

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-524-536

STUDY OF OPTIONS FOR TOP HEAD OF DESIGNED GATEWAY OF BAGAEVSK WATERWORKS

A. M. Gapeev, G. G. Ryabov, T. Ju. Nychik

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

A research result of technical and operational parameters of variants of the top head constructions for the designed water low-pressure complex navigation gateway of the Bagaevsk's hydroelectric is present. The article considers such variants of the water-filling system of the chambers as both through short bypass galleries, filling from under the lowered segmented gates with curvilinear skin, through water galleries with a chamber of extinction under the threshold, from beneath the valve console gates, from under the flat lifting and lowering gates.

For each of the considered variants, a scheme for the upper head of the navigation lock, including filling elements, extinguishing devices, main and repair doors, as well as contours of reinforced concrete structures, has been developed. A comparative analysis of the considered options in accordance with the filling time, the average energy of the flow entering the lock chamber, the number of gates, the volume of concrete and the length of the upper head is presented.

The comparative analysis has shown that the upper heads with lower and cantilevered gates have a better flow capacity, whereas the heads with the gallery filling systems are considered to be the most metal-intensive ones, and they have the maximum length as well as the volume of concrete. The smallest head size has the option of filling through the wedges in the flat sliding gates, but it uses simple elements for extinguishing the energy of the flow.

It is noted that the final version of the upper head of the projected navigation lock of the Bagaevsk's hydroelectric complex should be accepted based on the results of laboratory hydrological studies that will allow assessing the quality of the filling system under the terms of parking conditions in a large-tonnage vessel and substantiate rational sluicing regimes for different groups of ships.

Keywords: navigation lock, water system of lock, filling system, an upper head, extinguishing elements, short circuitous galleries, flat sliding gates, slide valves, segment gates, gate valve, flat lifting and lowering the gate.

For citation:

Gapeev, Anatolii M., Georgii G. Ryabov, and Tatyana Yu. Nychik. "Study of options for top head of designed gateway of Bagaevsk waterworks." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.3 (2017): 524–536. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-524-536.

УДК (626.4:626.421.4)001.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ВЕРХНЕЙ ГОЛОВЫ ПРОЕКТИРУЕМОГО ШЛЮЗА БАГАЕВСКОГО ГИДРОУЗЛА

А. М. Гапеев, Г. Г. Рябов, Т. Ю. Нычик

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Приводятся результаты исследований технико-эксплуатационных показателей вариантов конструкций верхней головы для проектируемого низконапорного судоходного шлюза Багаевского гидроузла. В статье рассматриваются варианты системы наполнения камер через короткие обходные галереи, наполнение из-под опускных сегментных ворот с криволинейной обшивкой, через водопроводные галереи с камерой гашения под порогом, из-под клапанных консольных ворот, из-под плоских подъемно-опускных ворот, а также наполнение через отверстия в воротах. Для каждого из рассматриваемых вариантов разработана схема верхней головы шлюза, включающая элементы наполнения, гасительные устройства, основные и ремонтные ворота, а также контуры железобетонных конструкций. Представлен сравнитель-

ный анализ рассматриваемых вариантов по времени наполнения, средней энергии потока, поступающей в камеру шлюза, количеству ворот и затворов, объему бетона и длине верхней головы. Сопоставительный анализ показал, что предпочтение по мощности потока имеют верхние головы с опускными и консольными воротами, а наиболее металлоемкими считаются головы с галерейными системами наполнения, которые имеют наибольшую длину и объемы бетона. Наименьший размер головы имеет вариант наполнения через клинкет в плоских откатных воротах, но в нем использованы простые элементы для гашения энергии потока.

Отмечается, что окончательный вариант верхней головы проектируемого судоходного шлюза Багаевского гидроузла должен быть принят на основании лабораторных гидравлических исследований, которые позволят дать оценку качества системы наполнения по условиям стоянки в камере расчетного крупнотоннажного судна и обосновать рациональные режимы шлюзования для различных групп судов.

Ключевые слова: судоходный шлюз, система питания шлюза, система наполнения, верхняя голова, гасительные устройства, короткие обходные галереи, плоские откатные ворота, клинкет, сегментные ворота, клапанные ворота, плоские подъемно-опускные ворота.

Для цитирования:

Гапеев А. М. Исследование вариантов верхней головы проектируемого шлюза Багаевского гидроузла / А. М. Гапеев, Г. Г. Рябов, Т. Ю. Нычик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 3. — С. 524–536. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-524-536.

Введение (Introduction)

В соответствии с Федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России (2010 – 2020 гг.) в настоящее время выполняется разработка проекта Багаевского гидроузла. Судопропускным сооружением данного комплекса гидротехнических сооружений является двухниточный судоходный шлюз, который по своим параметрам классифицируется как низконапорный с разницей при нормальных уровнях верхнего и нижнего бьефов в 3,7 м и при максимальных уровнях воды обеспеченностью 1 % – 0,2 м. В качестве расчетного судна принят танкер пр. 19614 водоизмещением 79200 кН.

Проектирование системы питания судоходных шлюзов осуществляется с учетом предъявляемых к ним требований [1], среди которых следующие:

- обеспечение безопасных условий шлюзования расчетных судов при минимально допустимом времени наполнения (опорожнения) камеры;
- простота конструкций, сравнительно невысокая металлоемкость ворот и затворов, величина их подъемного усилия и удобства в эксплуатации, влияющие на стоимость сооружения.

Разработка конструкций систем питания судоходных шлюзов выполняется также с учетом имеющегося опыта шлюзостроения [2] – [6] и эксплуатации [7], [8] подобных сооружений. При этом существующие конструкции могут выбираться в качестве аналогов. При определении характеристик систем питания также следует учитывать современные методы численного анализа [7] и возможности применения передовых технологий [10] – [12].

Для принятия взвешенного решения по выбору конструкции системы наполнения Багаевского судоходного шлюза необходимо разработать несколько вариантов конструкций верхней головы, особенности которых рассмотрены в данной работе.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Безопасность пропуска судов через шлюзы непосредственно зависит от наличия элементов в системах питания, предназначенных для гашения энергии поступающего в камеру потока воды и равномерного распределения скоростей, а также от принятых режимов шлюзования, при которых обеспечивается равенство действующих на суда гидродинамических сил их нормативной величине [2], [13].

