

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

С.В. Соболев, К.С. Трошин

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза на ЭВМ

Учебно-методическое пособие
к выполнению курсовых проектов
и выпускных квалификационных работ
для обучающихся по специальности 08.05.01 Строительство
уникальных зданий и сооружений, специализация
Строительство гидротехнических сооружений
повышенной ответственности и по направлению 08.03.01
Строительство, профиль Гидротехническое, геотехническое
и энергетическое строительство



Нижегород
2022

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

С.В. Соболев, К.С. Трошин

**Гидравлический расчет
системы питания судоходного шлюза
на ЭВМ**

Учебно-методическое пособие
к выполнению курсовых проектов
и выпускных квалификационных работ
для обучающихся по специальности 08.05.01 Строительство
уникальных зданий и сооружений, специализация
Строительство гидротехнических сооружений
повышенной ответственности и по направлению 08.03.01
Строительство, профиль Гидротехническое, геотехническое
и энергетическое строительство

Нижегород
ННГАСУ
2022

УДК 626/627

Соболь С.В., Трошин К.С. Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза на ЭВМ [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пос. / С.В. Соболь, К.С. Трошин; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2022. – 77 с.1электрон. опт. диск (CD-R).

Описаны методики гидравлического расчета распределительной и головной систем наполнения – опорожнения судоходного шлюза, реализованные в программе для выполнения расчета на персональном компьютере.

Пособие предназначено обучающимся в ННГАСУ по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, специализация Строительство гидротехнических сооружений повышенной ответственности и по направлению 08.03.01 Строительство, профиль Гидротехническое, геотехническое и энергетическое строительство.

©С.В. Соболь, К.С. Трошин, 2022
©ННГАСУ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1. Простая распределительная система питания шлюза	7
1.1. Исходные данные для гидравлического расчета	7
1.1.1. Уровни воды в бьефах	7
1.1.2. Расчетный состав судов.....	7
1.1.3. Допустимое время наполнения камеры.....	7
1.1.4. Основные размеры шлюза	7
1.1.5 Система питания и предъявляемые к ней требования	8
1.2. Методика гидравлического расчета простой распределительной системы питания	9
1.2.1. Определение времени наполнения (опорожнения) камеры	9
1.2.2. Определение размеров водопроводных галерей и выпусков воды в камеру	11
1.2.3. Построение гидравлических характеристик системы питания....	13
1.3. Компьютерная программа расчета простой распределительной системы питания с примером	18
1.3.1. Указания к работе с программой.....	18
1.3.2. Иллюстрация работы программы на примере расчета	18
1.3.3. Получение результатов расчета.....	40
2. Головная система питания шлюза с наполнением из-под щита и опорожнением через короткие обходные галереи в нижний бьеф.....	41
2.1. Исходные данные для гидравлического расчета	41
2.1.1. Уровни воды в бьефах	41
2.1.2. Расчетный состав судов.....	41
2.1.3. Допустимое время наполнения камеры.....	41
2.1.4. Основные размеры шлюза	41
2.1.5 Система питания и предъявляемые к ней требования	42
2.2. Методика гидравлического расчета головной системы питания с наполнением из – под ворот верхней головы и опорожнением через короткие обходные галереи нижней головы шлюза	43
2.2.1. Определение высоты и скорости подъема ворот для наполнения камеры	43
2.2.2. Определение времени наполнения (опорожнения) камеры	45

2.2.3. Определение размеров гасительных устройств.....	46
2.2.4. Определение размеров коротких обходных галерей нижней головы.....	47
2.2.5. Гидравлические характеристики системы питания	47
2.3. Компьютерная программа расчета головной системы питания с примером.....	52
2.3.1. Иллюстрация работы программы на примере расчета	52
2.3.2. Получение результатов расчета.....	75
Список использованных источников	76

ВВЕДЕНИЕ

В пособии представлены методики гидравлического расчета простой распределительной системы питания и головной системы питания судоходного шлюза, а также программа автоматизированного расчета на ЭВМ. Методики взяты из учебного пособия по проектированию шлюза [1]. Программу в инициативном порядке составил, опробовал на тестовых примерах и в ВКР, выполненной под руководством профессора С.В. Соболя, магистрант группы МС-10/02 выпуска 2022 г. К.С. Трошин.

Программа работает на платформе Microsoft.NET Framework 4.7.2, поэтому для работы программы данная платформа должна быть установлена на ПК. Скачать Microsoft.NET Framework 4.7.2 можно с официального сайта support.microsoft.com.

Программа удобна в работе, после освоения методики может облегчить выполнение расчетов систем питания при вариантном проектировании судоходного шлюза. Кафедрой гидротехнических и транспортных сооружений ННГАСУ рекомендуется для использования в учебном процессе.

Данная программа расположена на сайте библиотеки и доступна для свободного пользования.

1. ПРОСТАЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ ШЛЮЗА

1.1. Исходные данные для гидравлического расчета

1.1.1. Уровни воды в бьефах

Шлюз расположен в канале. Класс шлюза– II [2];

Судоходные уровни воды в верхнем и нижнем бьефах: СВСУВВБ = 208,00 м, СНСУВНБ = 195,00 м. Отметки уровней воды условные.

1.1.2. Расчетный состав судов

Размеры расчетного шлюзуемого состава судов: длина расчетного судна $l_c = 140$ м; ширина судна $b_c = 16,7$ м; осадка судна груженого $S_{cr} = 4,2$ м; число судов по длине состава $n_d = 2$, по ширине состава $n_{ш} = 1$ шт.

Водоизмещение D расчетного судна:

$$D = \delta \cdot l_c \cdot b_c \cdot S_{cr} \cdot \rho_{\text{воды}}, \text{ т.} \quad (1.1)$$

где δ – коэффициент полноты водоизмещения для грузовых судов; $\delta = 0,85$.

$\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды, т.с./м³.

$$D = 0,85 \cdot 140 \cdot 16,7 \cdot 4,2 \cdot 1 = 8346,66 \text{ т.}$$

1.1.3. Допустимое время наполнения камеры

Наибольшее допустимое время наполнения шлюза исходя из требуемой пропускной способности $T_{\text{нап.макс}} = 16$ минут.

1.1.4. Основные размеры шлюза

Расчетный напор на шлюз:

$$H = \text{СВСУВВБ} - \text{СНСУВНБ}, \text{ м;} \quad (1.2)$$

$$H = 208,00 - 195,00 = 13,0 \text{ м.}$$

Полезная длина камеры шлюза:

$$L_{\text{ПК}} = n_d \cdot l_c + (n_d + 1) \cdot \Delta l, \text{ м;} \quad (1.3)$$

где Δl – запас по длине, м;

$$\Delta l = 2 + 0,03 \cdot l_c, \text{ м;} \quad (1.4)$$

$$\Delta l = 2 + 0,03 \cdot 140 = 6,2 \text{ м.}$$

$$L_{\text{ПК}} = 2 \cdot 140 + (2 + 1) \cdot 6,2 = 298,6 \text{ м.}$$

Полезная ширина камеры шлюза:

$$B_{\text{ПК}} = n_{\text{ш}} \cdot B_c + (n_{\text{ш}} + 1) \cdot \Delta B, \text{ м} \quad (1.5)$$

где ΔB – запас по ширине, м; принимается при ширине судна до 10 м – 0,2 м; до 18 м – 0,4 м; до 30 м – 0,75 м. Принимаем $\Delta B = 0,4$ м.

$$B_{\text{ПК}} = 1 \cdot 16,7 + (1 + 1) \cdot 0,4 = 17,5 \text{ м.}$$

Глубина на королях:

$$S_k \geq 1,3 \cdot S_{cr}, \text{ м}, \quad (1.6)$$

где S_{cr} – осадка груженого судна, м;

$$S_k \geq 1,3 \cdot 4,2 = 5,46 \text{ м}.$$

Согласно [3] размеры камеры шлюза $L_{пк}$, $B_{пк}$, S_k округлены в сторону увеличения по табл. 1 и приняты равными:

$$L_{пк} = 300 \text{ м};$$

$$B_{пк} = 20 \text{ м};$$

$$S_k = 5,5 \text{ м}.$$

Назначены отметки королей верхней и нижней головы. Отсчет глубины S_k – от минимальных судоходных уровней в бьефах. Отметка короля верхней головы 202,50 м; нижней головы 189,50 м.

На рис. 1 построен разрез по камере шлюза.

Таблица 1

Основные габаритные размеры камер судоходных шлюзов [3]

$B_{пк}$, м	37	37	30	20	20	18	15	15	12	8	6
$L_{пк}$, м	400	300	300	300	150	150	150	100	100	50	35
S_k , м	6	6	6	5,5	5,5	5,5	4	3	3	3	1,5
	5,5	5,5	5,5	5	5	5	3,5	2,5	2,5	2,5	1
	5	5	5	4,5	4,5	4,5	3	2	2	2	2
	-	-	-	4	4	4	-	-	1,5	1,5	-

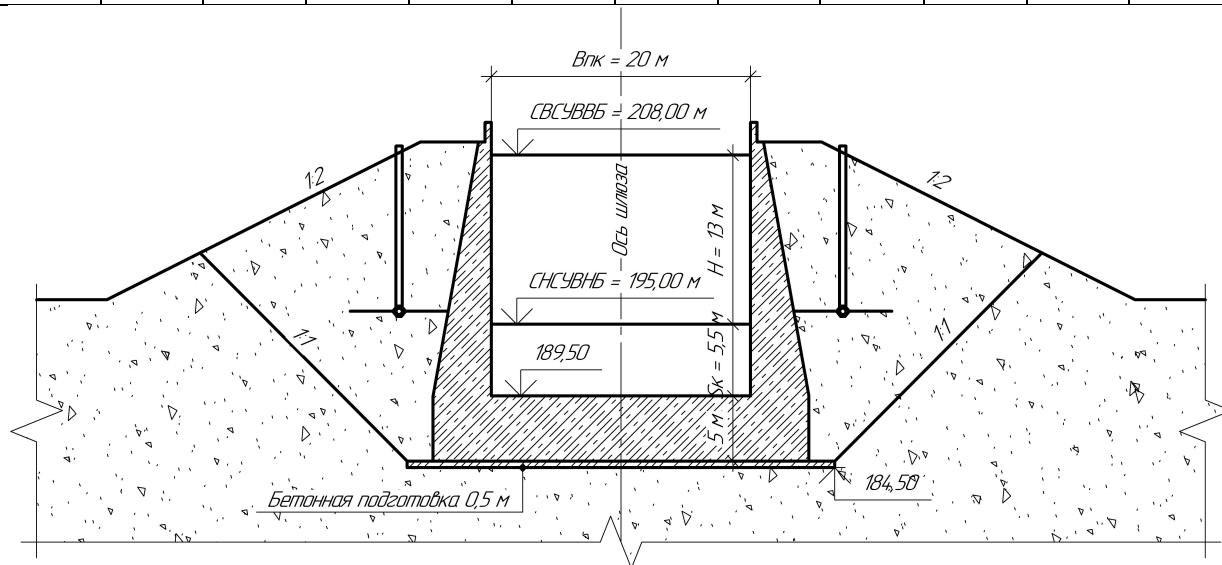


Рисунок 1 – Разрез по камере шлюза в примере расчета

1.1.5 Система питания и предъявляемые к ней требования

При выборе системы питания могут быть применены:

1) Сосредоточенная (головная) система с наполнением из-под ворот верхней головы и с опорожнением через короткие обходные галереи нижней головы шлюза.

2) Простая распределительная система питания с галереями в днище камеры и щелевыми выпусками из галерей.

Головную систему питания рекомендуется принимать при $H \cdot L_{\text{пк}} \leq 2000$ и $H/S_{\text{к}} \leq 2$ в шлюзах с напором до $H = 15$ м. При больших значениях указанных показателей или при $H \geq 15$ м следует принимать распределительную систему. В примере:

$$H \cdot L_{\text{пк}} = 13 \cdot 300 = 3900 > 2000,$$

$$H/S_{\text{к}} = 13/5,5 = 2,36.$$

Принята простая распределительная система питания.

К системе питания предъявляются следующие основные требования:

1. Время наполнения-опорожнения камеры $T_{\text{нап}}$ не должно превышать времени, возможного исходя из заданной пропускной способности шлюза $T_{\text{нап.макс}}$.

2. Наполнение и опорожнение камеры должно проходить при нормальных условиях стоянки судов в камере.

Условия стоянки судов в камере характеризуется гидродинамическими силами, воспринимаемыми судном при воздействии на него неустановившимся водным потоком. Продольные составляющие гидродинамических сил не должны быть больше допускаемой величины $P_{\text{доп}}$, ограниченной прочностью швартовых канатов.

$$P_{\text{доп}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{D}, \text{ тс}, \quad (1.7)$$

где D – водоизмещение расчетного судна, т. В примере:

$$P_{\text{доп}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{8346,66} = 28,4 \text{ тс}.$$

В расчетах используется относительное значение:

$$\frac{1}{n_{\text{доп}}} = \frac{P_{\text{доп}}}{D}; \quad (1.8)$$

Откуда:

$$n_{\text{доп}} = \frac{D}{P_{\text{доп}}} = \frac{8346,66}{28,4} = 293,9.$$

1.2. Методика гидравлического расчета простой распределительной системы питания

Расчет системы питания носит поверочный характер. Ведется согласно предварительно намеченной схеме системы (рис. 2). Необходимо определить: время наполнения и опорожнения камеры; площади сечения и число водопроводных галерей; число и размеры выпусков в камеру.

1.2.1. Определение времени наполнения (опорожнения) камеры

Принимаются коэффициент расхода системы питания μ (ориентировочно) и относительное время открытия водопроводных галерей k для дальнейших расчетов по табл. 2: $\mu = 0,5$; $k = 0,5$.

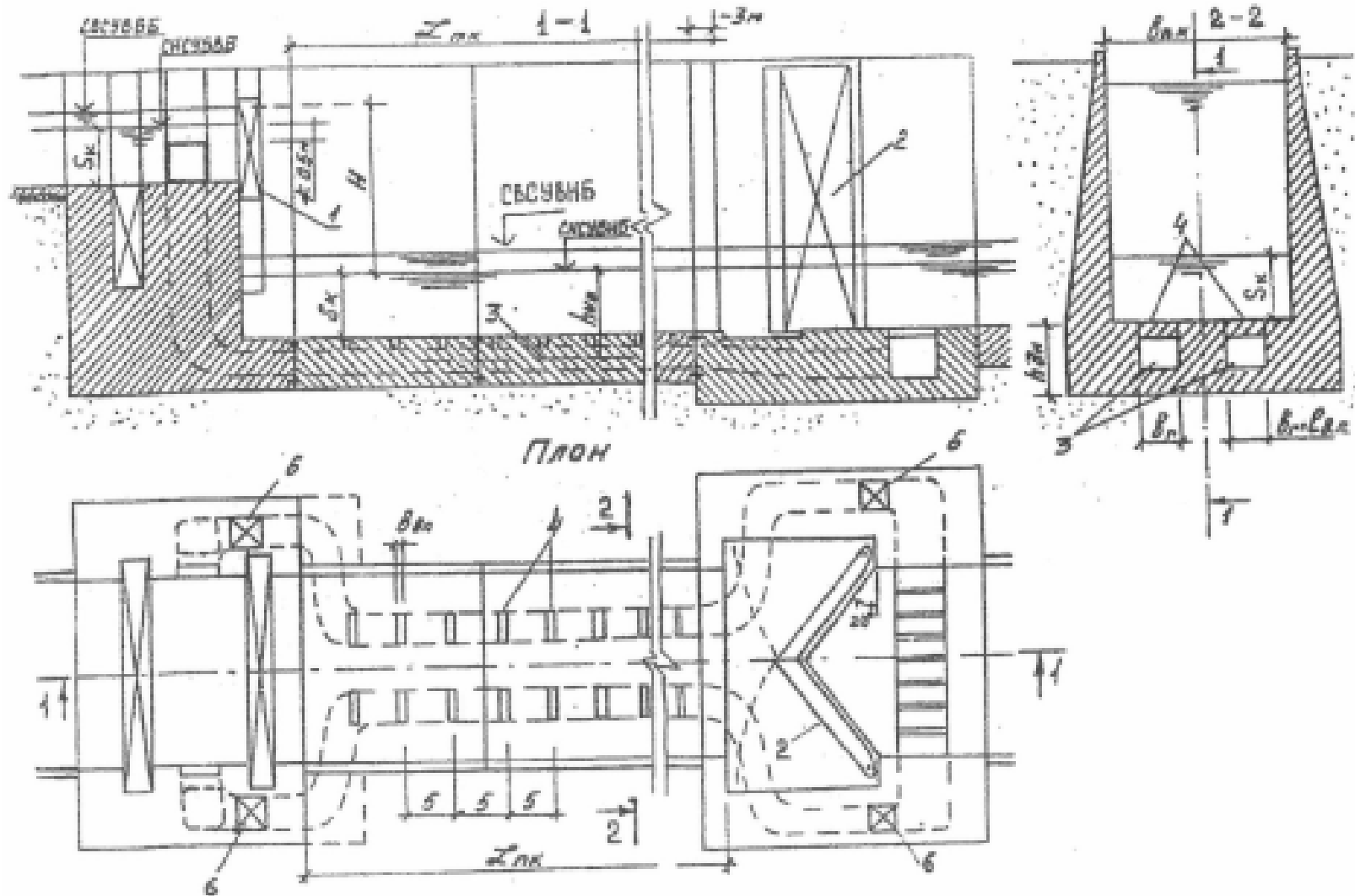


Рисунок 2 – Схема шлюза с простой распределительной системой питания [1]:

1,2 – рабочие ворота верхней и нижней голов; 3 – галереи системы питания;

4 – выпуски из галерей; 5 - расстояния между выпусками, м; 6 – шахты затворов галерей

Таблица 2

Коэффициент расхода системы питания μ и относительное время открытия водопроводных галерей k

Система питания	μ	k
Наполнение из-под щита	0,5 – 0,6	не более 0,8
Опорожнение через короткие обходные галереи	0,7 – 0,8	не более 0,6
Распределительная	0,5 – 0,6	0,5 – 0,6

Определяется допустимое по условиям стоянки судов время наполнения камеры:

$$T_{\text{доп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{n_{\text{доп}} \cdot \Omega \cdot H \cdot a}{g \cdot (\omega_{\text{к}} - \chi) \cdot (2 - k) \cdot k}}, \text{ с}, \quad (1.9)$$

где Ω – площадь зеркала камеры, м^2 :

$$\Omega = B_{\text{ПК}} \cdot L_{\text{ПК}}, \text{ м}^2; \quad (1.10)$$

a – коэффициент, характеризующий распределительную систему питания, $a = 0,4 - 0,6$. Принимается $a = 0,5$;

$\omega_{\text{к}}$ – площадь живого сечения камеры при наименьшем судоходном уровне воды в ней, м^2 :

$$\omega_{\text{к}} = B_{\text{ПК}} \cdot S_{\text{к}}, \text{ м}^2; \quad (1.11)$$

χ – площадь миделевого сечения состава судов при осадке их в полном грузу, м^2 :

$$\chi = \beta_{\text{с}} \cdot n_{\text{ш}} \cdot b_{\text{с}} \cdot S_{\text{сг}}, \text{ м}^2; \quad (1.12)$$

$\beta_{\text{с}}$ – коэффициент полноты миделевого сечения судна, $\beta_{\text{с}} = 0,95 - 0,98$. Принимается $\beta_{\text{с}} = 0,95$.

