес грунта в слое засыпки, где располагается элемент грунта с номером k ;

$S_k^{\text{ГР}}$ – площадь элемента грунта с номером k .

Если элементы имеют треугольную форму, то их площадь например применительно к элементу $S_t^{\text{ГР}}$ (рис. 2) вычисляется по формуле

$$S_t^{\text{ГР}} = 0,5 \Delta y_n^2 \text{tg} \varepsilon. \quad (2.1)$$

где ε – угол между плоскостью AB и тыловой гранью стены.

Площадь всех прямоугольных элементов, имеющих ту же ширину, что и основание треугольного элемента t и других, расположенных над ним, вычисляется по формуле

$$S_k^{\text{ГР}} = \Delta y_i \Delta y_n \text{tg} \varepsilon.$$

Плечо силы веса треугольного элемента грунта с номером t относительно центра тяжести O_n вычисляется по формуле

$$e_{tO} = 0,5 b_n - 0,33 \Delta y_n \text{tg} \varepsilon. \quad (2.2)$$

Плечо силы веса прямоугольных элементов грунта, расположенных над треугольным элементом относительно центра тяжести O_n , вычисляется по формуле

$$e_{t-1} O_n = 0,5b_n - 0,5\Delta y_n \operatorname{tg} \varepsilon .$$

*Вычисление дополнительного (реактивного)
давления грунта*

Дополнительное давление ухудшает работу конструкции камер шлюзов в тех расчетных случаях, когда камера опорожнена [10]. В курсовом проекте в качестве временной длительной нагрузки принимается боковое реактивное давление грунта, вызванное перемещением стены в сторону грунта засыпки под воздействием сезонного изменения температуры окружающей среды. При расчетах конструкций III и IV, а также предварительных расчетах сооружений I и II класса, действие дополнительного реактивного давления при песчаных грунтах засыпки от изменения расчетной температуры консольных конструкций допускается рассчитывать путем умножения изгибающего момента от основного давления грунта в состоянии покоя на коэффициент k_r .

Значение коэффициента может быть получено расчетным путем по формуле [4, 10]:

$$k_r = \beta \sqrt{H_{\text{ст}}} \Delta t_d ,$$

где β – коэффициент, зависящий от жесткости камеры и типа днища: для стен камер с неразрезным днищем $\beta = 0,002$, для стен камер с разрезным днищем $\beta = 0,001$;

Δt_d – расчетный перепад температуры в стене, $^{\circ}\text{C}$.

Расчетный перепад температуры в стене вычисляется по зависимости [10]

$$\Delta t_d = 0,8(T_{\text{к}} - 10^{\circ}),$$

где T_k – температура воздуха в камере, принимается как расчетная наибольшая летняя среднемесячная температура за время наблюдений на ближайшем к проектируемому шлюзу метеорологическом пункте наблюдений по таблице СНиП 2.01.01–82 [12]. Для Республики Беларусь $T_k = 17,2–18,8$ °С [12].

Также необходимо учитывать моменты относительно центра тяжести i -го сечения, вызванные реактивным давлением грунта:

$$M_{Er} = k_r M_{Eoi} \frac{n_{н.р.д}}{n_{н.д.г}},$$

где M_{Eoi} – сумма моментов от вертикальной и горизонтальной составляющих основного давления грунта i -го сечения;

$n_{н.р.д}$ – коэффициент надежности по нагрузкам от температурных воздействий, принимается по табл. 1.4.

Вычисление давления воды

В ремонтном случае, когда камера шлюза опорожнена, вода воздействует на стены со стороны засыпки, начиная с уровня УГВ и ниже. Гидростатическое давление, как и основное давление грунта, раскладывается на две составляющие: горизонтальную – E_{whi} и вертикальную – E_{wvi} .

Вертикальная составляющая давления воды E_{wvi} вычисляется как вес воды в объеме грунта над расчетным сечением

$$E_{wvk} = S_k^B \gamma_B l_n n_{н.в},$$

где γ_B – удельный вес воды, кН/м³

$n_{н.в}$ – коэффициент надежности по нагрузкам для гидростатического давления воды, принимаемый по табл. 1.4.

S_k^B – площадь k -го элемента грунта ниже УГВ над i -м сечением, вычисляем по формуле (2.1). При этом плечо силы веса воды вычисляется по формуле (2.2).

Горизонтальная составляющая гидростатического давления воды E_{whi} вычисляется как равнодействующая части эпюры p_{whi} интенсивности гидростатического давления в пределах i -го слоя обратной засыпки (рис. 2) по формуле

$$E_{whi} = 0,5(p_{whi-1} + p_{whi}) \Delta y_i l_n n_{н.в.},$$

где p_{whi} – интенсивность давления воды на жесткую, не смещаемую в горизонтальном направлении, вертикальную плоскость AB на уровне i -го сечения

$$p_{whi} = \sum_{i=k}^n \gamma_{в} \Delta y_i,$$

где k – номер первого из слоев грунта ряда $i = 0, 1, 2, \dots, n$, расположенного под УГВ. Плечо силы E_{whi} определяется так же, как и для горизонтальной составляющей давления грунта.

2.4. Определение усилий в расчетных сечениях

В качестве расчетного значения обобщенного силового воздействия на стены камеры в курсовом проекте необходимо использовать $\sigma_{1,3}$ – максимальные главные соответственно растягивающие и сжимающие напряжения. Для их вычисления в каждом расчетном сечении (рис. 2) необходимо знать сумму вертикальных сил N , действующих на него, а также сумму моментов M вертикальных и горизонтальных сил относительно центра тяжести сечения. Вычисление сумм N и M производится в табличном виде. Растягивающие силы и напряжения необходимо принять со знаком плюс, сжимающие – со знаком минус, моменты по часовой стрелке – со знаком минус, против часовой – со знаком плюс.