При проектировании низконапорных шлюзов с головной системой питания не всегда удается использовать эффективные гасительные устройства из-за наличия невысокой стенки падения или при её отсутствии. В этих случаях приходится использовать простые по составу и недоста-

точно эффективные гасительные устройства или устраивать их ниже отметки дна камеры шлюза, что приводит к увеличению объемов работ [14].

При выборе типа и конструкции ворот и затворов учитывают их надежность в работе, прочность и удобство в эксплуатации. Наиболее высокие требования предъявляются к рабочим воротам шлюзов, которые кроме гидродинамического воздействия [9] на них могут испытывать значительные нагрузки от навалов судов. Необходимо также учитывать возможность использования ворот не только по прямому назначению — для перекрытия судопропускного отверстия, но и для наполнения (опорожнения) камеры, в качестве аварийных или ремонтных. На выбор типа ворот оказывает влияние величина напора и соотношение между шириной камеры и высотой ворот [15].

В практике отечественного и зарубежного шлюзостроения нашли применение множество разновидностей головных систем питания для низконапорных шлюзов как галерейного, так и безгалерейного типа [4]. Конструктивные и эксплуатационные особенности отдельных разновидностей систем питания существующих шлюзов изложены в научных источниках [16], [17] и эти системы питания могут быть приняты для рассмотрения при проектировании новых шлюзов с конкретными напорами воды на камеру, её габаритами и условиями пропуска крупнотоннажных судов.

Результаты (Results)

При проектировании судоходного шлюза Багаевского гидроузла для рассмотрения были приняты шесть вариантов верхней головы:

- вариант 1 — наполнение камеры шлюза через короткие обходные галереи;
- вариант 2 — наполнение из-под опускаемых сегментных ворот с криволинейной обшивкой;
- вариант 3 — наполнение через водопроводные галереи с камерой гашения под порогом;
- вариант 4 — наполнение из-под клапанных консольных ворот;
- вариант 5 — наполнение из-под плоских подъемно-опускаемых ворот;
- вариант 6 — наполнение через отверстия в воротах.

Верхняя голова проектируемого шлюза с наполнением через короткие обходные галереи (вариант 1 (рис. 1)) в конструктивном отношении аналогична шлюзу № 14 Цимлянского гидроузла, шлюзам № 33, 34 Астраханского гидроузла и шлюзу № 1 Константиновского гидроузла, имеющим близкие по размерам полезные габариты камер (145 × 18 м) и глубины на порогах свыше 4,0 м, достаточные для пропуска через них крупнотоннажных судов типа «Волго-Дон» и «Волго-Нефть».

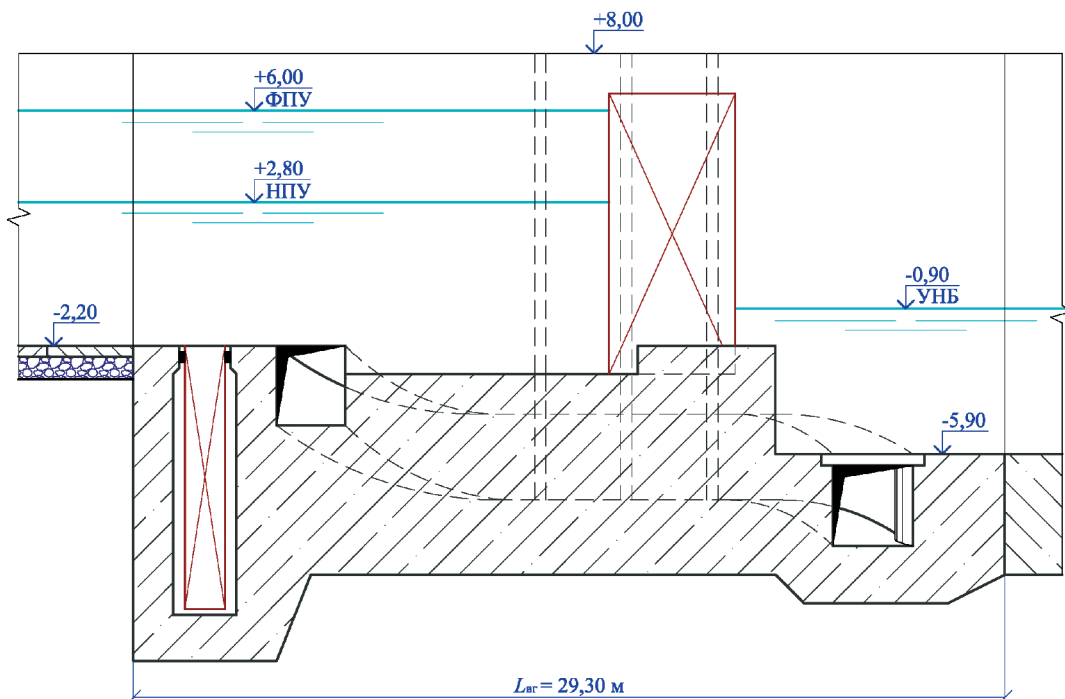


Рис. 1. Верхняя голова шлюза с короткими обходными галереями (вариант 1)

Однако в проектируемом шлюзе, в отличие от аналогов, предлагается устроить отдельный устой по оси камеры толщиной 3 – 4 м для гашения энергии потока, балку-выступ высотой до 1 м на вогнутых гранях выходных отверстий галерей для выравнивания изотак скоростей в их поперечных сечениях, и перекрыть выходные траншеи горизонтальной балочной решеткой с неравномерным шагом отверстий между балками, увеличивающимся от выхода отверстий к разделительному устою. Основным назначением горизонтальной балочной решетки является частичное гашение скоростей потока и их равномерное распределение по ширине при выходе в камеру шлюза.

Следует отметить, что предлагаемые устройства для гашения энергии потока считаются простыми и могут оказаться недостаточными [18] по условиям стоянки в камере шлюза крупнотоннажного судна. Повышения эффективности гасительных устройств в системах питания галерейного типа можно достигнуть за счет уменьшения интенсивности поступающего расхода воды в камеру шлюза при устройстве двух-трех выходных отверстий галереи, но это приведет к усложнению конструкции голов и увеличению их длины. К недостаткам рассматриваемой системы наполнения можно отнести высокую металлоемкость ворот и затворов (два типа ворот и шесть затворов водопроводных галерей для одной нитки судоходного шлюза).