Результаты вычислений: $\Omega = 20 \cdot 300 = 6000 \text{ м}^2$;

$$\omega_{\text{к}} = 20 \cdot 5,5 = 110 \text{ м}^2;$$

$$\chi = 0,95 \cdot 2 \cdot 16,7 \cdot 4,2 = 66,63 \text{ м}^2.$$

$$T_{\text{доп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{293,9 \cdot 6000 \cdot 13 \cdot 0,5}{9,81 \cdot (110 - 66,63) \cdot (2 - 0,5) \cdot 0,5}} = 380 \text{ с} = 6,33 \text{ мин.}$$

Время наполнения камеры $T_{\text{нап}}$ принимается из диапазона:

$$T_{\text{доп}} \leq T_{\text{нап}} \leq T_{\text{нап.макс.}} \quad (1.13)$$

Принято $T_{\text{нап}} = 500 \text{ с} = 8,3 \text{ мин.}$

Время опорожнения принимается равным времени наполнения камеры $T_{\text{оп}} = T_{\text{нап}} = 8,3 \text{ минут.}$

1.2.2. Определение размеров водопроводных галерей и выпусков воды в камеру

Определяется площадь сечения водопроводных галерей:

$$\omega_{\text{г}} = \frac{4 \cdot \Omega \cdot \sqrt{H}}{\mu \cdot \sqrt{2g} \cdot T_{\text{нап}} \cdot (2 - k)}, \text{ м}^2, \quad (1.14)$$

все обозначения в формуле (1.14) известны.

$$\omega_{\Gamma} = \frac{4 \cdot 6000 \cdot \sqrt{13}}{0,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 500 \cdot (2 - 0,5)} = 52,1 \text{ м}^2.$$

Назначается число галерей и их размеры так, чтоб они могли быть размещены в днище камеры. Рекомендуются размеры сечения галерей – в табл. 3 [3].

Таблица 3

Рекомендуемые размеры сечения водопроводной галереи [3]

Ширина b_r , м												
1	1,25	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7
Высота h_r , м												
1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7

В примере взято число галерей – 4. Рассчитанная площадь сечения одной галереи $52,1/4 = 13,02 \text{ м}^2$. Принятая площадь сечения галереи $b_r \times h_r = 4,0 \times 3,5 = 14 \text{ м}^2$.

Число выпусков галерей увязывается с количеством секций камеры. В примере число выпусков, приходящихся на одну галерею, принято $m = 64$. Выпуски располагаются на равном расстоянии друг от друга в увязке с межсекционными швами камеры.

Ведется подбор площадей выпусков для одной нитки водопроводных галерей исходя из условия о равенстве расходов в выпусках по следующему квадратному уравнению:

$$\left(\frac{m \cdot \omega_{\text{ВП}}}{\omega_{1\Gamma}}\right)^2 \cdot \left(a_n + \frac{n^2}{m^2}\right) = a + b \frac{n}{m} \left(\frac{m \cdot \omega_{\text{ВП}}}{\omega_{1\Gamma}}\right), \quad (1.15)$$

где $\omega_{\text{ВП}}$ – искомая площадь выпуска, м^2 ;

$\omega_{1\Gamma}$ – площадь одной галереи, м^2 ;

n – порядковый номер выпуска;

a и b – постоянные коэффициенты: $a = 1,45$; $b = 1,45$ – для открытых выпусков

a_n – коэффициент, выражающий давление в галерее через скоростной напор и определяемый по формуле:

$$a_n = a_m + 1 - \frac{n^2}{m^2} - \frac{m-n}{m} - \frac{2gL}{3C^2R} \cdot \left(1 - \frac{n-1}{m-1} \cdot \frac{n}{m} \cdot \frac{2n-1}{2m-1}\right), \quad (1.16)$$

где $0,5 < a_m < 1$, принято $a_m = 0,75$;

$0,2 < \frac{2gL}{3C^2R} < 0,3$, принято $\frac{2gL}{3C^2R} = 0,25$.

Решая уравнение (1.15) находим площади первого, последнего и нескольких промежуточных выпусков, м^2 :

$$\omega_{\text{ВП}}(1) = 0,218,$$

$$\omega_{\text{ВП}}(16) = 0,244,$$

$$\omega_{\text{ВП}}(32) = 0,272,$$

$$\omega_{\text{ВП}}(48) = 0,295,$$

$$\omega_{\text{ВП}}(64) = 0,309.$$

По подобранным площадям выпусков строится график изменения площадей выпусков по длине камеры шлюза (рис. 3). С помощью этого графика можно найти площадь любого выпуска.

Каждый выпуск представляет собой щель размерами в плане $l_{\text{вп}} \times b_{\text{вп}}$, где длина выпуска равна ширине галереи $l_{\text{вп}} = b_r = 4,0$ м, а ширина выпуска при необходимости может быть посчитана.

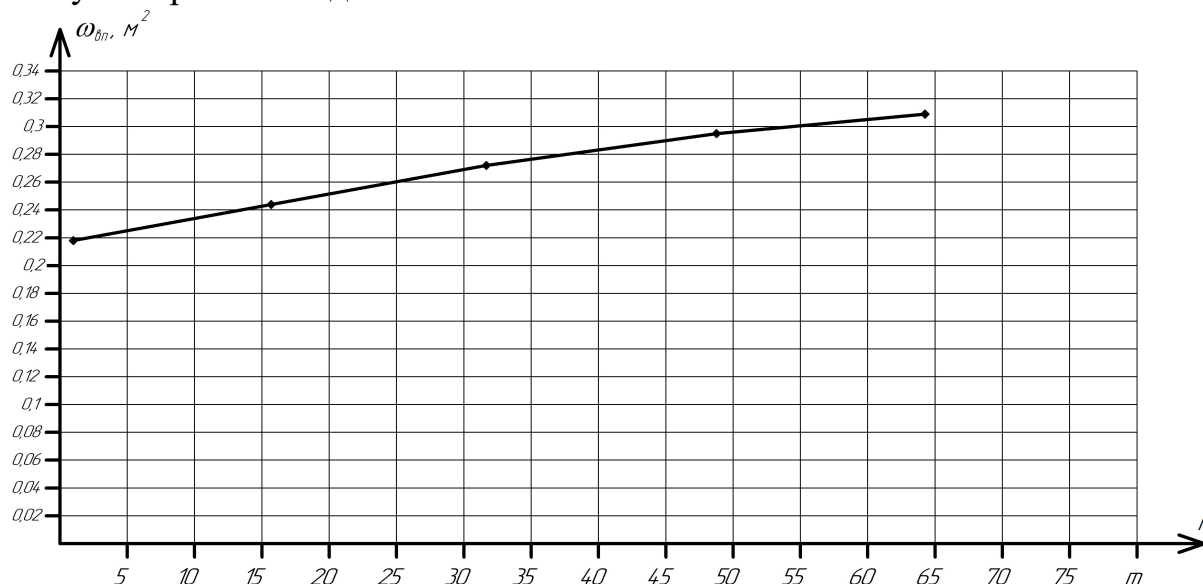


Рисунок 3 – График изменения площадей выпусков по длине камеры шлюза: $\omega_{\text{вп}}$ – площадь выпуска; n – номер выпуска от верхней головы шлюза; m – число выпусков на одну водопроводную галерею, $m = 64$

1.2.3. Построение гидравлических характеристик системы питания

К гидравлическим характеристикам системы питания шлюза относятся элементы, изменяющиеся в процессе наполнения (опорожнения) шлюза: напор h , м; расход воды в галереях Q , м³/с; давление за затворами водопроводных галерей $P_{\text{сж}}$, м вод. ст.

В примере при распределительной системе питания гидравлические характеристики строятся для процесса наполнения камеры через галереи с затворами в верхней голове шлюза.

В качестве рабочих затворов галерей применяются герметический плоский затвор (рис.4).

Схема открытия затвора галереи – равномерное открытие в течение времени $t_3 = k \cdot T_{\text{нап(оп)}}$. В течение времени открытия затвора $0 < t < t_3$, коэффициент расхода системы μ_n переменный $\mu_n \neq \text{const}$. Далее при $t_3 < t < T_{\text{нап}}$ наполнение идет при полностью открытых затворах и $\mu_n = \text{const}$.

При назначенном $k = 0,5$ (см. раздел 1.2.1) и принятом в результате расчета $T_{\text{нап}} = 500$ с (см. раздел 1.2.1) время открытия затвора галереи равно $t_3 = 0,5 \cdot 500 = 250$ с.

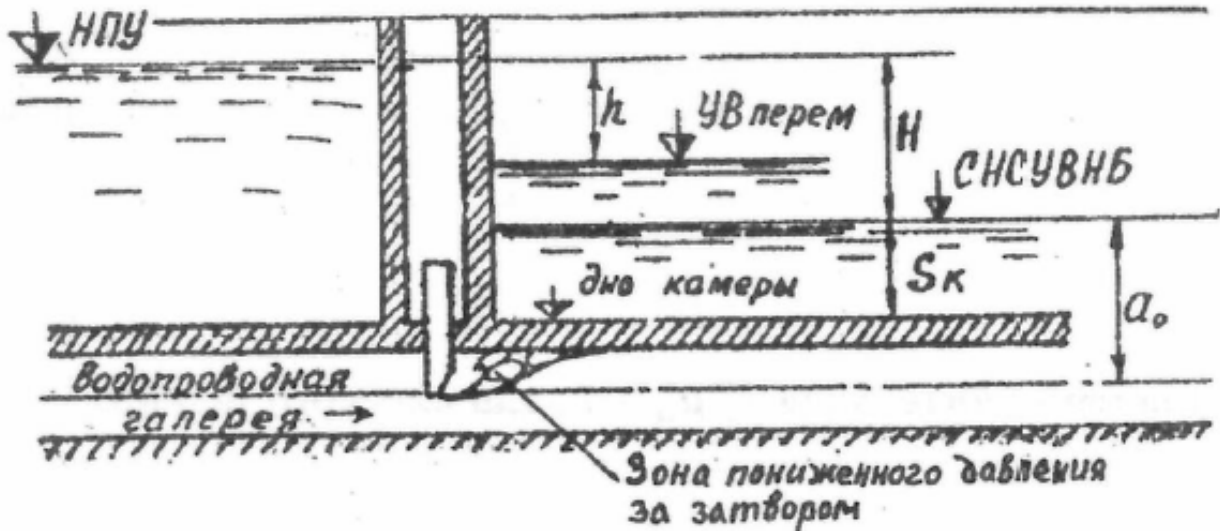


Рисунок 4 – Схема герметичного плоского затвора водопроводной галереи

В примере исследуются гидравлические характеристики в период $0 < t < t_3$, т.е. $0 < t < 250$ с.

Изменение напора во времени $h = f(t)$ рассчитывается по зависимости:

$$\sqrt{h} = \sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2g} \cdot t_3}{2 \cdot \Omega} \cdot \int_a^n \mu'_n \cdot d_n, \quad (1.17)$$

где μ'_n – переменный относительный коэффициент расхода системы $\mu'_n = \mu_n / \mu$;

μ – коэффициент расхода, принят $\mu = 0,5$ (см. раздел 1.2.1).

Значения интеграла $\int_a^n \mu'_n \cdot d_n$ приведены для коэффициента расхода системы $\mu = 0,5$ при различных степенях открытия затвора $n = t/t_3$ в третьей строке табл. 4 [1].

Изменение расхода воды во времени $Q = f(t)$ описывается зависимостью:

$$Q = \mu'_n \cdot \mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2gh}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.18)$$

где μ'_n - принимается как функция $\mu'_n = f(n, \mu)$ для плоского затвора, значение которой приведены в шестой строке таблицы 4 [1].

Скорость воды в галереях $V_r = f(t)$, вычисляется как:

$$V_r = \frac{Q}{\omega_r}, \text{ м/с}; \quad (1.19)$$

Давление за затвором галереи (избыточное над атмосферным) равно:

$$P_{сж} = a - k_p \cdot H, \text{ м вод. ст.}, \quad (1.20)$$

где a – заглубление центра затвора под начальный уровень воды в нижнем бьефе, м (см. рис.4);

k_p – безразмерный коэффициент определяемый по формуле:

$$k_p = k' = h' \cdot [1 + \mu_n^2 \cdot (1 + 2 \cdot \sqrt{\xi_{зп}} - \xi_\Gamma)] - 1; \quad (22)$$

где $u_n = u'_n \cdot u$;

$$h' = h/H;$$

$\xi_{зп}$ – коэффициент сопротивления затвора – по табл.3.5 из учебного пособия [1];

ξ_Γ – коэффициент сопротивления участка галереи за затворами, $\xi_\Gamma = 2$.

Результаты вычислений $h = f(t), Q = f(t), V_\Gamma = f(t), P_{сж} = f(t)$ представлены в табл. 4 для степеней открытия затвора $n = \frac{t}{t_3} = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$.

По данным вычислений построены графики гидравлических характеристик системы питания (рис. 5).

Т.о. задачи, поставленные для гидравлического расчета, выполнены, расчет завершен.

Таблица 4

Расчет гидравлических характеристик распределительной системы питания шлюза для
процесса наполнения камеры

Степень открытия затвора, n		(1)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Время, с		(2)	0	50	100	150	200	250
Напор	$\int_a^n \mu'_n \cdot d_n$	(3)	0	0,028	0,111	0,251	0,433	0,680
	$\sqrt{h}, \text{м}^{0,5}$	(4)	3,61	3,53	3,32	2,96	2,49	1,85
	$h = (4)^2, \text{м}$	(5)	13	12,48	11,01	8,74	6,18	3,42
Рас- ход	$\mu'_n = f(n, \mu)$	(6)	0	0,228	0,574	0,812	0,954	1
	$Q = \mu \omega_r \sqrt{2g} \cdot (4) \cdot (6), \text{м}^3/\text{с}$	(7)	0	99,9	236,22	297,73	294,14	229,36
Скорость в галереях, м/с		(8)	0	1,78	4,22	5,32	5,25	4,1
Превышение уровня воды в камере в м над СНСУВНБ = 195,00		(9)	0	0,52	1,99	4,26	6,82	9,58
Давление за затвором галереи	ξ_3	(10)	∞	44,75	8,37	2,33	0,64	0,25
	K_p	(11)	0	0,11	0,18	-0,1	-0,46	-0,74
	$P_{\text{СЖ}}, \text{м вод. ст.}$	(12)	7,75	6,26	5,4	9,05	13,73	17,33

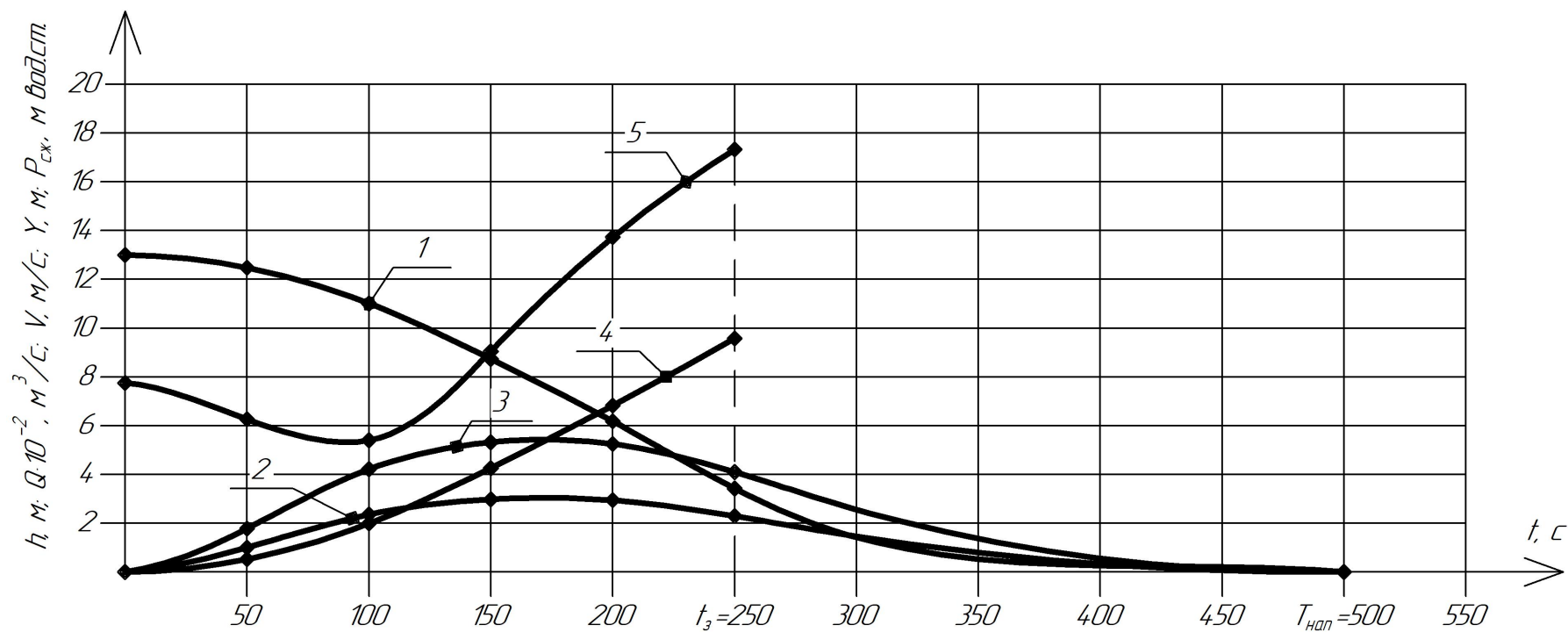


Рисунок 5 – Гидравлические характеристики наполнения при распределительной системе питания:

1 – Напор $h = f(t)$; 2 – Расход воды $Q = f(t)$; 3 – Скорость воды в галереях $V_r = f(t)$; 4 – Превышение уровня воды в камере; 5 – Давление за затвором галереи $P_{\text{сж}} = f(t)$.