Напряжения σ_{1i} и σ_{3i} в i -м сечении на задней и передней гранях стены камеры иллюза вычисляются по формуле

$$\sigma_{1i,3i} = \frac{1}{2}(\sigma_{xi} + \sigma_{yi}) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{xi} - \sigma_{yi})^2 + 4\tau_i^2},$$

где σ_{yi} и σ_{xi} – нормальные напряжения в расчетном сечении.

Нормальные напряжения в расчетном сечении для задней грани:

$$\sigma_{yi} = \frac{N_i}{b_i} + \frac{6M_i}{b_i^2};$$

$$\sigma_{xi} = (\sigma_{yi} - p_{yi}) \operatorname{tg}^2 \varepsilon + p_{ohi},$$

$$\tau_i = (p_{yi} - \sigma_{yi}) \operatorname{tg} \varepsilon,$$

(выше УГВ);

$$\sigma_{xi} = (\sigma_{yi} - p_{yi} - p_{whi}) \operatorname{tg}^2 \varepsilon + p_{ohi} + p_{whi},$$

$$\tau_i = (p_{yi} - \sigma_{yi} + p_{whi}) \operatorname{tg} \varepsilon$$

(ниже УГВ),

где p_{yi} – интенсивность вертикального давления грунта над i -м сечением;

p_{ohi} – интенсивность горизонтальной составляющей давления грунта в i -м сечении;

p_{whi} – интенсивность горизонтальной составляющей давления воды в i -м сечении.

Нормальные напряжения в расчетном сечении для передней грани:

в ремонтном случае при вертикальной передней грани и отсутствии в камере воды τ_i и σ_{xi} равны нулю, следовательно главные напряжения σ_{3i} в сечениях равны нормальным σ_{yi} :

$$\sigma_{yi} = \frac{N_i}{b_i} - \frac{6M_i}{b_i^2}.$$

2.5. Оценка наступления предельного состояния

Оценка наступления предельного состояния выполняется по условию прочности для задней наклонной и передней вертикальной грани. Исходя из схемы нагрузок на стену, можно предположить, что бетон на задней грани будет работать на условиях растяжения, а на передней – сжатия. Тогда будут соблюдаться следующие условия, на основе которых делается вывод об устойчивости стены в расчетных сечениях и необходимости ее армирования:

- для задней грани $K_n n_c \sigma_{1i} \leq mR_{bt}$;
- для передней грани $K_n n_c \sigma_{3i} \leq mR_b$,

где σ_{1i} и σ_{3i} – максимальные главные соответственно сжимающие и растягивающие напряжения на задней и передней гранях стены в расчетных сечениях, МПа;

R_b и R_{bt} – расчетные сопротивления бетона сжатию и растяжению, МПа. Принимается по табл. 3 СНиП 2.06.08–87 для предельных состояний первой группы не ниже, чем для марки бетона В15 [7].

Корректирующие коэффициенты K_n , n_c , m принимаются по п. 1.5.

В случае невыполнения вышеприведенных неравенств необходимо выполнить одно из следующих действий:

- изменить марку бетона, увеличив R_{bt} и R_b ;
- изменить толщину стены;
- произвести армирование стены.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богданович, М. И. Конструкции камер судоходных шлюзов : методическое 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», 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта» / М. И. Богданович. – Минск : БНТУ, 2012. – 34 с.

2. Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45–3.04–169–2009 (02250). – Минск : Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь, 2010. – 56 с.

3. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: ТКП 45–3.04–171–2009 (022550). – Минск : Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь, 2010. – 56 с.

4. Пособие по проектированию судоходных шлюзов к СНиП 2.06.07–87. – М. : Гидропроект, 1988. – 352 с.

5. Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования : ГОСТ 26775–97 / Госстрой России. – М. : ЦИТП Госстроя России, 1998. – 25 с.

6. Основания гидротехнических сооружений СНиП 2.02.02–85 / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 45 с.

7. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений : СНиП 2.06.08–87 / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 30 с.

8. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07–85 / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 35 с.

9. Гидротехнические сооружения. Правила определения нагрузок и воздействий (волновых, ледовых и от судов) : ТКП 45–3.04–170–2009 (02250). – Минск : Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь, 2010. – 56 с.

10. Михайлов, А. В. Внутренние водные пути / А. В. Михайлов / Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа / А. В. Михайлов. – М. : АСВ, 2004. – 448 с.

11. Михайлов, А. В. Внутренние водные пути / А. В. Михайлов. – М. : Стройиздат, 1973. – 328 с.

12. Строительная климатология и геофизика : СНиП 2.01.01–82.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА.....	4
1.1. Обобщенные параметры для оценки наступления предельных состояний камер судоходных шлюзов.....	5
1.2. Классы сооружений судоходных шлюзов.....	7
1.3. Расчетные случаи.....	11
1.4. Нагрузки, воздействия и их сочетания. . . .	13
1.5. Корректирующие коэффициенты.....	16
Раздел 2. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КАМЕРЫ ШЛЮЗА.....	20
2.1. Определение класса капитальности сооружения и коэффициента надежности по ответственности сооружения.....	21
2.2. Составление расчетной схемы.....	21
2.3. Определение нагрузок на камерные стены и усилий в них.....	23
2.4. Определение усилий в расчетных сечениях.....	31
2.5. Оценка наступления предельного состояния.....	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	34