Наполнение камеры из-под сегментных опускных ворот с криволинейной обшивкой (вариант 2) рассматривается по аналогии с использованием этой схемы для судоходного шлюза «Spandau» (Германия). Принятый вариант верхней головы (рис. 2) отличается от аналога несколько большим объемом камеры гашения и отсутствием двух стенок-выступов перед вертикальной решеткой, поскольку они отклоняют поток воды в сторону камеры шлюза, препятствуя равномерному распределению скоростей по глубине.

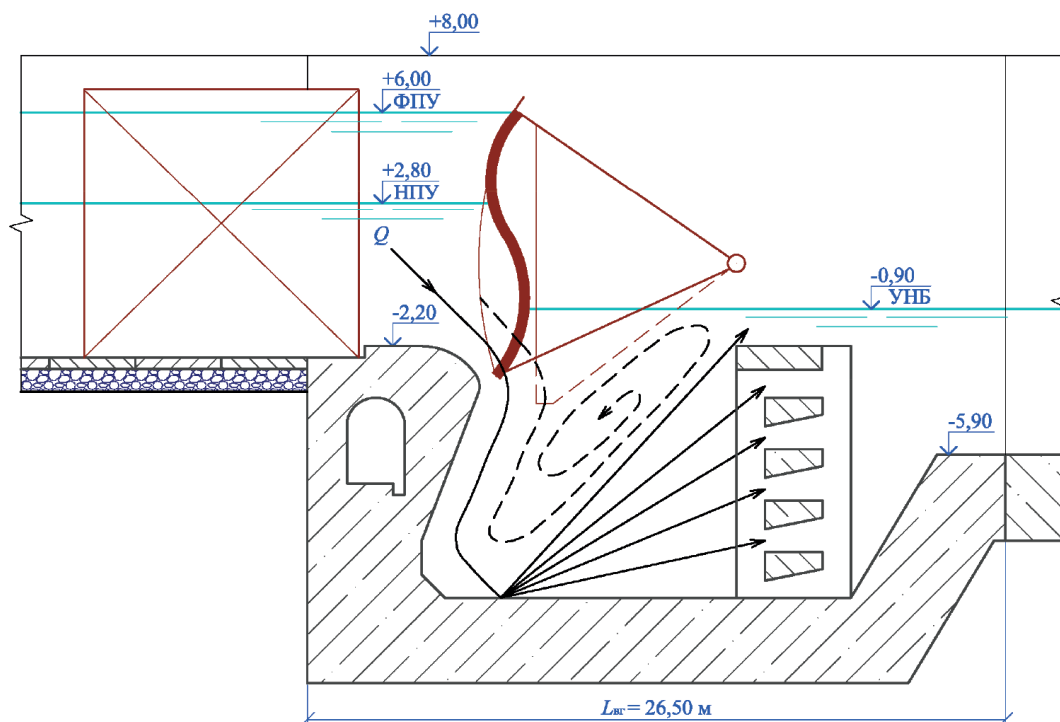


Рис. 2. Верхняя голова шлюза с сегментными опускными воротами (вариант 2)

В рассматриваемой схеме наполнение производится через отверстие высотой до 1 м, образуемое при опускании ворот между порогом с закругленной кромкой и вогнутым очертанием сегмента, что позволяет обеспечить плавное направление потока и более высокую пропускную способность отверстия. При этом положение ворот при опускании совпадает с его направлением в судоходное положение и в этом случае можно ожидать сокращения времени шлюзования. Сег-

ментные ворота имеют простую конструкцию, небольшое подъемное усилие, они надежны в работе, могут использоваться в качестве рабочих и аварийных, но неудобны в эксплуатации из-за узлов вращения, периодически находящихся в воде [14].

Разновидность системы наполнения через водопроводные галереи с камерой гашения под порогом реализована на шлюзах Беломорско-Балтийского канала при напорах на камеру от 4 до 8 м и считается несовершенной из-за неэффективности гасительных устройств [19]. Наполнение в этих шлюзах производится с использованием цилиндрических затворов через вертикальные галереи круглого сечения, а гашение скорости потока — за счет соударения встречных потоков, уширения на выходе и отклоняющей стенки-выступа в камере шлюза.

В верхней голове проектируемого шлюза (вариант 3 (рис. 3)) наполнение камеры предлагается осуществлять через короткие продольные галереи в устоях при помощи плоских затворов, а гашение энергии потока под порогом — за счет наличия колодца, отдельной стенки по оси шлюза, уширения на выходе потока и двух балок вертикальной распределительной решетки.

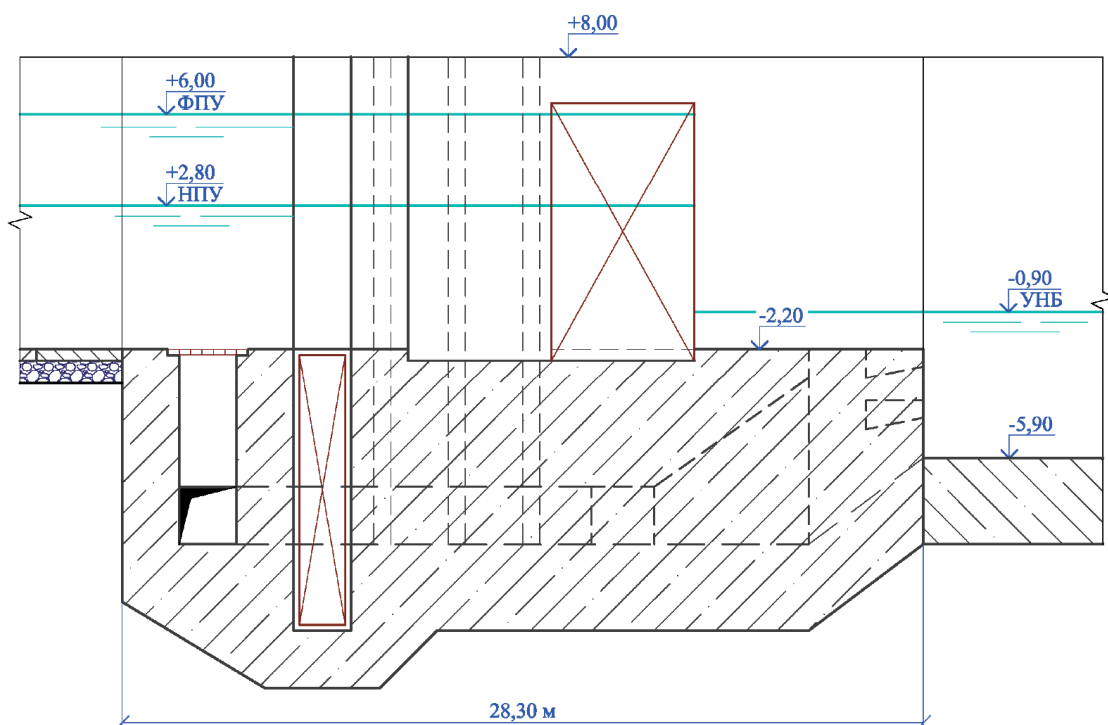


Рис. 3. Верхняя голова шлюза с обходными галереями и камерой гашения под порогом (вариант 3)

Рассматриваемая галерейная схема наполнения камеры является более сложной в конструктивном отношении по сравнению со схемой первого варианта, но отличается от неё несколько большим составом элементов для гашения энергии потока и имеет те же недостатки: высокую металлоемкость ворот и затворов.