Примечание. Графики построены по расчету для периода времени $0 < t < 250$ с. Для периода $250 \text{ с} = t_3 < t < T_{\text{нап}} = 500$ с проведены ориентировочно.

1.3. Компьютерная программа расчета простой распределительной системы питания с примером

1.3.1. Указания к работе с программой

Программа работает на платформе Microsoft.NET Framework 4.7.2, поэтому для работы программы данная платформа должна быть установлена на ПК. Скачать Microsoft.NET Framework 4.7.2 можно с официального сайта support.microsoft.com.

Чтобы программа работала корректно, все нецелые числа, которые потребуется ввести в программе с помощью клавиатуры, необходимо указывать через запятую, а не точку.

Переход между слайдами программы осуществляется с помощью кнопок «Далее» и «Назад».

1.3.2. Иллюстрация работы программы на примере расчета

Весь процесс работы программы по расчету представлен на рисунках 6-26, с указаниями к каждому шагу.

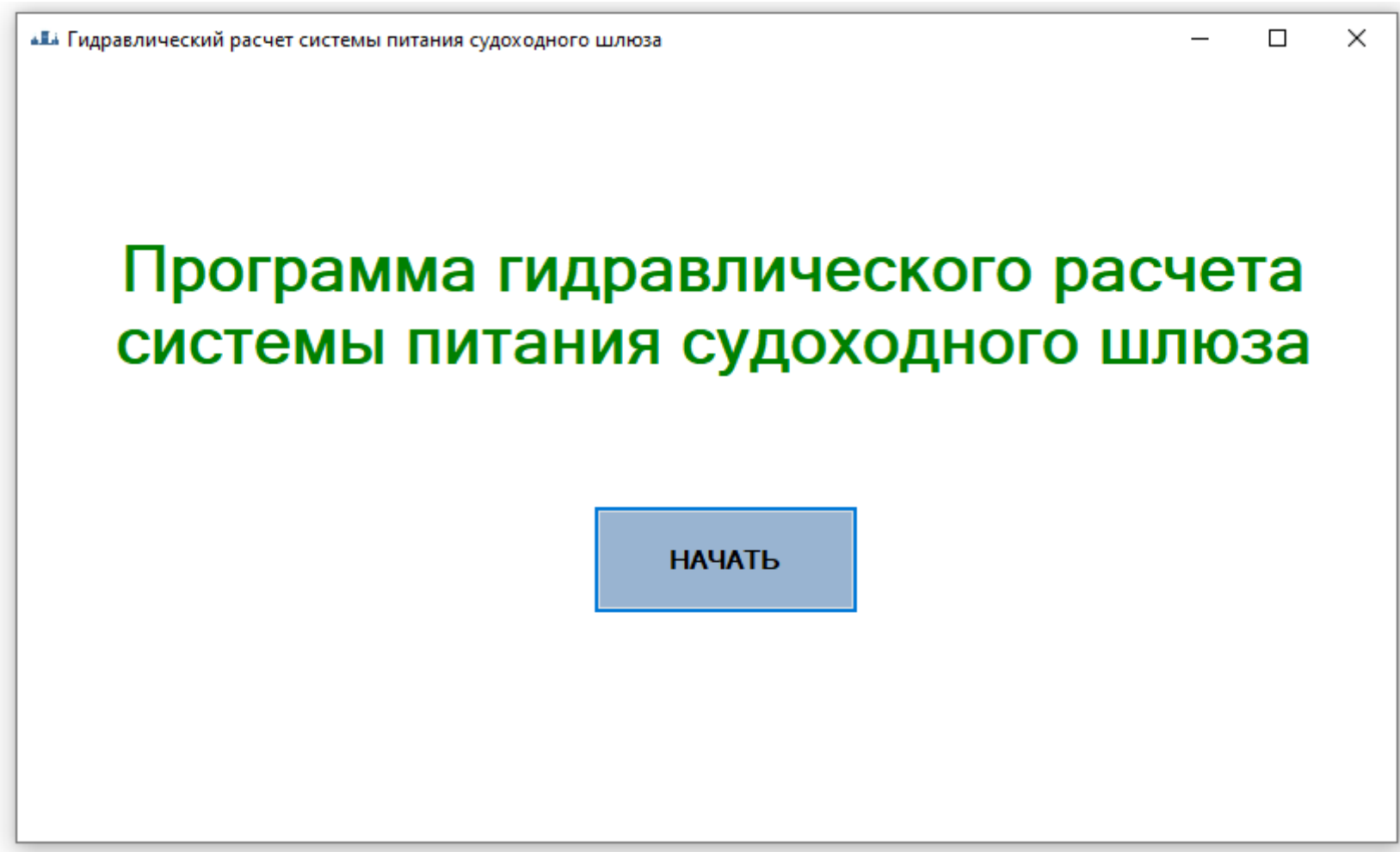


Рисунок 6 – Начало гидравлического расчета системы питания судоводного шлюза
Указания: чтобы начать расчет нажмите кнопку «Начать».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

1. Исходные данные для гидравлического расчета

Введите исходные данные:

СВСУВВБ, м БС	<input type="text"/>
СНСУВНБ, м БС	<input type="text"/>
Длина расчетного судна l_c , м	<input type="text"/>
Ширина расчетного судна b_c , м	<input type="text"/>
Осадка судна груженого S_{cr} , м	<input type="text"/>
Число судов по длине состава n_d , шт	<input type="text"/>
Число судов по ширине состава $n_{ш}$, шт	<input type="text"/>
Наибольшее возможное время наполнения шлюза $T_{нап.макс}$, мин	<input type="text"/>

Назад Далее

Рисунок 7 – Исходные данные для гидравлического расчета

Указания: напротив каждого параметра с помощью клавиатуры введите значение, соответствующее данному параметру в определенный прямоугольник.

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

1. Исходные данные для гидравлического расчета

Введите исходные данные:

СВСУВВБ, м БС	208
СНСУВНБ, м БС	195
Длина расчетного судна l_c , м	140
Ширина расчетного судна b_c , м	16,7
Осадка судна груженого S_{cr} , м	4,2
Число судов по длине состава n_d , шт	2
Число судов по ширине состава $n_{ш}$, шт	1
Наибольшее возможное время наполнения шлюза $T_{нап.макс}$, мин	16

Назад Далее

Рисунок 8 – Ввод исходных данных для гидравлического расчета
 Указания: после введения каждого значения, нажмите кнопку «Далее».
 Примечание: в примере отчета отметки условные (см. раздел 1.1.1)

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

2. Основные размеры шлюза

Расчетный напор на шлюз определяется по формуле:

$$H = \text{СВСУВВБ} - \text{СНСУВНБ}, \text{ м}$$

Полезная длина камеры шлюза определяется по формуле:

$$L_{\text{пк}} = n_{\text{д}} \cdot l_{\text{с}} + (n_{\text{д}} + 1) \cdot \Delta l, \text{ м}$$

где Δl – запас по длине, м; определяется по формуле:

$$\Delta l = 2 + 0,03 \cdot l_{\text{с}}, \text{ м}$$

Полезная ширина камеры определяется по формуле:

$$B_{\text{пк}} = n_{\text{ш}} \cdot B_{\text{с}} + (n_{\text{ш}} + 1) \cdot \Delta b, \text{ м}$$

где Δb – запас по ширине, м; принимается при ширине судна:
до 10 м – 0,2 м; до 18 м – 0,4 м; до 30 м – 0,75 м

Глубина на королях шлюза определяется по формуле:

$$S_{\text{к}} \geq 1,3 \cdot S_{\text{ср}}, \text{ м}$$

Рассчитанные величины:

$H =$	13
$\Delta l =$	6,2
$L_{\text{пк}} =$	298,6
$\Delta b =$	0,4
$B_{\text{пк}} =$	17,5
$S_{\text{к}} =$	5,46

Рисунок 9 – Основные размеры шлюза

Указания: на данном шаге программой рассчитаны основные размеры шлюза, после ознакомления нажмите кнопку «Далее»

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Рассчитанные значения: $B_{\text{пк}} = 17,5$ $L_{\text{пк}} = 298,6$ $S_{\text{к}} = 5,46$

следует округлять в сторону увеличения до ближайших размеров, приведенных в таблице ниже.

Назначьте основные габаритные размеры шлюза:

$B_{\text{пк}}, \text{м}$	37	37	30	20	20	18	15	15	12	8	6
$L_{\text{пк}}, \text{м}$	400	300	300	300	150	150	150	100	100	50	35
$S_{\text{к}}, \text{м}$	6	6	6	5,5	5,5	5,5	4	3	3	3	1,5
	5,5	5,5	5,5	5	5	5	3,5	2,5	2,5	2,5	1
	5	5	5	4,5	4,5	4,5	3	2	2	2	2
	-	-	-	4	4	4	-	-	1,5	1,5	-

Основные габаритные размеры шлюза приняты равными:

$B_{\text{пк}} =$ $L_{\text{пк}} =$ $S_{\text{к}} =$

Назад Далее

Рисунок 10 – Габаритные размеры шлюза

Указания: после вычисления основных размеров необходимо назначить рекомендуемые размеры шлюза из таблицы, путем нажатия на необходимое значение.

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Рассчитанные значения: $B_{пк} = 17,5$ $L_{пк} = 298,6$ $S_k = 5,46$

следует округлять в сторону увеличения до ближайших размеров, приведенных в таблице ниже.

Назначьте основные габаритные размеры шлюза:

$B_{пк}, м$	37	37	30	20	20	18	15	15	12	8	6
$L_{пк}, м$	400	300	300	300	150	150	150	100	100	50	35
$S_k, м$	6	6	6	5,5	5,5	5,5	4	3	3	3	1,5
	5,5	5,5	5,5	5	5	5	3,5	2,5	2,5	2,5	1
	5	5	5	4,5	4,5	4,5	3	2	2	2	2
	-	-	-	4	4	4	-	-	1,5	1,5	-

Основные габаритные размеры шлюза приняты равными:

$B_{пк} =$ $L_{пк} =$ $S_k =$

Назад Далее

Рисунок 11 – Принятие основных габаритных размеров шлюза

Указания: после принятия основных габаритных размеров шлюза нажмите кнопку «Далее».

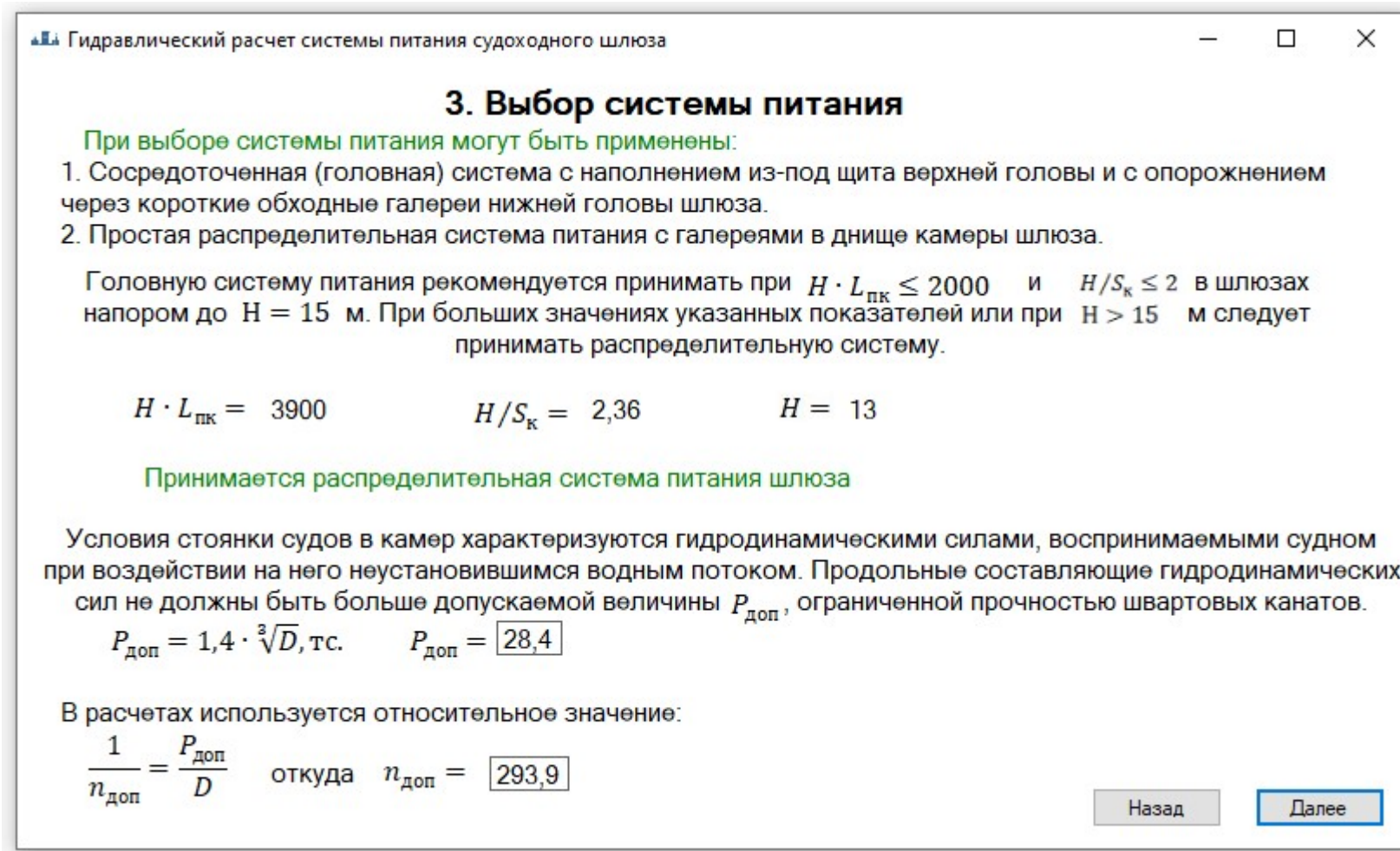


Рисунок 12 – Выбор системы питания

Указания: на данном шаге программа по описанным параметрам определяет систему питания. Для продолжения нажмите кнопку «Далее».

4. Гидравлический расчет простой распределительной системы питания

Расчетом необходимо определить:

1. Время наполнения шлюза.
2. Площади сечения и число водопроводных галерей.
3. Число и размеры выпусков в камеру.

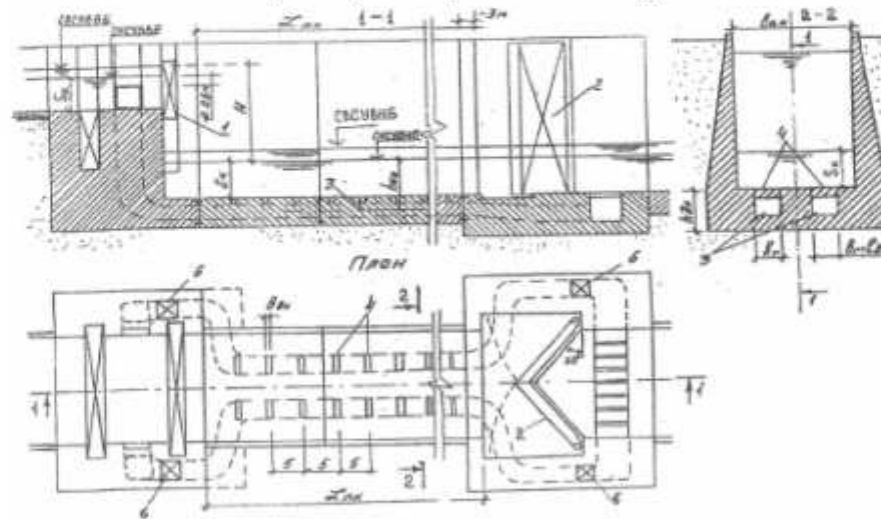


Схема шлюза с простой распределительной системой питания:

1, 2 – рабочие ворота верхней и нижней голов; 3 – галерея системы питания;
4 – выпуски из галерей; 5 – расстояния между выпусками, м; б – шикты затворов галерей

Назад

Далее

Рисунок 13 – Задачи гидравлического расчета простой распределительной системы питания

Указания: для продолжения нажмите кнопку «Далее».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

4.1 Перед началом расчета необходимо задаться следующими величинами:

коэффициент расхода системы питания - $\mu = 0,5-0,6$

относительное время открытия водопроводных отверстий - $k = 0,5-0,6$

коэффициент, характеризующий распределительную систему питания - $a = 0,4-0,6$

4.2 Для нахождения $T_{\text{доп}}$ программой рассчитаны следующие величины:

Ω – площадь зеркала камеры, м^2	6000
$\omega_{\text{к}}$ – площадь живого сечения камеры при наинищем судоходном уровне воды в ней, м^2	110
χ – площадь миделевого сечения состава судов при осадке их в полном грузу, м^2	66,63

4.3 Расчетом будет определено допустимое время наполнения камеры - $T_{\text{доп}}$ по формуле:

$$T_{\text{доп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{n_{\text{доп}} \cdot \Omega \cdot H \cdot a}{g \cdot (\omega_{\text{к}} - \chi) \cdot (2 - k) \cdot k}}, \text{с}$$

$T_{\text{доп}} =$

4.4 Время наполнения камеры принимается из условия:

$$T_{\text{доп}} \leq T_{\text{нап}} \leq T_{\text{нап.макс.}}$$

$$\leq \text{ \leq$$

Время опорожнения камеры принимается:

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{нап}}$$

Рисунок 14 – Время наполнения камеры шлюза

Указания: в пункте 4.1 введите необходимые значения напротив каждого параметра.