Система наполнения камеры из-под клапанных консольных ворот (вариант 4 (рис. 4)) впервые была реализована в шлюзе «Дубой» с напором 2,4 м при реконструкции Днепро-Бугского канала [20]. Она характеризуется достаточно большим, по сравнению с ранее рассмотренными схемами, составом элементов для эффективного гашения энергии потока. В верхней голове проектируемого шлюза для Багаевского гидроузла (см. рис. 4) для гашения энергии потока предусмотрено устройство гасительного колодца ниже отметки днища камеры глубиной до 3 м, плита перекрытия и вертикальная балочная решетка с неравномерным шагом отверстий, увеличивающимся снизу-вверх. Наполнение производится при повороте консоли клапана длиной около 1,5 м, с углом её наклона 30°, позволяющей открыть на полную высоту водопропускные отверстия (до 1 м) и направить поток для гашения энергии на днище головы в колодце.

Поворот клапана осуществляется в сторону верхнего бьефа на угол β (в пределах $40 - 45^\circ$) и его направление совпадает с положением ворот в судходном положении. Такие особенности затвора требуют увеличения его высоты примерно на 1,5 – 2 м, а в судходном положении он размещается на опорных подушках.

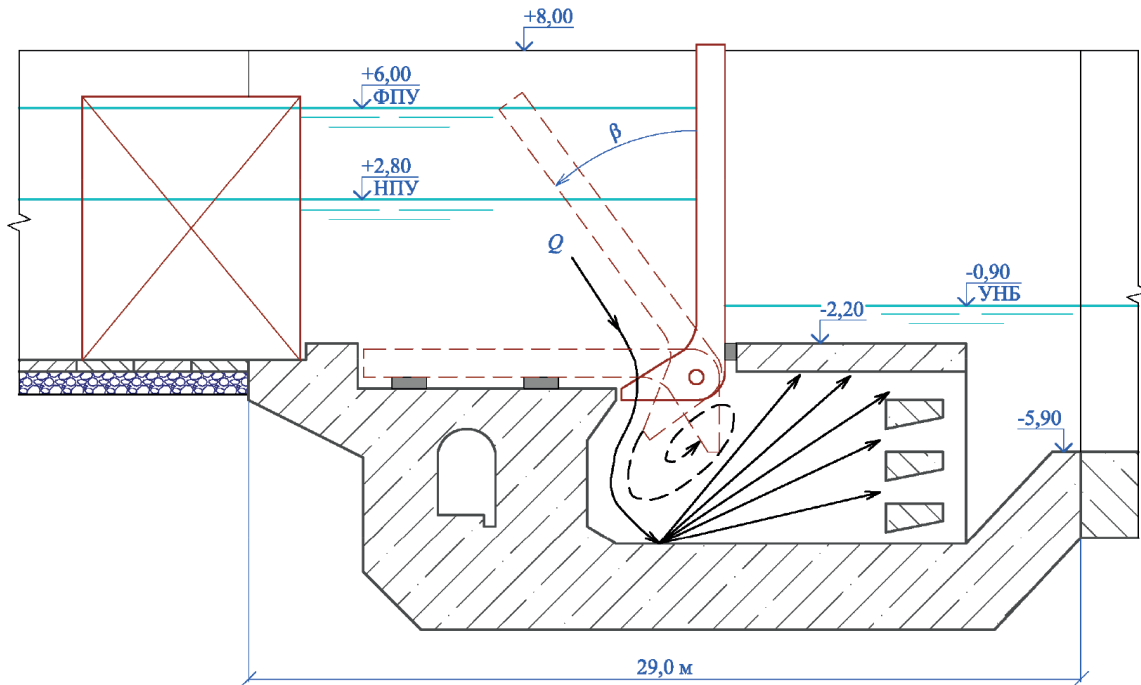


Рис. 4. Верхняя голова шлюза с клапанными воротами (вариант 4)

Клапанные ворота имеют простую конструкцию, небольшое подъемное усилие, они надежны в работе, могут выполнять функцию рабочих и аварийных ворот, но неудобны в эксплуатации из-за наличия опор вращения, постоянно находящихся под водой.

Наполнение камеры из-под плоских подъемно-опускных ворот (вариант 5 (рис. 5)) считается наиболее рациональной схемой питания из-за простоты конструкций, компактного расположения, наличия достаточного количества элементов для гашения энергии потока и равномерного распределения скоростей, а также удобств в эксплуатации [21], [22]. В России эта схема нашла применение при строительстве судходных шлюзов преимущественно для средних напоров: шлюзы Волго-Донского и Волго-Балтийского каналов, Саратовские, Городецкие и др. [23].

При проектировании верхней головы с наполнением из-под плоских подъемно-опускных ворот для низконапорного шлюза потребовалось устройство колодца глубиной до 9 м для размещения в нем гасительных элементов (см. рис. 5). Для гашения энергии потока, как и в ранее рассмотренной схеме с клапанными воротами, приняты плита перекрытия и вертикальная балочная решетка, но эффективность их работы будет значительно выше из-за глубины гасительного колодца и большего числа балок решетки.

Плоские ворота считаются прочными и надежными в работе, используются не только для наполнения камер, но и в качестве рабочих и аварийных. Рассматриваемый вариант верхней головы при сравнительно малой её длине из-за глубины колодца потребует увеличения объемов строительных работ.