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

4.1 Перед началом расчета необходимо задаться следующими величинами:

коэффициент расхода системы питания - $\mu = 0,5-0,6$

относительное время открытия водопроводных отверстий - $k = 0,5-0,6$

коэффициент, характеризующий распределительную систему питания - $a = 0,4-0,6$

4.2 Для нахождения $T_{\text{доп}}$ программой рассчитаны следующие величины:

Ω – площадь зеркала камеры, м^2 6000

ω_k – площадь живого сечения камеры при наинизшем судоходном уровне воды в ней, м^2 110

χ – площадь миделевого сечения состава судов при осадке их в полном грузу, м^2 66,63

4.3 Расчетом будет определено допустимое время наполнения камеры - $T_{\text{доп}}$ по формуле:

$$T_{\text{доп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{n_{\text{доп}} \cdot \Omega \cdot H \cdot a}{g \cdot (\omega_k - \chi) \cdot (2 - k) \cdot k}}, \text{с}$$

$T_{\text{доп}} = 380 \text{ с}$

4.4 Время наполнения камеры принимается из условия:

$$T_{\text{доп}} \leq T_{\text{нап}} \leq T_{\text{нап.макс.}}$$

$380 \leq \text{500} \leq 960$

Время опорожнения камеры принимается:

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{нап}}$$

Рисунок 15 – Расчет времени наполнения камеры шлюза

Указания: после ввода значений в пункте 4.1, нажмите кнопку рассчитать в пункте 4.3 для определения допустимого времени наполнения камеры. В пункте 4.4 задайтесь временем наполнения камеры из заданного промежутка, и нажмите кнопку «Далее»

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

4.5 Расчет определена площадь водопроводных галерей по формуле:

$$\omega_r = \frac{4 \cdot \Omega \cdot \sqrt{H}}{\mu \cdot \sqrt{2g} \cdot T_{\text{нап}} \cdot (2 - k)}, \text{ м}^2 \quad \omega_r = 52,1$$

4.6 Назначается четное количество водопроводных галерей:

4.7 Выберите размеры одной галереи из рекомендуемых:

Ширина галереи, м

1	1,25	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7
---	------	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	---

Высота галереи, м

1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7
---	------	-----	------	---	-----	---	-----	---	-----	---	---	---

Принимается:

Ширина галереи b_r , м

Высота галереи h_r , м

Рассчитанная площадь одной водопроводной галереи, м^2 :

Принятая площадь одной галереи $b_r \times h_r$, м^2 :

Рассчитать площади галереи

Назад

Далее

Рисунок 16 – Число и площадь водопроводных галерей

Указания: в пункте 4.6 введите четное количество водопроводных галерей, в пункте 4.7 выберите размеры одной галереи из рекомендуемых, путем нажатия на необходимое значение. Далее нажмите кнопку «Рассчитать площади галереи».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

4.5 Расчет определена площадь водопроводных галерей по формуле:

$$\omega_r = \frac{4 \cdot \Omega \cdot \sqrt{H}}{\mu \cdot \sqrt{2g} \cdot T_{\text{нап}} \cdot (2 - k)}, \text{ м}^2 \quad \omega_r = 52,1$$

4.6 Назначается четное количество водопроводных галерей:

4

4.7 Выберите размеры одной галереи из рекомендуемых:

Ширина галереи, м

1	1,25	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7
---	------	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	---

Высота галереи, м

1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7
---	------	-----	------	---	-----	---	-----	---	-----	---	---	---

Принимается:

Ширина галереи b_r , м

4

Высота галереи h_r , м

3,5

Рассчитанная площадь одной водопроводной галереи, м^2 :

13,02

Принятая площадь одной галереи $b_r \times h_r$, м^2 :

14

Рассчитать площади галереи

Назад

Далее

Рисунок 17 – Расчет площадей водопроводной галереи

Указания: после расчета проверьте, чтобы принятая площадь не была ниже рассчитанной, в противном случае введите другое число галерей или другие размеры одной галереи и повторите расчет (рис.16). Для продолжения нажмите кнопку «Далее»

Гидравлический расчет системы питания судового шлюза

Подбор площадей выпусков
ведется по уравнению:

$$\left(\frac{m \cdot \omega_{\text{вн}}}{\omega_{1r}}\right)^2 \cdot \left(a_n + \frac{n^2}{m^2}\right) = a + b \frac{n}{m} \left(\frac{m \cdot \omega_{\text{вн}}}{\omega_{1r}}\right)$$

4.8 Введите число выпусков
приходящихся на одну галерею

Порядковый номер выпуска	Площадь выпуска, м ² :

Рассчитать площади
выпусков

Построить график изменения
площадей выпусков по длине
камеры

Назад Далее

Рисунок 18 – Площади выпусков

Указания: в пункте 4.8 введите число выпусков приходящихся на одну галерею и нажмите кнопку «Рассчитать площади выпусков»

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Подбор площадей выпусков
ведется по уравнению:

$$\left(\frac{m \cdot \omega_{\text{вп}}}{\omega_{1r}}\right)^2 \cdot \left(a_n + \frac{n^2}{m^2}\right) = a + b \frac{n}{m} \left(\frac{m \cdot \omega_{\text{вп}}}{\omega_{1r}}\right)$$

4.8 Введите число выпусков
приходящихся на одну галерею

Порядковый номер выпуска	Площадь выпуска, м ² :
1	0,218
16	0,244
32	0,272
48	0,295
64	0,309

Рассчитать площади
выпусков

Построить график изменения
площадей выпусков по длине
камеры

Назад Далее

Рисунок 19 – Расчет площадей выпусков

Указания: после расчета нажмите на кнопку «Построить график изменения площадей выпусков по длине камеры».

После просмотра графика нажмите кнопку «Далее».

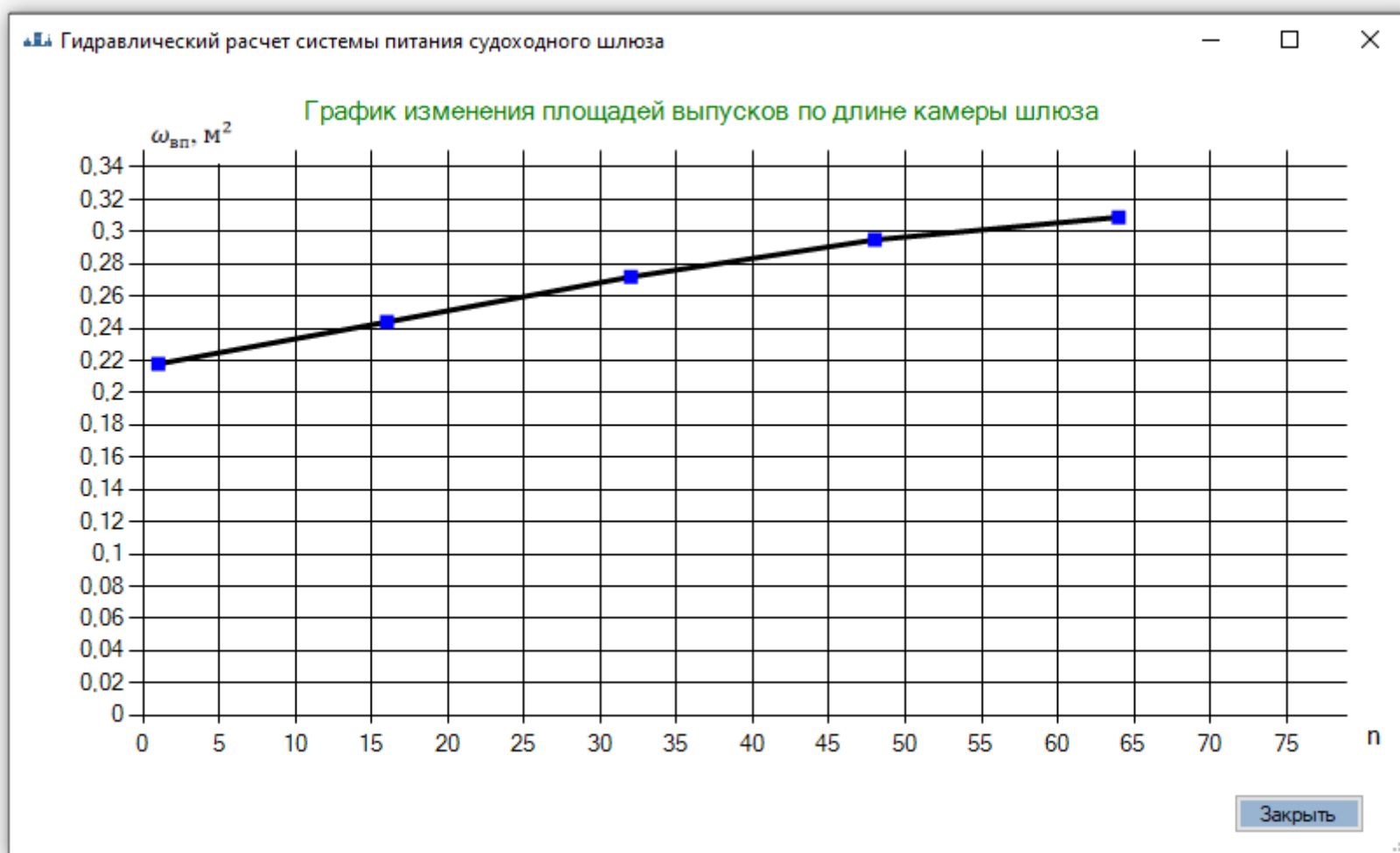


Рисунок 20 – График изменения площадей выпусков по длине камеры
Указания: после просмотра нажмите кнопку «Закреть» и продолжите расчет.

5. Гидравлические характеристики системы питания

К гидравлическим характеристикам относятся элементы, изменяющиеся в процессе наполнения (опорожнения) шлюза: напор, расход, давление за затворами водопроводных галерей. Гидравлические характеристики при распределительной системе строятся для галерей верхней головы. В качестве рабочих затворов галерей применяется герметический плоский затвор. Гидравлические характеристики строятся для промежутка времени $0 \leq t \leq t_3$

Время открытия затвора:

$$t_3 = k \cdot T_{\text{нап}}, \text{с}$$

Изменение напора во времени рассчитывается по зависимости:

$$\sqrt{h} = \sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2g} \cdot t_3}{2 \cdot \Omega} \int_a^n \mu'_n \cdot d_n, \text{м}$$

Изменение расхода во времени:

$$Q = \mu'_n \cdot \mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \text{м}^3/\text{с}$$

Скорость в галереях вычисляется по формуле:

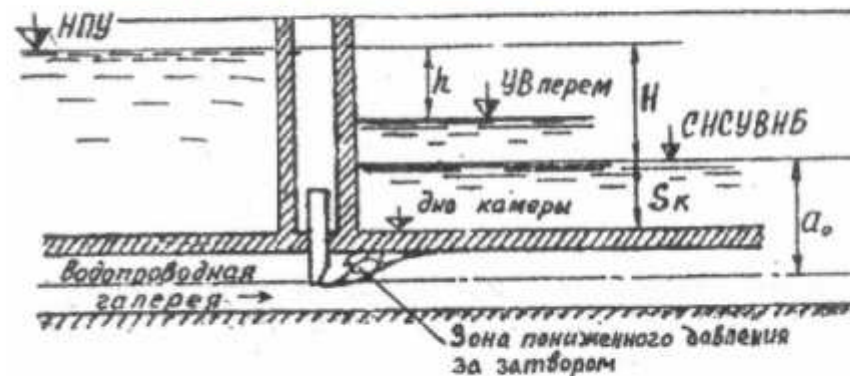
$$V = Q / \omega_r, \text{м/с}$$

Давление за затворами галерей:

$$P_{\text{сж}} = a_0 - k_p \cdot H, \text{м. вод. ст.}$$

Для расчета необходимо указать величину заглубления центра затвора под начальный уровень воды в нижнем бьефе, м:

$a_0 =$



Назад

Далее

Рисунок 21 – Гидравлические характеристики системы питания

Указания: для расчета необходимо задаться величиной заглубления центра затвора под начальный уровень воды в нижнем бьефе.

5. Гидравлические характеристики системы питания

К гидравлическим характеристикам относятся элементы, изменяющиеся в процессе наполнения (опорожнения) шлюза: напор, расход, давление за затворами водопроводных галерей. Гидравлические характеристики при распределительной системе строятся для галерей верхней головы. В качестве рабочих затворов галерей применяется герметический плоский затвор. Гидравлические характеристики строятся для промежутка времени $0 \leq t \leq t_3$

Время открытия затвора:

$$t_3 = k \cdot T_{\text{нап}}, c$$

Изменение напора во времени рассчитывается по зависимости:

$$\sqrt{h} = \sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2g} \cdot t_3}{2 \cdot \Omega} \int_a^n \mu'_n \cdot d_n, m$$

Изменение расхода во времени:

$$Q = \mu'_n \cdot \mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, m^3/c$$

Скорость в галереях вычисляется по формуле:

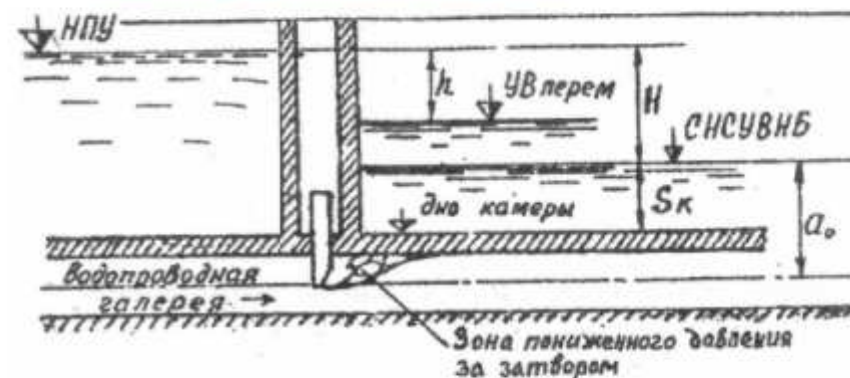
$$V = Q / \omega_r, m/c$$

Давление за затворами галерей:

$$P_{сж} = a_0 - k_p \cdot H, m. \text{ вод. ст.}$$

Для расчета необходимо указать величину заглубления центра затвора под начальный уровень воды в нижнем бьефе, м:

$a_0 = 7,75$



Назад

Далее

Рисунок 22 – Введите величину заглубления центра затвора под начальный уровень воды в нижнем бьефе
Указания: после ввода значения нажмите кнопку «Далее».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Вычисление гидравлических характеристик в промежутке времени $0 \leq t \leq t_3$

Степень открытия затвора, п						
Время $t = n \cdot k \cdot T_{\text{нап}}, \text{с}$						
$\int_a^n \mu'_n \cdot d_n$						
$\sqrt{h}, \text{м}^{0.5}$						
$h = \sqrt{h^2}, \text{м}$						
$\mu'_n = f(n, \mu)$						
$Q = \mu'_n \cdot \mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \text{м}^3/\text{с}$						
$V = Q/\omega_r, \text{м}^3/\text{с}$						
Превышение уровня воды в камере $y = H - h, \text{м}$						
ξ_3						
k_p						
$P_{\text{сж}} = a_0 - k_p \cdot H, \text{м. вод. ст.}$						

Рисунок 23 – Гидравлические характеристики системы питания в промежутке времени $0 < t < t_3$
 Указания: нажмите кнопку «Рассчитать гидравлические характеристики».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Вычисление гидравлических характеристик в промежутке времени $0 \leq t \leq t_3$

Степень открытия затвора, п	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Время $t = n \cdot k \cdot T_{\text{нап}}, \text{с}$	0	50	100	150	200	250
$\int_0^n \mu'_n \cdot d_n$	0	0,028	0,111	0,251	0,433	0,680
$\sqrt{h}, \text{м}^{0,5}$	3,61	3,53	3,32	2,96	2,49	1,85
$h = \sqrt{h}^2, \text{м}$	13	12,48	11,01	8,74	6,18	3,42
$\mu'_n = f(n, \mu)$	0	0,228	0,574	0,812	0,954	1
$Q = \mu'_n \cdot \mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \text{м}^3/\text{с}$	0	99,9	236,22	297,73	294,14	229,36
$V = Q/\omega_r, \text{м}/\text{с}$	0	1,78	4,22	5,32	5,25	4,1
Превышение уровня воды в камере $y = H - h, \text{м}$	0	0,52	1,99	4,26	6,82	9,58
ξ_3	∞	44,75	8,37	2,33	0,64	0,25
k_p	0	0,11	0,18	-0,1	-0,46	-0,74
$P_{\text{сж}} = a_0 - k_p \cdot H, \text{м. вод. ст.}$	7,75	6,26	5,4	9,05	13,73	17,33

Рисунок 24 – Расчет гидравлических характеристик

Указания: после расчета нажмите на кнопку «Построить график гидравлических характеристик». После просмотра графика нажмите кнопку «Результаты». Программа выдаст результаты расчета.

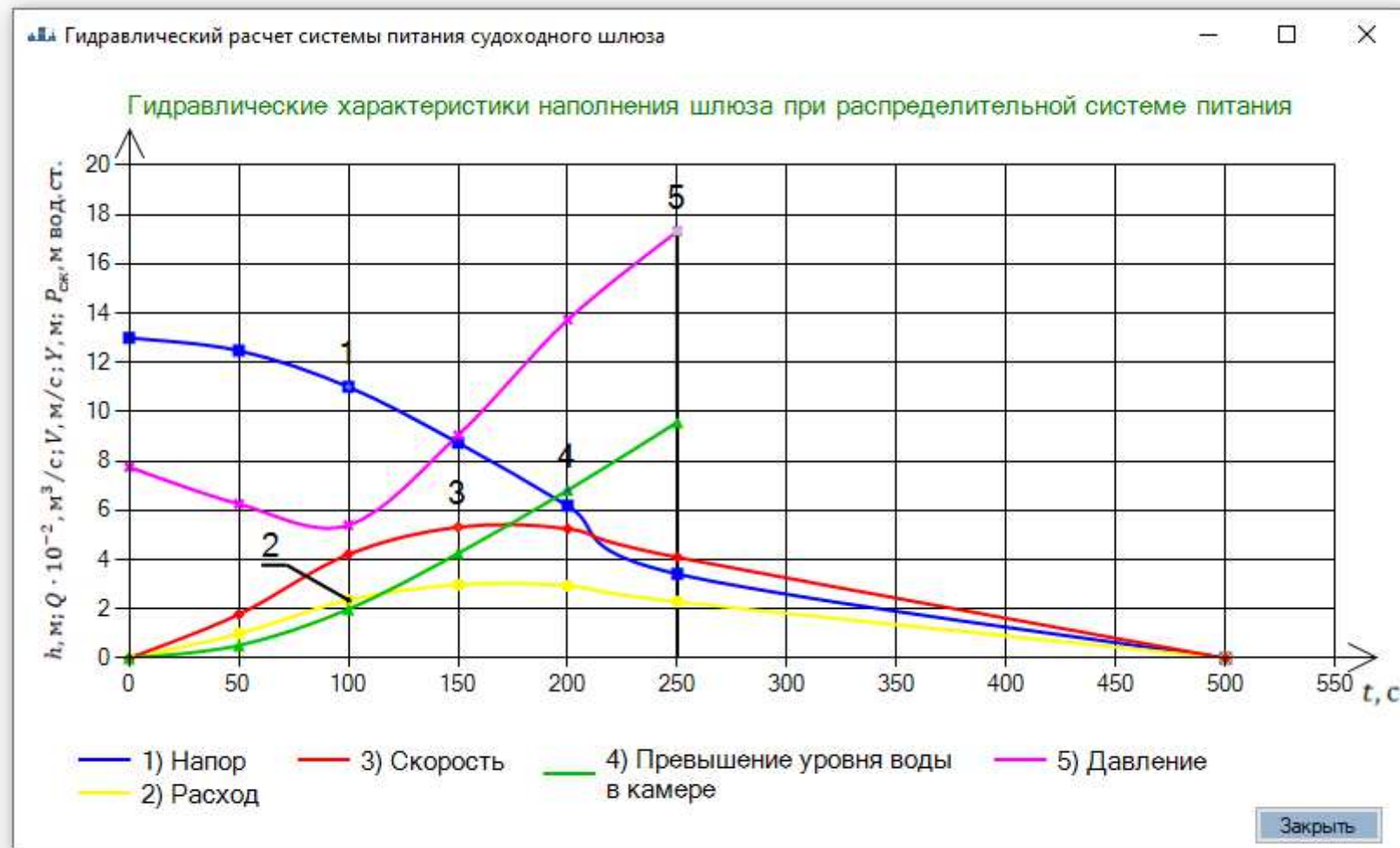


Рисунок 25 – График гидравлических характеристик наполнения шлюза при распределительной системе питания
Указания: после просмотра нажмите на кнопку «Закреть» и посмотрите результаты.