Системы наполнения камер судходных шлюзов через отверстия в воротах (клинкеты) широко применялись при строительстве первых шлюзованных водных путей на малых реках России [3]. Они рассчитывались на пропуск характерного для того времени мелкотоннажного флота без устройства гасительных элементов (системы наполнения). В дальнейшем с целью увеличе-

ния пропускной способности водных путей стали возводить шлюзы с комбинированной головной системой питания, используя короткие обходные галереи и отверстия в воротах (шлюзы на р. Оке, Северском Донце и Кочетовский шлюз на Нижнем Дону). Последний шлюз с клинкетным наполнением — вторая нитка Константиновского гидроузла, построен в 1983 г. и рассчитан на пропуск скоростных судов. Самыми большими по размерам камерами для пропуска крупнотоннажных судов считаются шестикамерные двухниточные шлюзы Пермского гидроузла ($240 \times 30 \times 6$ м при среднем напоре на камеру 3,3 м).

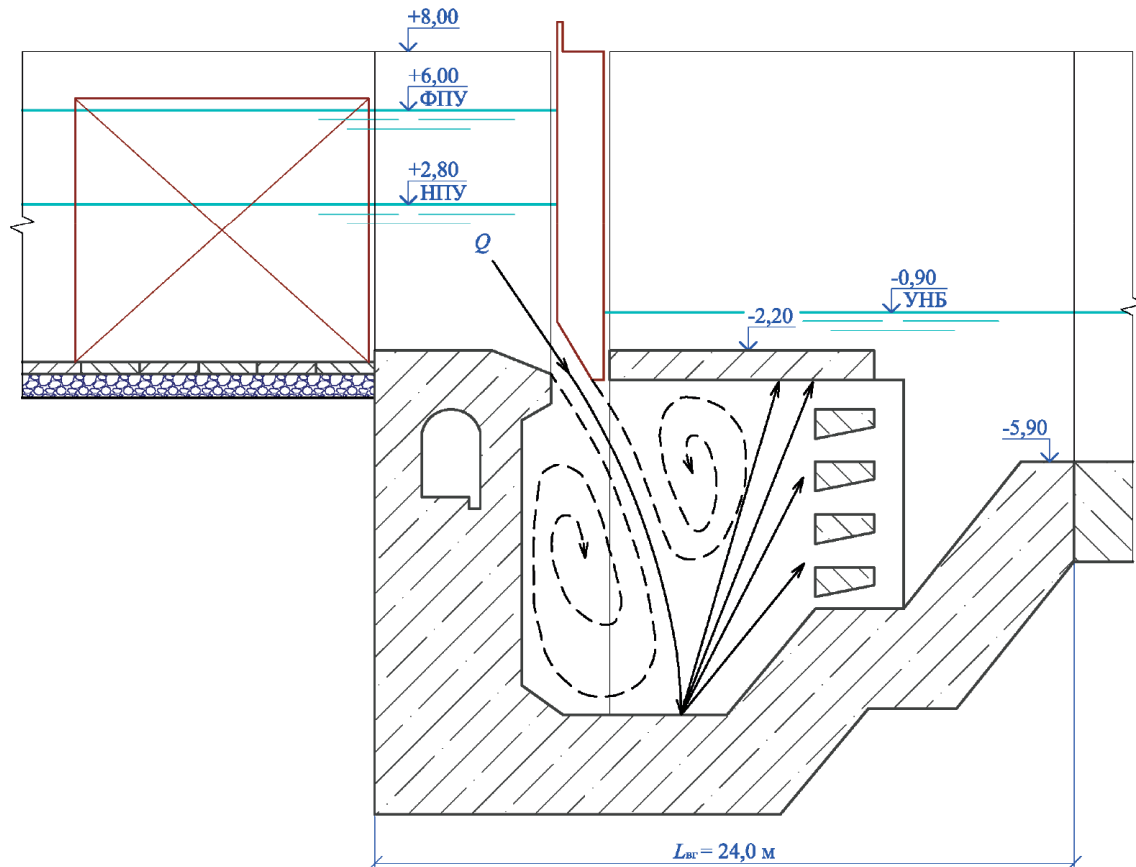


Рис. 5. Верхняя голова шлюза с подъемно-опускными воротами (вариант 5)

В современных условиях, в связи со значительным увеличением грузоподъемности судов и большими сроками эксплуатации в шлюзах с клинкетным наполнением при их реконструкции, стали использовать другие системы питания. Так, например, после реконструкции пяти шлюзов на р. Москва в 1972 г. при напорах 2,4 – 3,2 м для наполнения камер была принята система питания из-под полноповоротных уравнивающих сегментных ворот. В 1975 г. эта же схема была реализована и при возведении Николаевского гидроузла. Следует отметить, что система питания с использованием полноповоротных сегментных ворот, несмотря на некоторые эксплуатационные удобства, требует увеличения размеров голов и в ней отсутствуют устройства для эффективного гашения скорости потока. В настоящее время при реконструкции шлюзов Днепро-Бугского канала на р. Припять стали применять более совершенные системы питания при наличии эффективных гасительных устройств.

Возможность использования систем питания с клинкетным наполнением камер может быть рассмотрена при устройстве перед отверстиями отдельных элементов для гашения потока, которые реализованы на некоторых шлюзах Германии [14]. Для наполнения камер через клинкетные отверстия используют в основном двухстворчатые или откатные ворота. При этом последние применяют в широких шлюзах малого напора при соотношениях полезной ширины камеры к высоте

ворот ($B_{ПК}/H_B$) в пределах 3 – 4 [15]. Отверстия в воротах чаще всего перекрывают плоскими, дисковыми или сегментными затворами.

На рис. 6 представлен вариант использования откатных ворот для шлюзов Багаевского гидроузла с клинкетным наполнением камеры при устройстве гасителей и транспортного перехода. Заглубление откатных ворот относительно днища головы, из-за необходимости размещения гасителей перед клинкетами, принято в пределах 2 м, а толщина при устройстве плоских затворов — около 2,5 – 3 м. При этом рекомендуемое условие их использования не обеспечивается и оказалось равным $B_{ПК}/H_B = 1,5$.

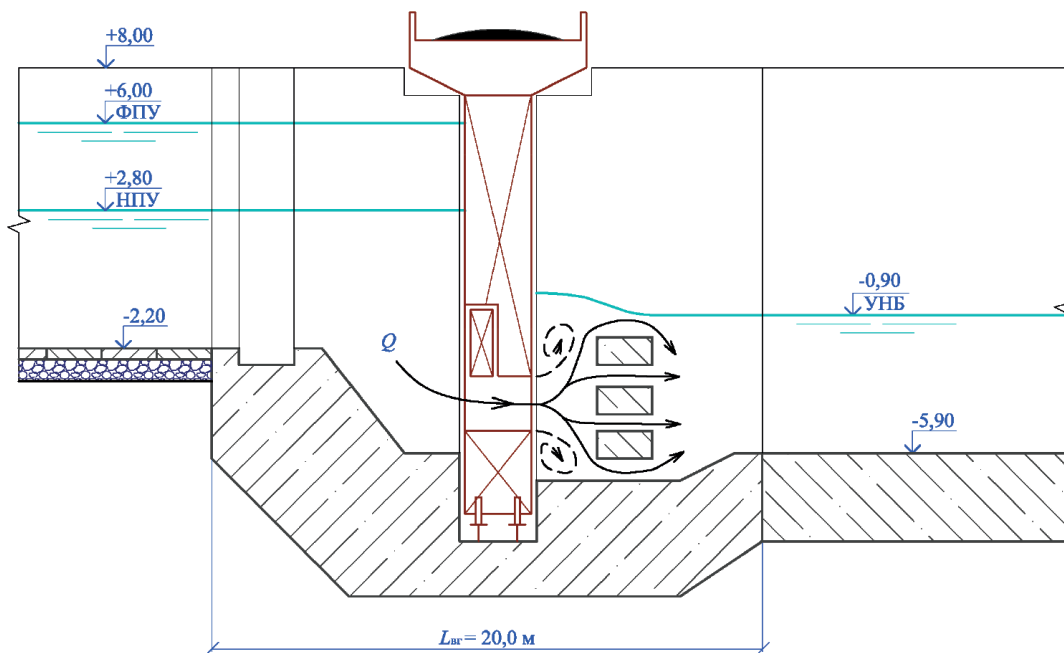


Рис. 6. Верхняя голова шлюза с отверстиями в откатных воротах (вариант б)

Для гашения энергии потока, поступающего в камеру шлюза при открытии отверстий, предусмотрена установка трех балок прямоугольного сечения размерами 1×2 м, которые обеспечивают частичное гашение скорости потока и могут оказаться недостаточными по условиям стоянки крупнотоннажного судна. Ширина транспортного перехода и высота подмостового перехода принимаются в зависимости от типа перехода и класса сооружения. При пропуске только автомобильного транспорта на территорию судоходных шлюзов ширина перехода должна составлять не менее 6 м.

Обсуждение (Discussion)

Сравнительный анализ рассматриваемых систем наполнения выполнен по времени наполнения, средней энергии потока, поступающей в камеру шлюза, количеству ворот и затворов для 1 камеры, объему бетона и длине верхней головы. Показатели рассчитаны для одной нитки проектируемого шлюза с полезными размерами камеры $155 \times 18 \times 5$ м и представлены в таблице (с. 532).

Предпочтение по мощности потока, как видно из таблицы, имеют верхние головы с опускаемыми и консольными воротами, а наиболее металлоемкими считаются головы с галерейными системами наполнения (варианты 1 и 3) и они же имеют наибольшую длину (до 30 м) и объемы бетона: примерно в 1,5 – 2 раза больше по сравнению с безгалерейными системами питания. Наименьший размер головы, как и ожидалось, имеет вариант наполнения через клинкеты в плоских откатных воротах: около 20 м, но в нем использованы простые элементы для гашения энергии потока.

Сравнительные показатели рассматриваемых вариантов верхней головы шлюза

Вариант	Система наполнения камеры	Элементы для гашения энергии потока	Время наполнения, T , с (мин)	Средний расход воды, $Q_{\text{ср}} = \frac{V}{T}$, м ³ /с	Средняя энергия потока, $N_{\text{ср}} = 9,81Q_{\text{ср}} \frac{H_k}{2}$, тыс. кВт	Количество ворот и затворов, ед. (для одной камеры)	Объём бетона, м ³	Длина головы, м
1	Через обходные галереи с устоем по оси шлюза	Устой, балка-выступ, горизонтальная решетка над траншеями	465 (7,75)	25,57	0,46	Рабочие двухстворчатые, аварийно-ремонтные подьёмные, шесть плоских затворов галерей	8600	29,3
2	Из-под опускаемых ворот с криволинейной обшивкой	Гасительный колодец глубиной 5,0 м, пять балок вертикальной решетки	537 (8,95)	22,11	0,40	Рабочие (аварийные) сегментные, ремонтные двухстворчатые	5100	26,5
3	Через обходные галереи с камерой гашения под порогом	Колодец под порогом $h = 3$ м, устой, уширение на выходе, две балки решетки	506 (8,43)	23,46	0,43	Рабочие двухстворчатые, аварийно-ремонтные подьёмные, две плоских затворов галерей	8500	28,3
4	Из-под консольных клапанных ворот	Гасительный колодец $h = 3$ м, плита перекрытия, три балки решетки	570 (9,50)	20,83	0,38	Рабочие (аварийные) клапанные, ремонтные двухстворчатые	5500	29,0
5	Из-под плоских подъемно-опускных ворот	Гасительный колодец $h = 9$ м, плита перекрытия, четыре балки вертикальной решетки	473 (7,89)	25,08	0,46	Рабочие (аварийные) плоские подъемно-опускные, ремонтные двухстворчатые	5000	24,0
6	Через отверстия в откатных воротах	Колодец $h = 1$ м, три балки вертикальной решетки	472 (7,87)	25,15	0,46	Рабочие (аварийные) откатные, ремонтные в виде багпорта	4600	20,0

Заключение (Conclusion)

Система наполнения судоходного шлюза, в том числе Багаевского гидроузла, является важнейшим элементом процесса шлюзования судов и оказывает значительное влияние на его пропускную способность.

Среди разновидностей систем наполнения были выделены галерейные схемы, с наполнением из-под верхних рабочих ворот, а также с клинкетам. Для каждой из рассмотренных систем были отмечены преимущества и недостатки, которые отражаются как на эксплуатационных качествах шлюза, так и на объеме капиталовложений.

В результате исследований оказалось, что наиболее эффективной по критерию времени наполнения является система с использованием коротких обходных галерей, а с точки зрения металлоемкости — система наполнения камеры из-под клапанных ворот. Также положительно отмечена система наполнения из-под сегментных ворот, которая, несмотря на большее время наполнения, позволяет значительно сократить процесс шлюзования за счет раннего опускания ворот.