Рисунок 26 – Результаты гидравлического расчета простой распределительной системы питания
 Указания: после просмотра нажмите на кнопку «Завершить» и закончите расчет.

1.3.3. Получение результатов расчета

На последнем слайде программа выдаст исходные данные и полученные результаты расчета (рис. 26). Графики, построенные в программе можно вставить к себе в проект с помощью картинки (скриншота), сделанной с помощью клавиши «Print Sc SysRq» на клавиатуре вашего ПК.

2. ГОЛОВНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ ШЛЮЗА С НАПОЛНЕНИЕМ ИЗ-ПОД ЩИТА И ОПОРОЖНЕНИЕМ ЧЕРЕЗ КОРОТКИЕ ОБХОДНЫЕ ГАЛЕРЕИ В НИЖНИЙ БЬЕФ

2.1. Исходные данные для гидравлического расчета

2.1.1. Уровни воды в бьефах

Шлюз расположен в канале. Класс шлюза – II [2];

Судоходные уровни воды в верхнем и нижнем бьефах шлюза: СВСУВВБ = 38,00 м, СНСУВНБ = 32,00 м. Отметки уровней воды условные.

2.1.2. Расчетный состав судов

Размеры расчетного шлюзуемого состава судов: длина расчетного судна $l_c = 140,15$ м; ширина судна $b_c = 17$ м; осадка судна груженого $S_{cr} = 3,6$ м; число судов по длине состава $n_d = 2$, по ширине $n_{ш} = 1$.

Водоизмещение и грузоподъемность расчетного судна:

$$D = \delta \cdot l_c \cdot b_c \cdot S_{cr} \cdot \rho_{\text{воды}}, \text{ т.} \quad (2.1)$$

где δ – коэффициент полноты водоизмещения для грузовых судов; $\delta = 0,85$.

$\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды, т.с./м³.

$$D = 0,85 \cdot 140,15 \cdot 17 \cdot 3,6 \cdot 1 = 7290,6 \text{ т.}$$

2.1.3. Допустимое время наполнения камеры

Наибольшее возможное время наполнения шлюза исходя из требуемой пропускной способности $T_{\text{нап.макс}} = 14$ мин.

2.1.4. Основные размеры шлюза

Расчетный напор на шлюз:

$$H = \text{СВСУВВБ} - \text{СНСУВНБ}, \text{ м;} \quad (2.2)$$

$$H = 38,00 - 32,00 = 6,0 \text{ м.}$$

Полезная длина камеры шлюза:

$$L_{\text{ПК}} = n_d \cdot l_c + (n_d + 1) \cdot \Delta l, \text{ м;} \quad (2.3)$$

где Δl – запас по длине, м;

$$\Delta l = 2 + 0,03 \cdot l_c, \text{ м;} \quad (2.4)$$

$$\Delta l = 2 + 0,03 \cdot 140 = 6,2 \text{ м.}$$

$$L_{\text{ПК}} = 2 \cdot 140,15 + (2 + 1) \cdot 6,2 = 298,91 \text{ м.}$$

Полезная ширина камеры шлюза:

$$B_{\text{ПК}} = n_{\text{ш}} \cdot B_c + (n_{\text{ш}} + 1) \cdot \Delta B, \text{ м} \quad (2.5)$$

где ΔB – запас по ширине, м; принимается при ширине судна до 10 м – 0,2 м; до 18 м – 0,4 м; до 30 м – 0,75 м. Принимаем $\Delta B = 0,4$ м.

$$B_{\text{ПК}} = 1 \cdot 17 + (1 + 1) \cdot 0,4 = 17,8 \text{ м.}$$

Глубина на королях:

$$S_{\text{К}} \geq 1,3 \cdot S_{\text{СР}}, \text{ м,} \quad (2.6)$$

где $S_{\text{СР}}$ – осадка груженого судна, м;

$$S_{\text{К}} \geq 1,3 \cdot 3,6 = 4,68 \text{ м.}$$

Согласно [3] размеры камеры шлюза $L_{\text{ПК}}$, $B_{\text{ПК}}$, $S_{\text{К}}$ округлены в сторону увеличения по табл. 1 (см. раздел 1.1.4) и приняты равными:

$$L_{\text{ПК}} = 300 \text{ м;}$$

$$B_{\text{ПК}} = 20 \text{ м;}$$

$$S_{\text{К}} = 5 \text{ м.}$$

Назначены отметки королей верхней и нижней головы. Отсчет глубины $S_{\text{К}}$ – от минимальных судоходных уровней в бьефах. Отметка короля верхней головы 33,0 м; нижней головы 27,0 м.

На рис. 27 построен разрез по камере шлюза.

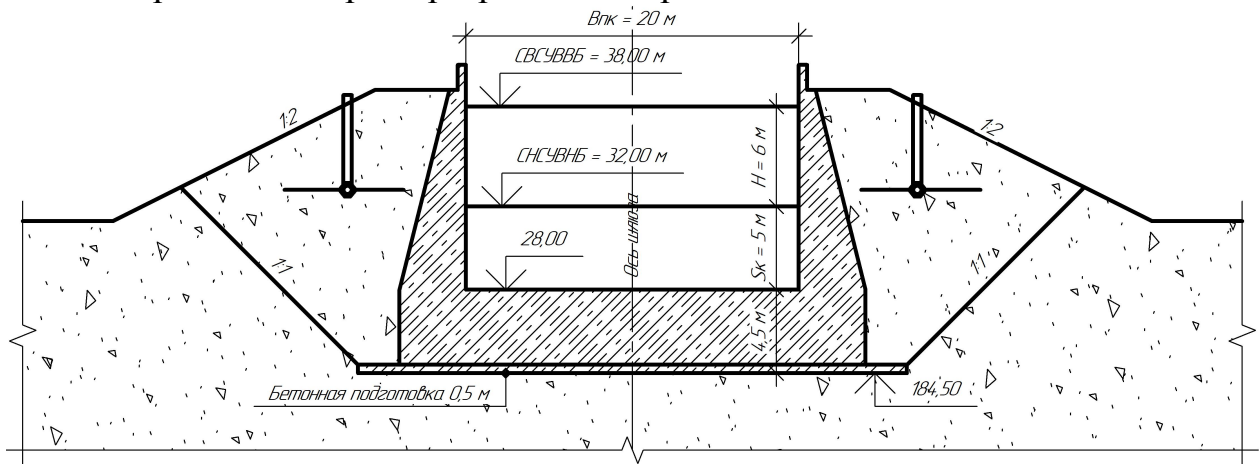


Рисунок 27 – Разрез по камере шлюза в примере расчета

2.1.5 Система питания и предъявляемые к ней требования

При выборе системы питания могут быть применены:

1) Сосредоточенная (головная) система с наполнением из-под ворот верхней головы и с опорожнением через короткие обходные галереи нижней головы шлюза.

2) Простая распределительная система питания с галереями в днище камеры и щелевыми выпусками из галерей.

Головную систему питания рекомендуется принимать при $H \cdot L_{\text{ПК}} \leq 2000$ и $H/S_{\text{К}} \leq 2$ в шлюзах с напором до $H = 15$ м. При больших значениях указанных показателей или при $H \geq 15$ м следует принимать распределительную систему. В примере:

$$H \cdot L_{\text{ПК}} = 6 \cdot 300 = 1800 < 2000,$$

$$H/S_{\text{К}} = 6/5 = 1,2.$$

Принята головная система питания с наполнением из-под ворот верхней головы и опорожнением через короткие обходные галереи нижней головы шлюза.

К системе питания предъявляются следующие основные требования:

1. Время наполнения-опорожнения камеры $T_{\text{нап.}}$ не должно превышать времени, возможного исходя из заданной пропускной способности шлюза $T_{\text{нап.макс}}$.
2. Наполнение и опорожнение камеры должно проходить при нормальных условиях стоянки судов в камере.

Условия стоянки судов в камере характеризуется гидродинамическими силами, воспринимаемыми судном при воздействии на него неустановившимся водным потоком. Продольные составляющие гидродинамических сил не должны быть больше допустимой величины $P_{\text{доп}}$, ограниченной прочностью швартовых канатов.

$$P_{\text{доп}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{D}, \text{ тс}, \quad (2.7)$$

где D – водоизмещение расчетного судна, т. В примере:

$$P_{\text{доп}} = 1,4 \cdot \sqrt[3]{7290,6} = 27,15 \text{ тс.}$$

В расчетах используется относительное значение:

$$\frac{1}{n_{\text{доп}}} = \frac{P_{\text{доп}}}{D}; \quad (2.8)$$

Откуда:

$$n_{\text{доп}} = \frac{D}{P_{\text{доп}}} = \frac{7290,6}{27,15} = 268,53.$$

2.2. Методика гидравлического расчета головной системы питания с наполнением из – под ворот верхней головы и опорожнением через короткие обходные галереи нижней головы шлюза

Расчет системы питания носит поверочный характер. Ведется согласно предварительно намеченной схеме системы (рис.28). Необходимо определить: высоту и скорость подъема ворот для наполнения камеры; время наполнения и опорожнения камеры; размеры гасительных устройств; размеры коротких обходных галерей нижней головы.

2.2.1. Определение высоты и скорости подъема ворот для наполнения камеры

Задается время открытия ворот верхней головы:

$$t_3 = k \cdot T_{\text{нап.макс}}, \text{ с}, \quad (2.9)$$

где k – относительный коэффициент времени открытия водопроводных отверстий. Принимается $k = 0,3$ по табл. 2 (см. раздел 1.2.1).

$$t_3 = 0,3 \cdot 840 = 252 \text{ с.}$$

Определяется допустимая по условиям стоянки судов площадь отверстия под воротами:

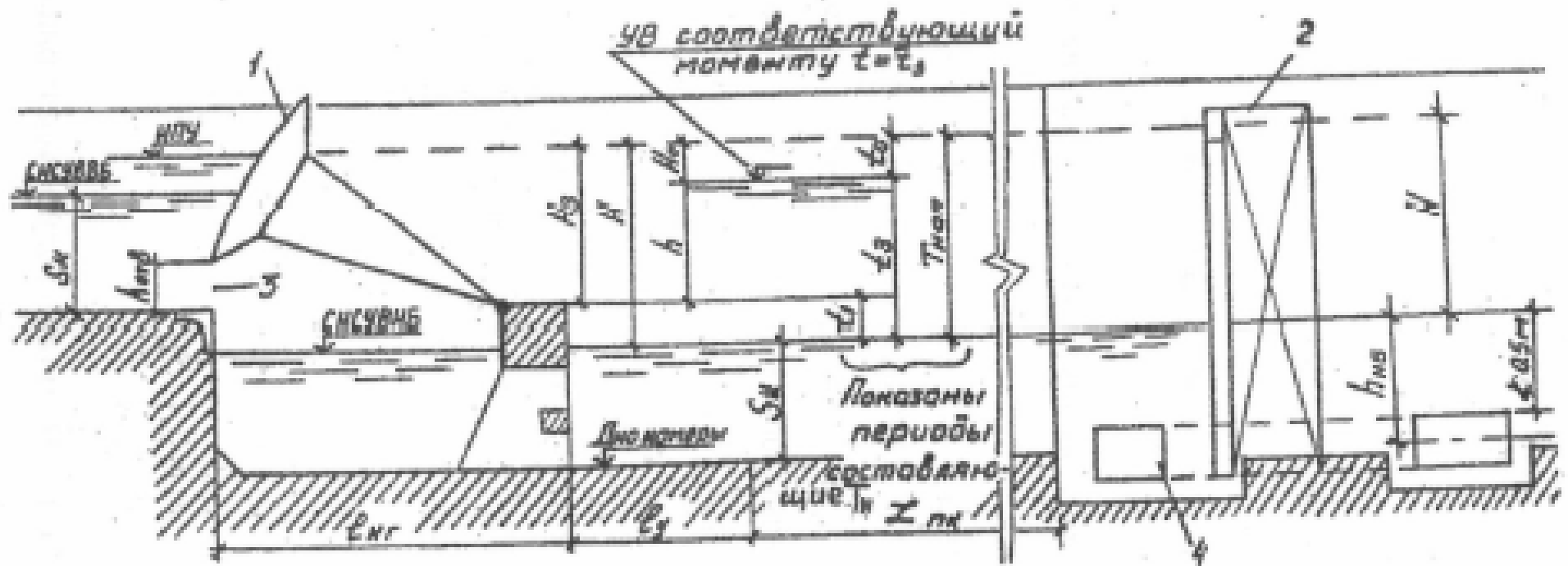


Рисунок 28 – Схема головной системы питания с наполнением камеры из-под щита и опорожнением через короткие обходные галереи [1]:

- 1,2 – рабочие ворота верхней и нижней голов; 3 – отверстие для наполнения камеры;
4 – галереи опорожнения камеры

$$\omega_{\text{отв}} = \frac{\sqrt{g} \cdot (\omega_k - \chi) \cdot t_3}{n_{\text{доп}} \cdot \mu \cdot \sqrt{2H_3}}, \text{ м}^3, \quad (2.10)$$

где μ – коэффициент расхода системы питания. Принимается $\mu = 0,6$ по табл. 2 (см. раздел 1.2.1).

H_3 – высота затвора (рис. 28). Принимается $H_3 = 5,5$ м.

ω_k и χ находятся по зависимостям (1.11) и (1.12).

Результаты вычислений:

$$\begin{aligned} \omega_k &= 20 \cdot 5,0 = 100 \text{ м}^2; \\ \chi &= 0,95 \cdot 1 \cdot 17 \cdot 3,6 = 58,14 \text{ м}^2. \\ \omega_{\text{отв}} &= \frac{\sqrt{9,81} \cdot (100 - 58,14) \cdot 252}{268,53 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,5} = 61,83 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

При ширине отверстия равной ширине камеры, высота его будет равна:

$$\begin{aligned} h_{\text{отв}} &= \frac{\omega_{\text{отв}}}{B_{\text{ПК}}}, \text{ м}; \\ h_{\text{отв}} &= \frac{61,83}{20} = 3,09 \text{ м}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

2.2.2. Определение времени наполнения (опорожнения) камеры

При известных t_3 и $\omega_{\text{отв}}$ ведётся расчёт времени наполнения камеры.

Король верхней головы (низ ворот) обычно расположен выше начального уровня воды в камере (выше СНСУВНБ). При этом в начале наполнения отверстие под воротами оказывается незатопленным. За момент затопления отверстия принимается момент подъема уровня воды в камере до низа отверстия. Время подъема уровня в камере до низа отверстия t_1 составит:

$$t_1 = \frac{2 \cdot \Omega \cdot (H - H_3)}{\mu \cdot \omega_{\text{отв}} \cdot \sqrt{2 \cdot g} - \sqrt{H_3}}, \text{ с}, \quad (2.12)$$

где Ω находится по зависимости (1.10), это площадь зеркала камеры.

Результат вычисления:

$$\begin{aligned} \Omega &= 20 \cdot 300 = 6000 \text{ м}^2. \\ t_1 &= \frac{2 \cdot 6000 \cdot (6 - 5,5)}{0,6 \cdot 61,83 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} - \sqrt{5,5}} = 37,04 \text{ с}. \end{aligned}$$

Затем отверстие начинает работать по типу затопленного. За время до окончания открытия ворот ($t_3 - t_1$) уровень воды в камере поднимется на высоту:

$$h = H_3 - H_0, \text{ м}; \quad (2.13)$$

где H_0 – напор, оставшийся в момент полного открытия отверстия, определяется из зависимости:

$$\sqrt{H_o} = \sqrt{H_3} - \frac{\mu \cdot \omega_{\text{отв}} \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{4 \cdot \Omega \cdot t_3} \cdot (t_3^2 - t_1^2); \quad (2.14)$$

$$\sqrt{H_o} = \sqrt{5,5} - \frac{0,6 \cdot 61,83 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}}{4 \cdot 6000 \cdot 252} \cdot (252^2 - 37,04^2) = 0,66 \text{ м.}$$

$$h = 5,5 - 0,44 = 5,06 \text{ м.}$$

Иногда по формуле (2.14) для H_o может получиться отрицательный результат, указывающий на то, что камера наполнилась до окончания открытия отверстия под воротами. В этом случае следует уменьшить время открытия ворот (2.9) и повторить вычисления (2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14).

С момента полного открытия отверстия до момента окончания наполнения камеры пройдет время:

$$t_o = \frac{2 \cdot \Omega \cdot \sqrt{H_o}}{\mu \cdot \omega_{\text{отв}} \cdot \sqrt{2 \cdot g}}, \text{ с}; \quad (2.15)$$

$$t_o = \frac{2 \cdot 6000 \cdot \sqrt{0,44}}{0,6 \cdot 61,83 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} = 48,2 \text{ с.}$$

Полное время наполнения камеры будет равно:

$$T_{\text{доп.}} = t_3 + t_o, \text{ с}; \quad (2.16)$$

$$T_{\text{доп.}} = 252 + 48,2 = 300,2 \text{ с.}$$

Это минимально допустимое по условиям стоянки судов время наполнения камеры.

Время наполнения камеры $T_{\text{нап}}$ принимается из диапазона:

$$T_{\text{доп.}} \leq T_{\text{нап}} \leq T_{\text{нап.макс.}} \quad (2.17)$$

Принято $T_{\text{нап}} = 360 \text{ сек} = 6 \text{ мин.}$

Время опорожнения камеры принимается равным времени ее наполнения $T_{\text{оп}} = T_{\text{нап}} = 6 \text{ минут.}$

2.2.3. Определение размеров гасительных устройств

Определяется объем камеры гашения $W_{\text{кг}}$ и её длина $l_{\text{кг}}$, а также длина успокоительного участка L_y :

$$W_{\text{кг}} = \frac{11,3 \cdot A \cdot \sqrt{\mu \cdot \omega_{\text{отв}} \cdot \Omega} \cdot \sqrt[4]{H_3} \cdot H^{3/2}}{\sqrt{k \cdot T_{\text{нап}}}}, \text{ м}^3; \quad (2.18)$$

$$l_{\text{кг}} = \frac{W_{\text{кг}}}{B_{\text{пк}} \cdot (S_{\text{к}} + H - H_3)}, \text{ м}; \quad (2.19)$$

$$l_y = 11,3 \cdot B \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot \omega_{\text{отв}} \cdot L_{\text{пк}} \cdot \sqrt{H_3}}{k \cdot T_{\text{нап}} \cdot B_{\text{пк}}}} \cdot \frac{H^3}{(S_{\text{к}} + 0,33 \cdot H)}, \text{ м}; \quad (2.20)$$

где A и B – коэффициенты, зависящие от качества работы гасительных устройств: $A = 0,2 - 0,25$; $B = 0,2 - 0,3$. Принято $A = 0,225$, $B = 0,25$.

$$W_{\text{кг}} = \frac{11,3 \cdot 0,225 \cdot \sqrt{0,6 \cdot 61,83 \cdot 6000} \cdot \sqrt[4]{5,5} \cdot 6^{3/2}}{\frac{\sqrt{0,3 \cdot 360}}{2597,87}} = 2597,87 \text{ м}^3.$$

$$l_{\text{кг}} = \frac{2597,87}{20 \cdot (5 + 6 - 5,5)} = 23,62 \text{ м}.$$

$$l_y = 11,3 \cdot 0,25 \cdot \sqrt{\frac{0,6 \cdot 61,83 \cdot 300 \cdot \sqrt{5,5}}{0,3 \cdot 360 \cdot 20}} \cdot \frac{6^{\frac{3}{2}}}{(5,0 + 0,33 \cdot 6)} = 20,68 \text{ м}.$$

2.2.4. Определение размеров коротких обходных галерей нижней головы

Выполняется расчет системы опорожнения камеры через короткие обходные галереи нижней головы.

Расчет системы опорожнения состоит в определении размеров затопленных водопроводных галерей.

Площадь сечения галерей определяется по формуле (1.14).

Для опорожнения через короткие обходные галереи принимаются коэффициент расхода системы питания μ (ориентировочно) и относительное время открытия водопроводных галерей k по табл. 2 (см. раздел 1.2.1): $\mu = 0,7$; $k = 0,6$.

Результат вычисления:

$$\omega_r = \frac{4 \cdot 6000 \cdot \sqrt{6}}{0,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,81 \cdot 360 \cdot (2 - 0,6)} = 37,62 \text{ м}^2.$$

Назначается число галерей и их размеры. Рекомендуемые размеры сечения галерей – в табл. 3 (см. раздел 1.2.2).

В примере взято число галерей – 4. Рассчитанная площадь сечения одной галереи $37,62/4 = 9,4 \text{ м}^2$. Принятая площадь сечения галереи $b_r \times h_r = 3,5 \times 3,0 = 10,5 \text{ м}^2$.

2.2.5. Гидравлические характеристики системы питания

К гидравлическим характеристикам системы питания шлюза относятся элементы, изменяющиеся в процессе наполнения (опорожнения) шлюза: напор h , м; расход воды в галереях Q , м³/с; давление за затворами водопроводных галерей $P_{\text{сж}}$, м вод. ст.

В примере при головной системе питания гидравлические характеристики строятся для процесса опорожнения камеры через короткие обходные галереи нижней головы шлюза.

В качестве рабочих затворов галерей применены герметические плоские затворы (рис. 4).

Схема открытия затвора галереи – равномерное открытие в течение времени $t_3 = k \cdot T_{\text{нап(оп)}}$. В течение времени открытия затвора $0 < t < t_3$, коэффициент расхода системы μ_n переменный $\mu_n \neq \text{const}$. Далее при $t_3 <$

$t < T_{\text{нап(оп)}}$ опорожнение идет при полностью открытых затворах и $\mu_n = \text{const}$.

При назначенном $k = 0,6$ (см. раздел 2.2.4) и принятом в результате расчета $T_{\text{оп}} = 360$ с (см. раздел 2.2.2) время открытия затвора галереи равно $t_3 = 0,6 \cdot 360 = 216$ с.

В примере исследуются гидравлические характеристики в период $0 < t < t_3$, т.е. $0 < t < 252$ с.

Изменение напора во времени $h = f(t)$ рассчитывается по зависимости:

$$\sqrt{h} = \sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega_{\Gamma} \cdot \sqrt{2g} \cdot t_3}{2 \cdot \Omega} \cdot \int_a^n \mu'_n \cdot d_n, \quad (2.21)$$

где μ'_n – переменный относительный коэффициент расхода системы $\mu'_n = \mu_n / \mu$;

μ – коэффициент расхода, принят $\mu = 0,7$ (см. раздел 2.2.4).

Значения интеграла $\int_a^n \mu'_n \cdot d_n$ приведены для коэффициента расхода системы $\mu = 0,7$ при различных степенях открытия затвора $n = t/t_3$ в третьей строке табл. 5 [1].

Изменение расхода воды во времени $Q = f(t)$ описывается зависимостью:

$$Q = \mu'_n \cdot \mu \cdot \omega_{\Gamma} \cdot \sqrt{2gh}, \text{ м}^3/\text{с}; \quad (2.22)$$

где μ'_n – принимается как функция $\mu'_n = f(n, \mu)$ для плоского затвора, значения которой приведены в шестой строке таблицы 5 [1].

Скорость воды в галереях $V_{\Gamma} = f(t)$, вычисляется как:

$$V_{\Gamma} = \frac{Q}{\omega_{\Gamma}}, \text{ м/с}; \quad (2.23)$$

Давление за затвором галереи (избыточное над атмосферным) равно:

$$P_{\text{сж}} = a - k_p \cdot H, \text{ м вод. ст.}, \quad (2.24)$$

где a – заглубление центра затвора под начальный уровень воды, в нижнем бьефе, м (см. рис. 4);

k_p – безразмерный коэффициент определяемый по формуле:

$$k_p = k' = h' \cdot \mu_n^2 \cdot (1 + 2 \cdot \sqrt{\xi_{\text{зп}}} - \xi_{\Gamma}); \quad (2.25)$$

где $u_n = u'_n \cdot u$;

$h' = h/H$;

$\xi_{\text{зп}}$ – коэффициент сопротивления затвора – по табл. 3.5 из учебного пособия [1];

ξ_{Γ} – коэффициент сопротивления участка галереи за затворами, $\xi_{\Gamma} = 2$.

Результаты вычислений $h = f(t)$, $Q = f(t)$, $V_{\Gamma} = f(t)$, $P_{\text{сж}} = f(t)$ представлены в табл. 5 для степеней открытия затвора $n = \frac{t}{t_3} = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$.

По данным вычислений построены графики гидравлических характеристик системы питания (рис. 29).

Т.о. задачи, поставленные для гидравлического расчета, выполнены, расчет завершен.

Таблица 5

Расчет гидравлических характеристик головной системы питания шлюза для
процесса опорожнения камеры

Степень открытия затвора, n		(1)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Время, с		(2)	0	43,2	86,4	129,6	172,8	216
Напор	$\int_a^n \mu'_n \cdot d_n$	(3)	0	0,021	0,085	0,202	0,367	0,562
	$\sqrt{h}, \text{м}^{0,5}$	(4)	2,45	2,4	2,25	1,98	1,59	1,13
	$h = (4)^2, \text{м}$	(5)	6	5,76	5,06	3,9	2,53	1,28
Рас- ход	$\mu'_n = f(n, \mu)$	(6)	0	0,210	0,449	0,705	0,916	1
	$Q = \mu \omega_r \sqrt{2g} \cdot (4) \cdot (6), \text{м}^3/\text{с}$	(7)	0	65,63	131,53	181,31	189,74	147,33
Скорость в галереях, м/с		(8)	0	1,56	3,13	4,32	4,52	3,51
Понижение уровня воды в камере в м от СВСУВВБ = 38,00		(9)	0	0,24	0,94	2,1	3,47	4,72
Давление за затвором галереи	ξ_3	(10)	∞	44,75	8,37	2,33	0,64	0,25
	K_p	(11)	0	0,26	0,4	0,32	0,1	0
	$P_{\text{СЖ}}, \text{м вод. ст.}$	(12)	7,5	5,96	5,11	5,55	6,88	7,5

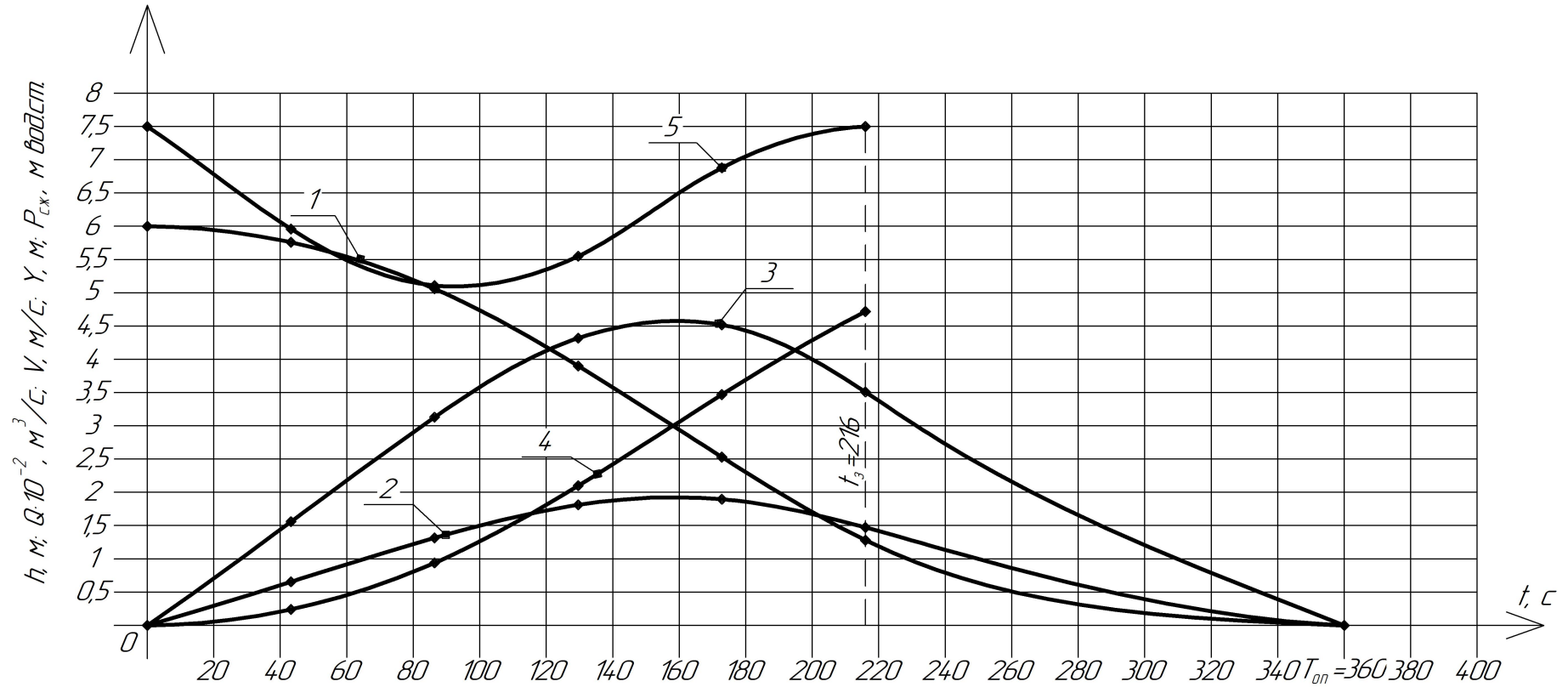


Рисунок 29 – Гидравлические характеристики опорожнения при головной системе питания: 1 – Напор $h = f(t)$; 2 – Расход воды $Q = f(t)$; 3 – Скорость воды в галереях $V_r = f(t)$; 4 – Превышение уровня воды в камере; 5 – Давление за затвором галереи $P_{сж} = f(t)$.

Примечание. Графики построены по расчету для периода времени $0 < t < 216$ с. Для периода $216 \text{ с} = t_3 < t < T_{нап} = 360$ с проведены ориентировочно

2.3. Компьютерная программа расчета головной системы питания с примером

2.3.1. Иллюстрация работы программы на примере расчета

Весь процесс работы программы по расчету представлен на рисунках 30-51, с указаниями к каждому шагу. Пояснения к работе программы имеются в разделе 1.3.1.

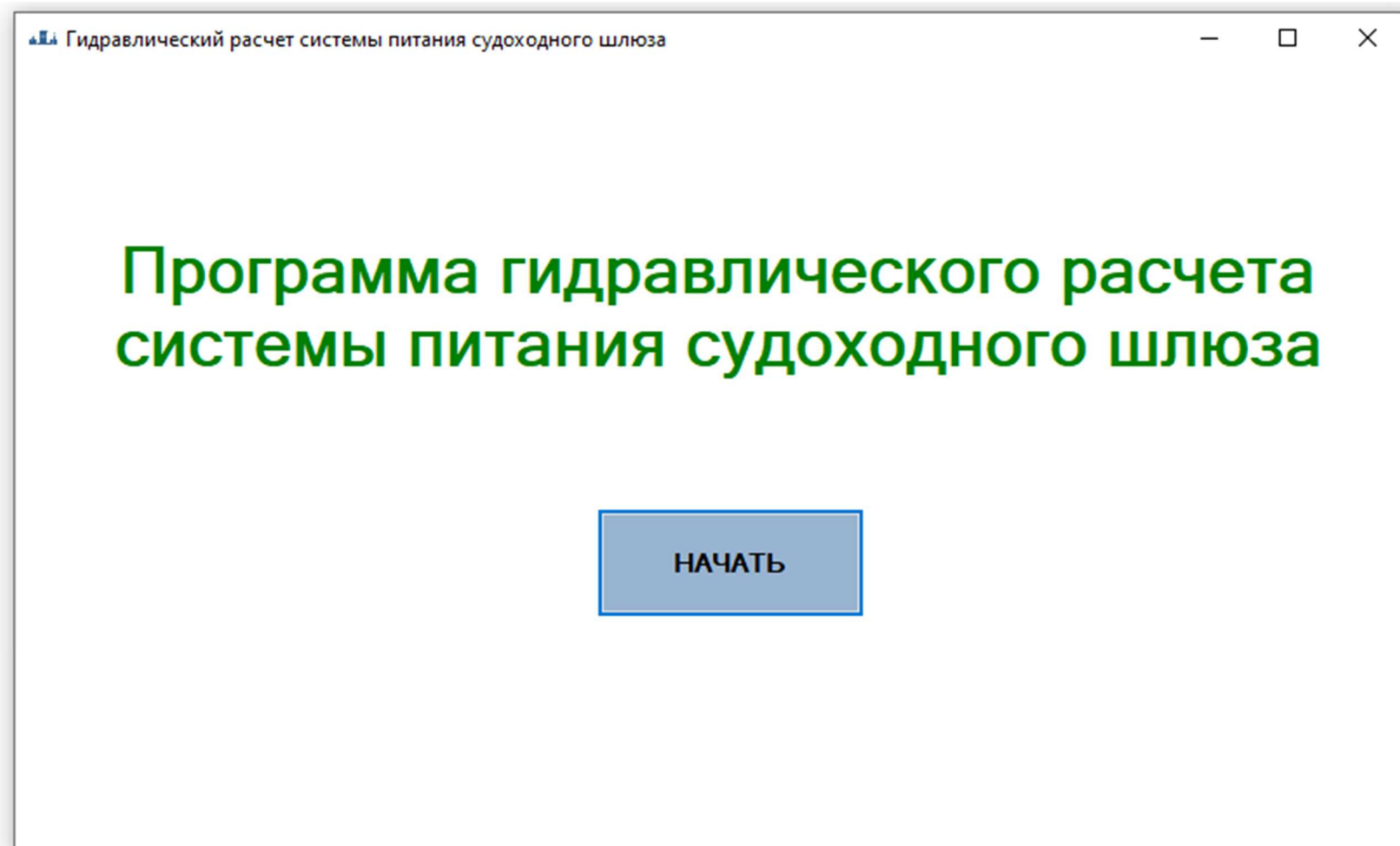


Рисунок 30 – Начало гидравлического расчета системы питания судового шлюза
Указания: чтобы начать расчет нажмите кнопку «Начать».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

1. Исходные данные для гидравлического расчета

Введите исходные данные:

СВСУВВБ, м БС	<input type="text"/>
СНСУВНБ, м БС	<input type="text"/>
Длина расчетного судна l_c , м	<input type="text"/>
Ширина расчетного судна b_c , м	<input type="text"/>
Осадка судна груженого S_{cr} , м	<input type="text"/>
Число судов по длине состава n_d , шт	<input type="text"/>
Число судов по ширине состава $n_{ш}$, шт	<input type="text"/>
Наибольшее возможное время наполнения шлюза $T_{нап.макс}$, мин	<input type="text"/>

Назад Далее

Рисунок 31 – Исходные данные для гидравлического расчета

Указания: напротив каждого параметра с помощью клавиатуры введите значение, соответствующее данному параметру в определенный прямоугольник.