Окончательный вариант верхней головы проектируемого судоходного шлюза Багаевского гидроузла необходимо принимать по результатам лабораторных гидравлических исследований, которые позволят дать оценку качества системы наполнения по условиям стоянки в камере расчетного крупнотоннажного судна и обосновать рациональные режимы шлюзования для различных групп судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 101.13330.2012. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87: норм.-техн. материал. — М.: ООО «Аналитик», 2012. — 68 с.
2. Михайлов А. В. Судоходные шлюзы / А. В. Михайлов. — М.: Транспорт, 1966. — 340 с.
3. Кононов В. В. Строительство и реконструкция судоходных гидротехнических сооружений в России в 20 веке (исторический обзор) / В. В. Кононов // Водные пути и гидротехнические сооружения: сб. науч. тр. — СПб.: Изд-во СПбГУВК, 2002. — С. 165–173.
4. Гапеев А. М. Системы питания судоходных шлюзов водой / А. М. Гапеев, В. В. Кононов. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2013. — 268 с.
5. Verelst K. Hydraulic design of a filling emptying system for the new royers lock in the port of antwerp (belgium) / K. Verelst, J. Vercruyse, T. De Mulder, T. Fahner, W. De Cock, H. Pauwels // E-proceedings of the 36th IAHR World Congress. 28 June – 3 July, 2015. — IAHR, 2015.
6. Stocstill R. L. Hydraulic Evaluation of Marmet Lock Filling and Emptying System, Kanawha River, West Virginia / R. L. Stocstill. — Engineer research and development center Vicksburg MS coastal and hydraulics Lab, 2015. — №. ERDC/CHL-TR-15-2. — 58 p.
7. Середович В. А. Система наблюдений за состоянием сооружений Новосибирского шлюза и пути её совершенствования / В. А. Середович, С. С. Студенков, Г. Н. Ткачева // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2006. — Т. 3. — № 2. — С. 124–130.
8. Малаханов В. В. Реконструкция гидравлической системы питания Рыбинского шлюза / В. В. Малаханов, С. Н. Левачев, Л. А. Шурухин, И. А. Крюков // Гидротехническое строительство. — 2011. — № 10 — С. 29–36.
9. Липатов И. В. Математическая модель гидродинамического воздействия потока на рабочие ворота судоходных шлюзов / И. В. Липатов // Проблемы прочности и пластичности. — 2005. — № 67. — С. 151–161.
10. Морозов В. Н. Комплексная система автоматизации судопропуска Шекснинского гидроузла / В. Н. Морозов, И. Л. Краснощеков, Л. А. Павлович [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. — 2015. — Т. 17. — № 2–4 — С. 843–850.
11. Гапеев А. М. Конструктивные, гидравлические и эксплуатационные особенности систем питания камер судоходных шлюзов для малых рек / А. М. Гапеев, П. А. Гарибин // Водные пути и гидротехнические сооружения: сб. науч. тр. — СПб.: Изд-во СПбГУВК, 2002. — С. 125–135.

12. Рябов Г. Г. Исследование режимов наполнения шлюза с дополнительным переливом поверх опускных ворот / Г. Г. Рябов // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2011. — 4. — С. 8–16.
13. Гапеев А. М. Влияние отдельных элементов верхней головы шлюза на гидравлические параметры потока / А. М. Гапеев // Гидротехнические сооружения и путевые работы на внутренних водных путях для судоходства. — Л.: ЛИВТ, 1984. — С. 148–155.
14. Михайлов А. В. Головные системы питания судоходных шлюзов и их расчет / А. В. Михайлов. — М.: Минречфлот СССР, 1951. — 172 с.
15. Семанов Н. А. Судоходные каналы, шлюзы и судоподъемники / Н. А. Семанов, Н. Н. Варламов, В. В. Баланин. — М.: Транспорт, 1970. — 352 с.
16. Гапеев А. М. Анализ эксплуатационных качеств наполнения камер судоходных шлюзов / А. М. Гапеев // Высшее образование в современных условиях. — Ч. II. — СПб.: СПбГУВК, 1996. — С. 164–165.
17. Гапеев А. М. Конструктивные, гидравлические и эксплуатационные особенности систем питания камер судоходных шлюзов для малых рек / А. М. Гапеев, П. А. Гарибин // Водные пути и гидротехнические сооружения: сб. тр. — СПб.: Изд-во СПбГУВК, 2002. — С. 125–135.
18. Гапеев А. М. Определение размеров и взаимного расположения элементов системы наполнения камер судоходных шлюзов из-под плоских подъемно-опускных ворот / А. М. Гапеев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2012. — № 2. — С. 34а–40.
19. Полилова А. И. Уменьшение гидродинамической силы при наполнении шлюза / А. И. Полилова // Речной транспорт. — 1972. — № 3. — С. 43.
20. Гапеев А. М. Обоснование системы наполнения камеры судоходного шлюза «Дубой» Днепро-Бугского канала / А. М. Гапеев, Г. Г. Рябов // Водные пути и гидротехнические сооружения: сб. тр. — СПб.: Изд-во СПбГУВК, 2007. — С. 84–95.
21. Гапеев А. М. Анализ существующих теоретических исследований по определению размеров водопропускных отверстий, образованных элементами головных систем питания камер судоходных шлюзов / А. М. Гапеев, А. В. Подрешетникова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 4 (26). — С. 95–100.
22. Сергеев А. В. Об особенностях расчета плоских подъемно-опускных ворот судоходных шлюзов при реконструкции / А. В. Сергеев, И.И. Крылов // Известия высших учебных заведений. Серия: Строительство. — 1999. — № 4. — С. 95–97.
23. Гапеев А. М. Строительство судоходных гидротехнических сооружений в России (К 200-летию начала подготовки инженеров в области гидротехнического строительства) / А. М. Гапеев, В. В. Кононов // Гидротехническое строительство. — 2009. — № 10. — С. 11–17.