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

1. Исходные данные для гидравлического расчета

Введите исходные данные:

СВСУВВБ, м БС	<input type="text" value="38"/>
СНСУВНБ, м БС	<input type="text" value="32"/>
Длина расчетного судна l_c , м	<input type="text" value="140,15"/>
Ширина расчетного судна b_c , м	<input type="text" value="17"/>
Осадка судна груженого S_{cr} , м	<input type="text" value="3,6"/>
Число судов по длине состава n_d , шт	<input type="text" value="2"/>
Число судов по ширине состава $n_{ш}$, шт	<input type="text" value="1"/>
Наибольшее возможное время наполнения шлюза $T_{нап.макс}$, мин	<input type="text" value="14"/>

Назад Далее

Рисунок 32 – Ввод исходных данных для гидравлического расчета
 Указания: после введения каждого значения, нажмите кнопку «Далее».
 Примечание: в примере расчета отметки условные (см. раздел 2.1.1)

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

2. Основные размеры шлюза

Расчетный напор на шлюз определяется по формуле:

$$H = \text{СВСУВВВ} - \text{СНСУВНБ}, \text{ м}$$

Полезная длина камеры шлюза определяется по формуле:

$$L_{\text{пк}} = n_{\text{д}} \cdot l_{\text{с}} + (n_{\text{д}} + 1) \cdot \Delta l, \text{ м}$$

где Δl – запас по длине, м; определяется по формуле:

$$\Delta l = 2 + 0,03 \cdot l_{\text{с}}, \text{ м}$$

Полезная ширина камеры определяется по формуле:

$$B_{\text{пк}} = n_{\text{ш}} \cdot B_{\text{с}} + (n_{\text{ш}} + 1) \cdot \Delta b, \text{ м}$$

где Δb – запас по ширине, м; принимается при ширине судна:
до 10 м – 0,2 м; до 18 м – 0,4 м; до 30 м – 0,75 м

Глубина на королях шлюза определяется по формуле:

$$S_{\text{к}} \geq 1,3 \cdot S_{\text{ср}}, \text{ м}$$

Рассчитанные величины:

$H =$	6
$\Delta l =$	6,2
$L_{\text{пк}} =$	298,91
$\Delta b =$	0,4
$B_{\text{пк}} =$	17,8
$S_{\text{к}} =$	4,68

Рисунок 33 – Основные размеры шлюза

Указания: на данном шаге программой рассчитаны основные размеры шлюза, после ознакомления нажмите кнопку «Далее»

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Рассчитанные значения: $B_{\text{пк}} = 17,8$ $L_{\text{пк}} = 298,91$ $S_{\text{к}} = 4,68$

следует округлять в сторону увеличения до ближайших размеров, приведенных в таблице ниже.

Назначьте основные габаритные размеры шлюза:

$B_{\text{пк}}, \text{м}$	37	37	30	20	20	18	15	15	12	8	6
$L_{\text{пк}}, \text{м}$	400	300	300	300	150	150	150	100	100	50	35
$S_{\text{к}}, \text{м}$	6	6	6	5,5	5,5	5,5	4	3	3	3	1,5
	5,5	5,5	5,5	5	5	5	3,5	2,5	2,5	2,5	1
	5	5	5	4,5	4,5	4,5	3	2	2	2	2
	-	-	-	4	4	4	-	-	1,5	1,5	-

Основные габаритные размеры шлюза приняты равными:

$B_{\text{пк}} =$ $L_{\text{пк}} =$ $S_{\text{к}} =$

Назад Далее

Рисунок 34 – Габаритные размеры шлюза

Указания: после вычисления основных размеров необходимо назначить рекомендуемые размеры шлюза из таблицы, путем нажатия на необходимое значение.

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Рассчитанные значения: $B_{\text{пк}} = 17,8$ $L_{\text{пк}} = 298,91$ $S_{\text{к}} = 4,68$

следует округлять в сторону увеличения до ближайших размеров, приведенных в таблице ниже.

Назначьте основные габаритные размеры шлюза:

$B_{\text{пк}}, \text{м}$	37	37	30	20	20	18	15	15	12	8	6
$L_{\text{пк}}, \text{м}$	400	300	300	300	150	150	150	100	100	50	35
$S_{\text{к}}, \text{м}$	6	6	6	5,5	5,5	5,5	4	3	3	3	1,5
	5,5	5,5	5,5	5	5	5	3,5	2,5	2,5	2,5	1
	5	5	5	4,5	4,5	4,5	3	2	2	2	2
	-	-	-	4	4	4	-	-	1,5	1,5	-

Основные габаритные размеры шлюза приняты равными:

$B_{\text{пк}} =$ $L_{\text{пк}} =$ $S_{\text{к}} =$

Назад Далее

Рисунок 35 – Принятие основных габаритных размеров шлюза

Указания: после принятия основных габаритных размеров шлюза нажмите кнопку «Далее».

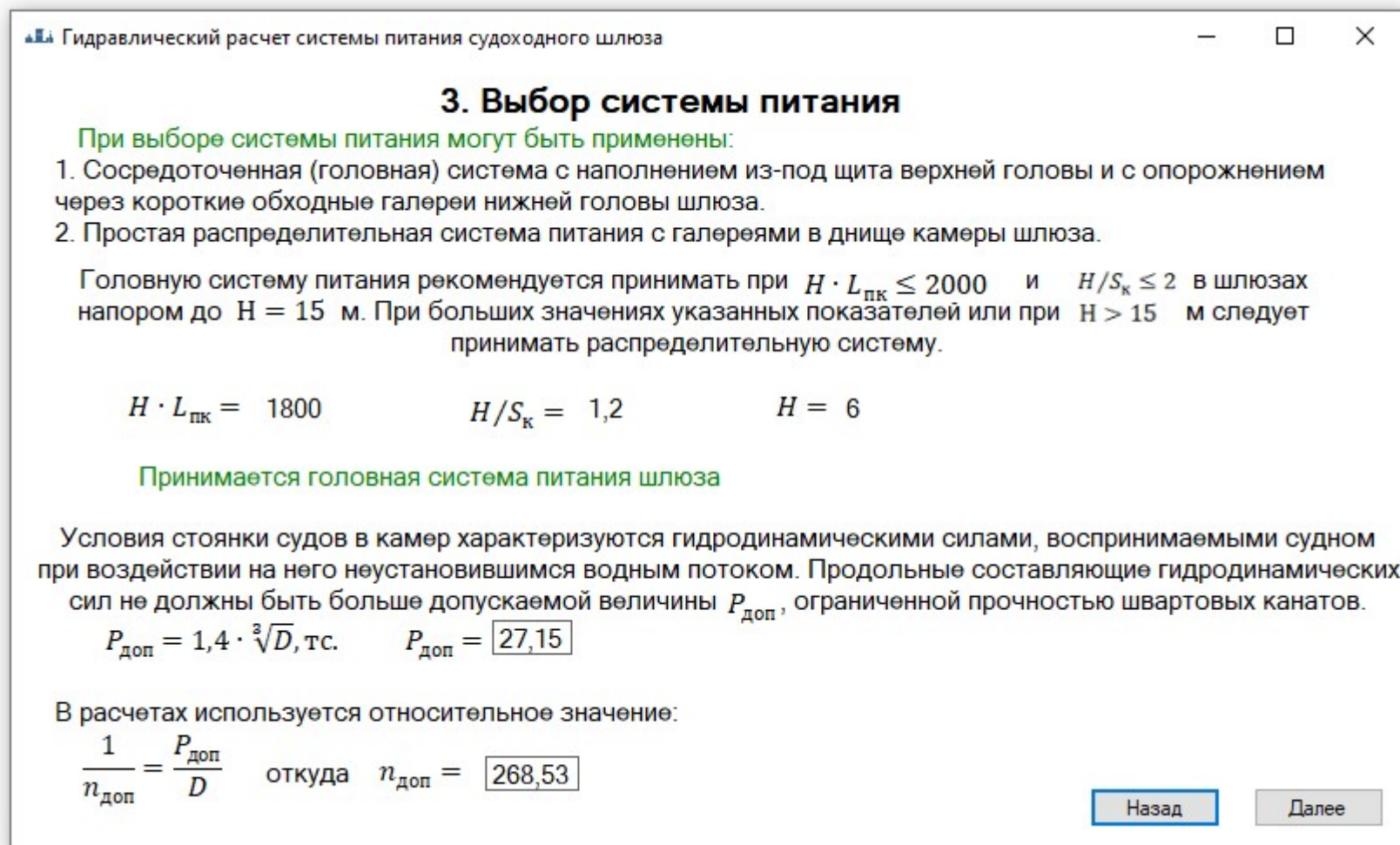


Рисунок 36 – Выбор системы питания

Указания: на данном шаге программа по описанным параметрам определяет систему питания. Для продолжения нажмите кнопку «Далее».

4. Гидравлический расчет головной системы питания с наполнением из-под щита и опорожнением через короткие обходные галереи

Расчетом необходимо определить:

1. Высоту и скорость подъема ворот для наполнения камеры;
2. Время наполнения и опорожнения камеры;
3. Размеры гасительных устройств;
4. Размеры коротких обходных галерей.

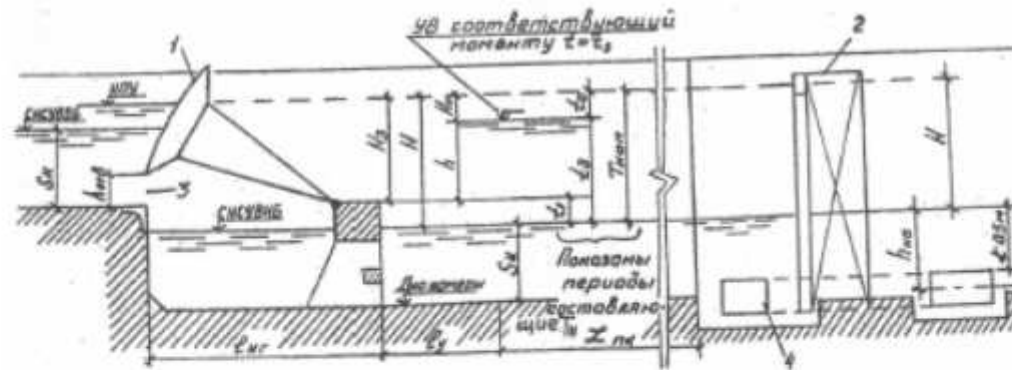


Схема головной системы питания с наполнением камеры из-под щита и опорожнением через короткие обходные галереи:

1, 2 – рабочие ворота верхней и нижней голов; 3 – отверстие для наполнения камеры;
4 – галерея опорожнения камеры

Назад

Далее

Рисунок 37 – Задачи гидравлического расчета головной системы питания

Указания: для продолжения нажмите кнопку «Далее».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

4.1 Перед началом расчета необходимо задаться следующими величинами:

коэффициент расхода - $\mu = 0,5-0,6$

относительное время открытия водопроводных отверстий - $k \leq 0,8$

высота затвора - $H_з$, м

4.2 Для дальнейших расчетов программой рассчитаны следующие величины:

Ω – площадь зеркала камеры, m^2 6000

ω_k – площадь живого сечения камеры при наинизшем судоходном уровне воды в ней, m^2 100

χ – площадь миделевого сечения состава судов при осадке их в полном грузу, m^2 58,14

4.3 Задается время открытия ворот верхней головы:

$t_3 = k \cdot T_{нап.макс}$, с $t_3 =$

4.4 Определяется наибольшая допустимая по условиям стоянки судов площадь отверстия по формуле:

$$\omega_{отв} = \frac{\sqrt{g} \cdot (\omega_k - \chi) \cdot t_3}{n_{доп} \cdot \mu \cdot \sqrt{2H_з}}, m^3$$

$\omega_{отв} =$

4.5 Высота отверстия определяется по формуле:

$$h_{отв} = \frac{\omega_{отв}}{B_{пк}}, m$$

$h_{отв} =$

Рассчитать время открытия ворот, площадь и высоту отверстия

Назад Далее

Рисунок 38 – Площадь отверстия для наполнения шлюза

Указания: в пункте 4.1 введите необходимые значения напротив каждого параметра.

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

4.1 Перед началом расчета необходимо задаться следующими величинами:

коэффициент расхода - $\mu = 0,5-0,6$

относительное время открытия водопроводных отверстий - $k \leq 0,8$

высота затвора - H_3 , м

4.2 Для дальнейших расчетов программой рассчитаны следующие величины:

Ω – площадь зеркала камеры, m^2 6000

ω_k – площадь живого сечения камеры при наинизшем судоходном уровне воды в ней, m^2 100

χ – площадь миделевого сечения состава судов при осадке их в полном грузу, m^2 58,14

4.3 Задается время открытия ворот верхней головы:

$$t_3 = k \cdot T_{\text{нап.макс}}, c \quad t_3 = 252$$

4.4 Определяется наибольшая допустимая по условиям стоянки судов площадь отверстия по формуле:

$$\omega_{\text{отв}} = \frac{\sqrt{g} \cdot (\omega_k - \chi) \cdot t_3}{n_{\text{доп}} \cdot \mu \cdot \sqrt{2H_3}}, m^3$$

$$\omega_{\text{отв}} = 61,83$$

4.5 Высота отверстия определяется по формуле:

$$h_{\text{отв}} = \frac{\omega_{\text{отв}}}{B_{\text{пк}}}, m$$

$$h_{\text{отв}} = 3,09$$

Рассчитать время открытия ворот, площадь и высоту отверстия

Назад Далее

Рисунок 39 – Расчет времени наполнения камеры шлюза

Указания: после ввода значений в пункте 4.1, нажмите кнопку рассчитать в пункте 4.5 для определения времени открытия ворот, площади и высоты отверстия.

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Расчетом будет определено время подъема уровня в камере до низа отверстия по формуле:

$$t_1 = \frac{2 \cdot \Omega \cdot (H - H_2)}{\mu \cdot \omega_{отв} \cdot \sqrt{2 \cdot g} - \sqrt{H_2}}, \text{с}$$

За время до окончания открытия ворот уровень воды поднимется на высоту:

$$h = H_3 - H_o, \text{м}$$

Напор установившийся в момент полного открытия отверстия определяется по формуле:

$$\sqrt{H_o} = \sqrt{H_3} - \frac{\mu \cdot \omega_{отв} \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{4 \cdot \Omega \cdot t_3} \cdot (t_3^2 - t_1^2), \text{м}$$

С момента полного открытия отверстия до момента окончания наполнения камеры пройдет время:

$$t_o = \frac{2 \cdot \Omega \cdot \sqrt{H_o}}{\mu \cdot \omega_{отв} \cdot \sqrt{2 \cdot g}}, \text{с}$$

Полное допустимое время будет равно:

$$T_{доп.} = t_3 + t_o, \text{с}$$

Расчитанные величины:

$t_1 =$	37,04
$\sqrt{H_o} =$	0,66
$h =$	5,06
$t_o =$	48,19
$T_{доп.} =$	300,19

4.6 Окончательное время наполнения камеры принимается на 3-5% больше $T_{доп.}$:

$$T_{доп.} \leq T_{нап} \leq T_{нап.макс.}$$

$$300,19 \leq \boxed{} \leq 840$$

Время опорожнения камеры принимается:

$$T_{оп} = T_{нап}$$

Назад Далее

Рисунок 40 – Расчет времени наполнения камеры шлюза

Указания: программой рассчитано допустимое время наполнения камеры. Значение $\sqrt{H_o}$ иногда может получаться отрицательным, в этом случае необходимо уменьшить коэффициент k на предыдущем слайде и повторить расчет.

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Расчетом будет определено время подъема уровня в камере до низа отверстия по формуле:

$$t_1 = \frac{2 \cdot \Omega \cdot (H - H_2)}{\mu \cdot \omega_{отв} \cdot \sqrt{2 \cdot g - \sqrt{H_2}}}, \text{с}$$

За время до окончания открытия ворот уровень воды поднимется на высоту:

$$h = H_3 - H_o, \text{м}$$

Напор установившийся в момент полного открытия отверстия определяется по формуле:

$$\sqrt{H_o} = \sqrt{H_3} - \frac{\mu \cdot \omega_{отв} \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{4 \cdot \Omega \cdot t_3} \cdot (t_3^2 - t_1^2), \text{м}$$

С момента полного открытия отверстия до момента окончания наполнения камеры пройдет время:

$$t_o = \frac{2 \cdot \Omega \cdot \sqrt{H_o}}{\mu \cdot \omega_{отв} \cdot \sqrt{2 \cdot g}}, \text{с}$$

Полное допустимое время будет равно:

$$T_{доп.} = t_3 + t_o, \text{с}$$

Расчитанные величины:

$t_1 =$	37,04
$\sqrt{H_o} =$	0,66
$h =$	5,06
$t_o =$	48,2
$T_{доп.} =$	300,2

4.6 Окончательное время наполнения камеры принимается на 3-5% больше $T_{доп.}$:

$$T_{доп.} \leq T_{нап} \leq T_{нап.макс.}$$

$$300,2 \leq \boxed{360} \leq 840$$

Время опорожнения камеры принимается:

$$T_{оп} = T_{нап}$$

Назад Далее

Рисунок 41 – Расчет времени наполнения камеры шлюза

Указания: в пункте 4.6 задайтесь временем наполнения камеры из заданного промежутка, и нажмите кнопку «Далее»

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

В завершении расчета системы наполнения из -под щита определяются:

Объем камеры гашения $W_{кг}$:

$$W_{кг} = \frac{11,3 \cdot A \cdot \sqrt{\mu \cdot \omega_{отв} \cdot \Omega} \cdot \sqrt[3]{H_3} \cdot H^{3/2}}{\sqrt{k \cdot T_{нап}}}, \text{ м}^3$$

$$W_{кг} = 2597,94$$

Длина камеры гашения $l_{кг}$:

$$l_{кг} = \frac{W_{кг}}{B_{пк} \cdot (S_к + H - H_3)}, \text{ м}$$

$$l_{кг} = 23,62$$

Длина успокоительного участка l_y :

$$l_y = 11,3 \cdot B \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot \omega_{отв} \cdot L_{пк} \cdot \sqrt{H_3}}{k \cdot T_{нап} \cdot B_{пк}}} \cdot \frac{H^{3/2}}{(S_к + 0,33 \cdot H)}, \text{ м}$$

$$l_y = 20,68$$

Назад

Рисунок 42 – Расчет объема, длины камеры гашения и длины успокоительного участка

Указания: программой рассчитаны объем, длина камеры гашения и длина успокоительного участка, после ознакомления нажмите кнопку «Далее».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Расчет системы опорожнения состоит в определении размеров водопроводных затопленных галерей

4.7 Для расчета необходимо указать величины:

Коэффициент расхода системы питания - $\mu=0,7-0,8$	<input type="text"/>
Относительное время открытия затвора водопроводных отверстий - $k \leq 0,6$	<input type="text"/>

Площадь сечения галерей определяется по формуле:

$$\omega_r = \frac{4 \cdot \Omega \cdot \sqrt{H}}{\mu \cdot \sqrt{2g} \cdot T_{\text{нап}} \cdot (2 - k)}, \text{ м}^2 \quad \omega_r =$$

4.8 Назначается четное количество галерей:

Рассчитанная площадь одной водопроводной галереи, м^2 :

Рассчитать площадь сечения галерей и площадь одной водопроводной галереи

4.9 Выберите размеры одной галереи из рекомендуемых:

Ширина галереи, м

1	1,25	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7
---	------	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	---

Высота галереи, м

1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7
---	------	-----	------	---	-----	---	-----	---	-----	---	---	---

Принимается: Ширина галереи b_r , м Высота галереи h_r , м

Принятая площадь одной галереи $b_r \times h_r$, м^2 :

Рассчитать принятую площадь одной галереи

Назад Далее

Рисунок 43 – Число и площадь водопроводных галерей

Указания: в пункте 4.7 введите необходимые значения напротив каждого параметра, в пункте 4.8 введите четное количество водопроводных галерей и нажмите кнопку «Рассчитать площадь сечения галерей и площадь одной водопроводной галереи».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Расчет системы опорожнения состоит в определении размеров водопроводных затопленных галерей

4.7 Для расчета необходимо указать величины:

Коэффициент расхода системы питания - $\mu=0,7-0,8$	<input type="text" value="0,7"/>
Относительное время открытия затвора водопроводных отверстий - $k \leq 0,6$	<input type="text" value="0,6"/>

Площадь сечения галерей определяется по формуле:

$$\omega_r = \frac{4 \cdot \Omega \cdot \sqrt{H}}{\mu \cdot \sqrt{2g} \cdot T_{\text{нап}} \cdot (2 - k)}, \text{ м}^2 \quad \omega_r = 37,62$$

4.8 Назначается четное количество галерей:

Рассчитанная площадь одной водопроводной галереи, м^2 :

Рассчитать площадь сечения галерей и площадь одной водопроводной галереи

4.9 Выберите размеры одной галереи из рекомендуемых:

Ширина галереи, м

1	1,25	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7
---	------	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	---

Высота галереи, м

1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7
---	------	-----	------	---	-----	---	-----	---	-----	---	---	---

Принимается: Ширина галереи b_r , м Высота галереи h_r , м

Принятая площадь одной галереи $b_r \times h_r$, м^2 :

Рассчитать принятую площадь одной галереи

Назад Далее

Рисунок 44 – Принятая площадь галереи

Указания: в пункте 4.9 выберете размеры одной галереи из рекомендуемых, путем нажатия на необходимое значение. Далее нажмите кнопку «Рассчитать принятую площадь одной галереи».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Расчет системы опорожнения состоит в определении размеров водопроводных затопленных галерей

4.7 Для расчета необходимо указать величины:

Коэффициент расхода системы питания - $\mu=0,7-0,8$	<input type="text" value="0,7"/>
Относительное время открытия затвора водопроводных отверстий - $k \leq 0,6$	<input type="text" value="0,6"/>

Площадь сечения галерей определяется по формуле:

$$\omega_r = \frac{4 \cdot \Omega \cdot \sqrt{H}}{\mu \cdot \sqrt{2g} \cdot T_{\text{нап}} \cdot (2 - k)}, \text{ м}^2 \quad \omega_r = 37,62$$

4.8 Назначается четное количество галерей:

4.9 Выберите размеры одной галереи из рекомендуемых:

Ширина галереи, м

1	1,25	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7
---	------	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	---

Высота галереи, м

1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7
---	------	-----	------	---	-----	---	-----	---	-----	---	---	---

Принимается: Ширина галереи b_r , м Высота галереи h_r , м

Рассчитанная площадь одной водопроводной галереи, м^2 :

Рассчитать площадь сечения галерей и площадь одной водопроводной галереи

Принятая площадь одной галереи $b_r \times h_r, \text{м}^2$:

Рассчитать принятую площадь одной галереи

Назад Далее

Рисунок 45 – Рассчитанная и принятая площадь галереи

Указания: после расчета проверьте, чтобы принятая площадь не была ниже рассчитанной, в таком случае введите другое число галерей или другие размеры одной галереи и повторите расчет (рис.41). Для продолжения нажмите кнопку «Далее»

5. Гидравлические характеристики системы питания

К гидравлическим характеристикам относятся элементы, изменяющиеся в процессе наполнения (опорожнения) шлюза: напор, расход, давление за затворами водопроводных галерей. Гидравлические характеристики при головной системе строятся для коротких обходных галерей нижней головы. В качестве рабочих затворов галерей применяется герметический плоский затвор. Гидравлические характеристики строятся для промежутка времени $0 \leq t \leq t_3$

Время открытия затвора:

$$t_3 = k \cdot T_{\text{нап}}, \text{с}$$

Изменение напора во времени рассчитывается по зависимости:

$$\sqrt{h} = \sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2g} \cdot t_3}{2 \cdot \Omega} \int_a^n \mu'_n \cdot d_n, \text{м}$$

Изменение расхода во времени:

$$Q = \mu'_n \cdot \mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \text{м}^3/\text{с}$$

Скорость в галереях вычисляется по формуле:

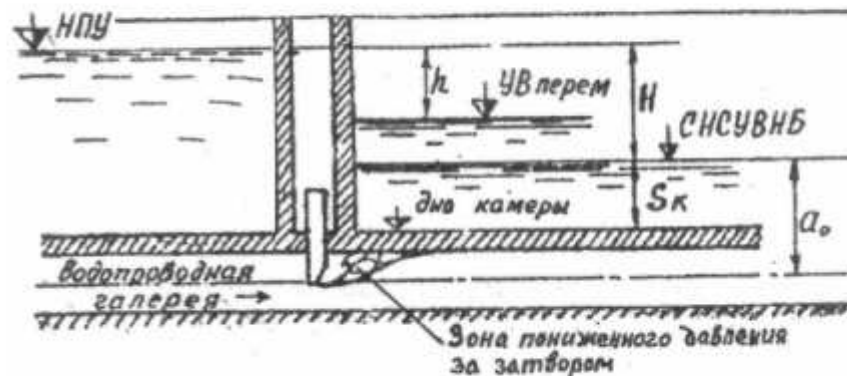
$$V = Q / \omega_r, \text{м/с}$$

Давление за затворами галерей:

$$P_{\text{сж}} = a_0 - k_p \cdot H, \text{м. вод. ст.}$$

Для расчета необходимо указать величину заглубления центра затвора под начальный уровень воды в нижнем бьефе, м:

$a_0 =$



Назад

Далее

Рисунок 46 – Гидравлические характеристики системы питания

Указания: для расчета необходимо задаться величиной заглубления центра затвора под начальный уровень воды в нижнем бьефе.

5. Гидравлические характеристики системы питания

К гидравлическим характеристикам относятся элементы, изменяющиеся в процессе наполнения (опорожнения) шлюза: напор, расход, давление за затворами водопроводных галерей. Гидравлические характеристики при головной системе строятся для коротких обходных галерей нижней головы. В качестве рабочих затворов галерей применяется герметический плоский затвор. Гидравлические характеристики строятся для промежутка времени $0 \leq t \leq t_3$

Время открытия затвора:

$$t_3 = k \cdot T_{\text{нап}}, \text{с}$$

Изменение напора во времени рассчитывается по зависимости:

$$\sqrt{h} = \sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2g} \cdot t_3}{2 \cdot \Omega} \int_a^n \mu'_n \cdot d_n, \text{м}$$

Изменение расхода во времени:

$$Q = \mu'_n \cdot \mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \text{м}^3/\text{с}$$

Скорость в галереях вычисляется по формуле:

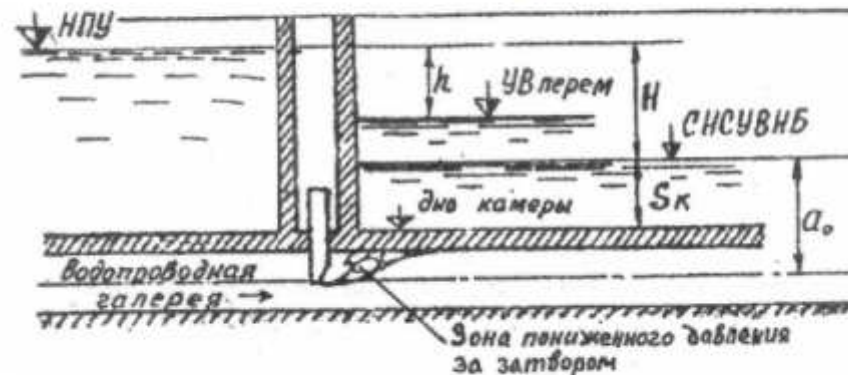
$$V = Q / \omega_r, \text{м/с}$$

Давление за затворами галерей:

$$P_{\text{сж}} = a_0 - k_p \cdot H, \text{м. вод. ст.}$$

Для расчета необходимо указать величину заглубления центра затвора под начальный уровень воды в нижнем бьефе, м:

$a_0 =$



Назад

Далее

Рисунок 47 – Введите величину заглубления центра затвора под начальный уровень воды в нижнем бьефе
Указания: после ввода значения нажмите кнопку «Далее».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Вычисление гидравлических характеристик в промежутке времени $0 \leq t \leq t_3$

Степень открытия затвора, n						
Время $t = n \cdot k \cdot T_{\text{нап}}, \text{с}$						
$\int_a^n \mu'_n \cdot d_n$						
$\sqrt{h}, \text{м}^{0.5}$						
$h = \sqrt{h}^2, \text{м}$						
$\mu'_n = f(n, \mu)$						
$Q = \mu'_n \cdot \mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \text{м}^3/\text{с}$						
$V = Q/\omega_r, \text{м}^3/\text{с}$						
Понижение уровня воды в камере $Y = H - h, \text{м}$						
ξ_3						
k_p						
$P_{\text{сж}} = a_0 - k_p \cdot H, \text{м. вод. ст.}$						

Рисунок 48 – Гидравлические характеристики системы питания в промежутке времени $0 < t < t_3$

Указания: нажмите кнопку «Рассчитать гидравлические характеристики».

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

Вычисление гидравлических характеристик в промежутке времени $0 \leq t \leq t_3$

Степень открытия затвора, n	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Время $t = n \cdot k \cdot T_{\text{нап}}, \text{с}$	0	43,2	86,4	129,6	172,8	216
$\int_a^n \mu'_n \cdot d_n$	0	0,021	0,085	0,202	0,367	0,562
$\sqrt{h}, \text{м}^{0,5}$	2,45	2,4	2,25	1,98	1,59	1,13
$h = \sqrt{h^2}, \text{м}$	6	5,76	5,06	3,9	2,53	1,28
$\mu'_n = f(n, \mu)$	0	0,210	0,449	0,705	0,916	1
$Q = \mu'_n \cdot \mu \cdot \omega_r \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \text{м}^3/\text{с}$	0	65,63	131,53	181,31	189,74	147,33
$V = Q/\omega_r, \text{м}^3/\text{с}$	0	1,56	3,13	4,32	4,52	3,51
Понижение уровня воды в камере $Y = H - h, \text{м}$	0	0,24	0,94	2,1	3,47	4,72
ξ_3	∞	44,75	8,37	2,33	0,64	0,25
k_p	0	0,26	0,4	0,32	0,1	0
$P_{\text{сж}} = a_0 - k_p \cdot H, \text{м. вод. ст.}$	7,5	5,96	5,11	5,55	6,88	7,5

Рисунок 49 – Расчет гидравлических характеристик

Указания: после расчета нажмите на кнопку «Построить график гидравлических характеристики». После просмотра графика нажмите кнопку «Результаты». Программа выдаст результаты расчета.

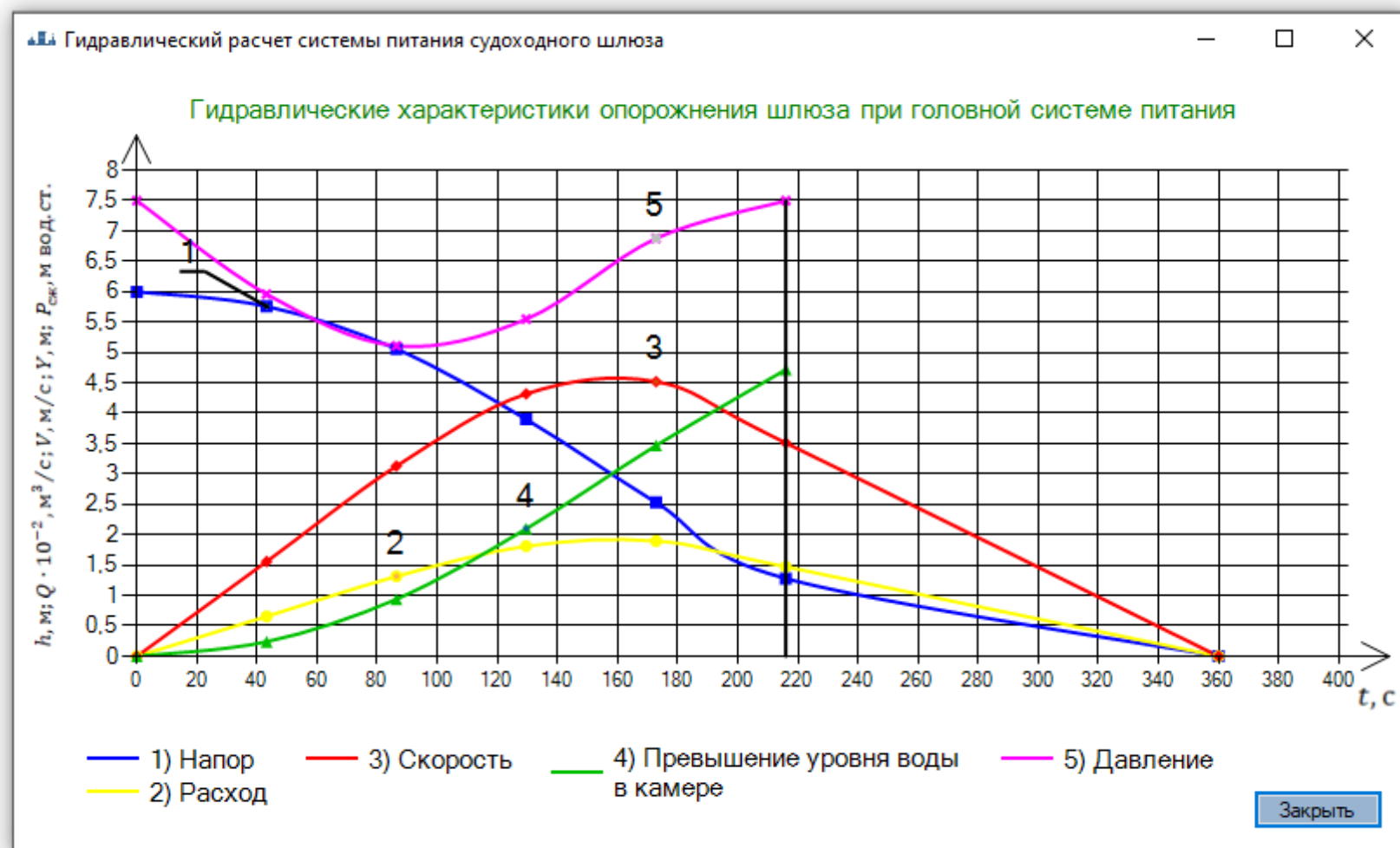


Рисунок 50 – График гидравлических характеристик наполнения шлюза при распределительной системе питания
 Указания: после просмотра нажмите на кнопку «Закреть» и посмотрите результаты.

Гидравлический расчет системы питания судоходного шлюза

6. Результаты гидравлического расчета головной системы питания судоходного шлюза

Исходные данные:

СВСУВВБ, м БС	38
СНСУВНБ, м БС	32
Длина расчетного судна l_c , м	140,15
Ширина расчетного судна b_c , м	17
Осадка судна груженого S_{cr} , м	3,6
Число судов по длине состава n_d , шт	2
Число судов по ширине состава $n_{ш}$, шт	1
Наибольшее возможное время наполнения шлюза $T_{нап. макс}$, МИН	14

Результаты расчета:

Расчетный напор на шлюз H , м	6
Принятая ширина камеры $B_{пк}$, м	20
Принятая длина камеры $L_{пк}$, м	300
Принятая глубина на королях S_k , м	5
Высота подъема ворот $h_{отп}$, м	3,09
Время поднятия ворот t_3 , с	252
Время наполнения (опорожнения) камеры $T_{нап} = T_{оп}$, с	360
Объем камеры гашения $W_{кг}$, м ³	2597,87
Длина камеры гашения $l_{кг}$, м	23,62
Длина успокоительного участка L_y , м	20,68
Площадь сечения водопроводной галереи, м ²	10,5
Число водопроводных галерей	4

График гидравлических характеристик

Завершить

Рисунок 51 – Результаты гидравлического расчета головной системы питания
Указания: после просмотра нажмите на кнопку «Завершить» и закончите расчет.

2.3.2. Получение результатов расчета

На последнем слайде программа выдаст исходные данные и полученные результаты расчета (рис. 51). График, построенный в программе можно вставить к себе в проект с помощью картинки (скриншота), сделанной с помощью клавиши «Print Sc SysRq» на клавиатуре вашего ПК.

Список использованных источников

1. С.В. Соболев, Е.Н. Горохов, И.С. Соболев, А.Н. Ежков; В.М. Красильников; Проектирование судоходного шлюза [Электронный ресурс]: учеб. – метод. пос.; Нижегород. гос. архитектур. – строит. унив-т – Н. Новгород: ННГАСУ, 2016. – 300 с; 1 электрон. опт. диск (CD-RW).
2. СП 58.13330.2019 Гидротехнические сооружения. Основные положения. СНиП 33-01-2003 : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Минстроя России от 16.12.2019 № 811/пр : дата введения 17 июня 2020 года.
3. СП 101.13330.2012 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87 (с Изменением №1) : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Минстроя России от 23.12.2019 №837/пр : дата введения 24 июня 2020 года.

Соболь Станислав Владимирович
Трошин Константин Сергеевич

**Гидравлический расчет
системы питания судоходного шлюза**

Учебно-методическое пособие

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.
<http://www.nngasu.ru>, srec@nngasu.ru