REFERENCES

1. Set of rules SP 101.13330.2012. Retaining walls, navigation locks, fish passing and fish protection facilities. М.: ООО «Analitik», 2012.
2. Mikhailov, A.V. *Sudokhodnye shlyuzy*. М.: Transport, 1966.
3. Kononov, V. V. “Stroitel’stvo i rekonstruktsiya sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii v Rossii v 20 veke (istoricheskii obzor).” *Vodnye puti i gidrotekhnicheskiiye sooruzheniya: sbornik nauchnykh trudov*. SPb.: Izd-vo SPbGUVK, 2002: 165–173.
4. Gapeev, A. M., and V. V. Kononov. *Sistemy pitaniya sudokhodnykh shlyuzov vodoi*. SPb.: GUMRF im. admirala S.O. Makarova, 2013.
5. Verelst, Kristof, Jeroen Vercruysse, Tom De Mulder, Tom Fahner, Wim De Cock, and Hans Pauwels. “Hydraulic design of a filling emptying system for the new royers lock in the port of antwerp (belgium).” *E-proceedings of the 36th IAHR World Congress. 28 June – 3 July, 2015*. IAHR, 2015.
6. Stocstill, R. L. *Hydraulic Evaluation of Marmet Lock Filling and Emptying System, Kanawha River, West Virginia*. Engineer research and development center Vicksburg MS coastal and hydraulics Lab, 2015. №. ERDC/CHL-TR-15-2.
7. Seredovich, V. A., S. S. Studenkov, and G. N. Tkacheva. “Sistema nablyudeniya za sostoyaniem sooruzhenii Novosibirskogo shlyuza i puti ee sovershenstvovaniya.” *Interesno Geo-Sibir’* 3.2 (2006): 124–130.
8. Malakhanov, V. V., S. N. Levachev, L. A. Shurukhin, and I. A. Kryukov. “Rekonstruktsiya gidravlicheskoj sistemy pitaniya Rybinskogo shlyuza.” *Gidrotekhnicheskoe stroitel’stvo* 10 (2011): 29–36.

9. Lipatov, I. V. "A mathematical model of a hydrodynamic effect of the flow on the shipping lock gate." *Problemy prochnosti i plastichnosti* 67 (2005): 151–161.
10. Morozov, Viktor, Igor Krasnoshchekov, Lev Pavlovich, Igor Pavlovich, Dmitriy Krasinskiy, Ivan Danilushkin, Evgeniy Melnikov, and Sergey Kolpashchikov. "Crafts passing automation complex system at Sheksninskiy water-engineering system." *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* 17.2-4 (2015): 843–850.
11. Gapeev, A. M., and P. A. Garibin. "Konstruktivnye, gidravlicheskie i ekspluatatsionnye osobennosti sistem pitaniya kamer sudokhodnykh shlyuzov dlya malykh rek." *Vodnye puti i gidrotekhnicheskie sooruzheniya: sbornik nauchnykh trudov*. SPb.: Izd-vo SPbGUVK, 2002: 125–135.
12. Ryabov, G. G. "The study of modes of filling the shipping lock with additional water flow over the dropping gate." *Zhurnal Universiteta vodnykh kommunikatsii* 4 (2011): 8–16.
13. Gapeev, A. M. "Vliyaniye ot del'nykh elementov verkhnei golovy shlyuza na gidravlicheskie parametry potoka." *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya i putevye raboty na vnutrennikh vodnykh putyakh dlya sudokhodstva*. L.: LIVT, 1984: 148–155.
14. Mikhailov, A. V. *Golovnye sistemy pitaniya sudokhodnykh shlyuzov i ikh raschet*. M.: Minrechflot SSSR, 1951.
15. Semanov, N. A., N. N. Varlamov, and V. V. Balanin. *Sudokhodnye kanaly, shlyuzy i sudopod'emniki*. M.: Transport, 1970.
16. Gapeev, A. M. "Analiz ekspluatatsionnykh kachestv napolneniya kamer sudokhodnykh shlyuzov." *Vyshee obrazovanie v sovremennykh usloviyakh*. Ch. II. SPb.: SPGUVK, 1996: 164–165.
17. Gapeev, A. M., and P. A. Garibin. "Konstruktivnye, gidravlicheskie i ekspluatatsionnye osobennosti sistem pitaniya kamer sudokhodnykh shlyuzov dlya malykh rek." *Vodnye puti i gidrotekhnicheskie sooruzheniya: sbornik trudov*. SPb.: Izd-vo SPbGUVK, 2002: 125–135.
18. Gapeev, A. M. "Opredelenie razmerov i vzaimnogo raspolozheniya elementov sistemy napolneniya kamer sudokhodnykh shlyuzov iz-pod ploskikh pod'emno-opusknykh vorot." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2 (2012): 34a–40.
19. Polilova, A. I. "Umen'shenie gidrodinamicheskoi sily pri napolnenii shlyuza." *Rechnoi transport* 3 (1972): 43.
20. Gapeev, A. M., and G. G. Ryabov. "Obosnovanie sistemy napolneniya kamery sudokhodnogo shlyuza «Duboi» Dnepro-Bugskogo kanala." *Vodnye puti i gidrotekhnicheskie sooruzheniya: sbornik trudov*. SPb.: Izd-vo SPbGUVK, 2007: 84–95.
21. Gapeev, A. M., and A. V. Podreshetnikova. "Analysis of the existing theoretical researches to determine the dimensions of the culvert openings formed components of the head power systems of the shipping lock's chambers." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 4(26) (2014): 95–100.
22. Sergeev, A. V., and I. I. Krylov. "Ob osobennostyakh rascheta ploskikh pod'emno-opusknykh vorot sudokhodnykh shlyuzov pri rekonstruktsii." *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo* 4 (1999): 95–97.
23. Gapeev, A. M., and V. V. Kononov. "Stroitel'stvo sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii v Rossii (K 200-letiyu nachala podgotovki inzhenerov v oblasti gidrotekhnicheskogo stroitel'stva)." *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* 10 (2009): 11–17.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гапеев Анатолий Михайлович —
 доктор технических наук, профессор
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
 адмирала С.О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: kaf_gsk@gumrf.ru
Рябов Георгий Георгиевич —
 кандидат технических наук
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
 адмирала С.О. Макарова»
 198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
 ул. Двинская, 5/7
 e-mail: RyabovGG@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gapeev, Anatolii M. —
 Dr. of Technical Sciences, professor
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
 Russian Federation
 e-mail: kaf_gsk@gumrf.ru
Ryabov, Georgii G. —
 PhD
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg
 198035, Russian Federation
 e-mail: RyabovGG@gumrf.ru

Нычик Татьяна Юрьевна —
кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: tatyana-nychik@mail.ru

Nychik Tatyana Yu. —
PhD
Admiral Makarov state University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str, St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: tatyana-nychik@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 26 апреля 2017 г.
Received: April 26, 2017.*