

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1227-1233

## FILLING SYSTEM OF LOW-SHIPPING SHIPPING CAMERA CHAMBER FROM SEGMENT LIFTING-GATE DOORS

**A. M. Gapeev, K. P. Morgunov, M. K. Karacheva**

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

*The results of studies of technical and operational parameters of the system for filling the chamber from under segment hoisting and lowering gates are exemplified by the example of the projected low-pressure navigable locks of the Bagaevsky hydroelectric complex. The most widely used in domestic sluice building for low-pressure sluices were the power supply systems of chambers with short bypass galleries located in the heads of the heads, and the power supply system through the holes (wedges) at the gate, overlapped by various types of closures. In these power systems, simple quenching devices were arranged to reduce the flow rate of the flow entering or leaving the lock chamber, or the quench system was completely absent. In the system of filling the chamber, more efficient quenching devices are used, which allow providing safe conditions for parking vessels at the optimum time of the lock. It differs from the system of filling the lock chambers of the Moscow canal with the presence of a screen wall, the culvert below which is made for the entire width of the chamber, the presence of a quench well and a beam distribution grid with a non-uniform height in the pitch of the holes. The dimensions of the culverts and the main elements of the quench chamber are justified by the hydraulic, energy and kinematic parameters of the water flow entering the chamber. The performed studies of the power system under consideration made it possible to obtain quite satisfactory results: the composition of the elements of the filling system ensures effective damping of the energy of the flow at the optimum time of sluicing. In addition, segmental gates are convenient for use in hydraulic conditions. They have low weight, and, consequently, lifting force, as well as smaller amounts of construction and installation work than the system of filling widely used for low-pressure locks through short bypass galleries. The system of filling the chamber from under the segment hoisting and lowering gates can be used in the construction of medium pressure navigable locks, which allow the extinguishing elements to be arranged along the height of the drop wall without the device of a quench well.*

*Keywords: navigable gateway, supply system, extinguishing devices, segment lifting and lowering gates.*

### For citation:

Gapeev, Anatolii M., Konstantin P. Morgunov, and Mariya K. Karacheva. "Filling system of low-shipping shipping camera chamber from segment lifting-gate doors." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.6 (2017): 1227–1233. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1227-1233.

**УДК 626.4:626.421.4.001.2**

## СИСТЕМА НАПОЛНЕНИЯ КАМЕРЫ НИЗКОНАПОРНОГО СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА ИЗ-ПОД СЕГМЕНТНЫХ ПОДЪЕМНО-ОПУСКНЫХ ВОРОТ

**А. М. Гапеев, К. П. Моргунов, М. К. Карачева**

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

*Приводятся результаты исследований технико-эксплуатационных показателей системы наполнения камеры из-под сегментных подъемно-опускных ворот на примере проектируемого низконапорного судоходного шлюза Багаевского гидроузла. Наиболее широкое применение в отечественном шлюзостроении для низконапорных шлюзов получили системы питания камер с короткими обходными галереями, расположенными в устоях голов, и системы питания через отверстия (клинкеты) в воротах, перекрываемые различными типами затворов. В этих системах питания использовались простые гасительные устройства для уменьшения скорости течения потока, поступающего в камеру шлюза или выходящего из неё, либо системы гашения полностью отсутствовали. В рассматриваемой системе наполнения камеры использованы более эффективные гасительные устройства, позволяющие обеспечить безопасные условия стоянки*

судов при оптимальном времени шлюзования. Данная система отличается от системы наполнения камер шлюзов канала им. Москвы наличием экранной стенки, водопропускное отверстие под которой выполнено на всю ширину камеры, наличием гасительного колодца и балочной распределительной решетки с неравномерным по высоте шагом отверстий. Размеры водопропускных отверстий и основных элементов камеры гашения установлены по гидравлическим, энергетическим и кинематическим параметрам поступающего в камеру потока воды. Выполненные исследования рассматриваемой системы питания позволили получить вполне удовлетворительные результаты: состав элементов системы наполнения обеспечивает эффективное гашение энергии потока при оптимальном времени шлюзования. Кроме того, сегментные ворота удобны для использования по гидравлическим условиям. Они имеют малый вес, а, следовательно, и подъемное усилие, а также меньшие объемы строительно-монтажных работ по сравнению с широко применяемой для низконапорных шлюзов системой наполнения через короткие обходные галереи. Система наполнения камеры из-под сегментных подъемно-опускных ворот может использоваться при строительстве судоходных шлюзов среднего напора, которые позволяют располагать гасительные элементы по высоте стенки падения без устройства гасительного колодца.

**Ключевые слова:** судоходный шлюз, система питания, гасительные устройства, сегментные подъемно-опускные ворота.

**Для цитирования:**

Гапеев А. М. Система наполнения камеры низконапорного судоходного шлюза из-под сегментных подъемно-опускных ворот / А. М. Гапеев, К. П. Моргунов, М. К. Карачева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 6. — С. 1227–1233. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1227-1233.

## Введение (Introduction)

Согласно существующей классификации [1], к низконапорным судоходным шлюзам относятся шлюзы с напором на камеру менее 10 м. Они имеют в основном сосредоточенную (головную) систему питания. Наиболее широкое применение в отечественном шлюзостроении получили системы питания с короткими обходными галереями, располагаемыми в устоях голов шлюза, и системы наполнения и опорожнения камер через отверстия (клинкеты) в воротах, перекрываемые различными типами затворов. В этих системах питания либо использовались простые гасительные устройства для уменьшения скоростей течения потока воды, поступающего в камеру шлюза или вытекающего из неё, либо гасительные устройства полностью отсутствовали [2], [3]. Поэтому их использование по условиям безопасности шлюзования судов ограничивалось напорами до 3 – 5 м. Использовались и другие системы питания низконапорных шлюзов, конструктивные, строительные и эксплуатационные особенности которых подробно изложены в работах многих авторов [4] – [8].

Обеспечения безопасных условий стоянки в камере шлюза шлюзуемых судов, как показали многочисленные исследования [9], можно достичь за счет использования в системах питания эффективных гасительных устройств: камер гашения, колодцев, балочных решеток, экранов и др. В шлюзах малого напора гасительные элементы могут быть устроены при наличии стенок падения, позволяющих также уменьшить высоту ворот верхней головы. Варианты верхних голов с различными типами ворот при наличии стенки падения рассматривались на стадии проектирования судоходных шлюзов Багаевского гидроузла на Нижнем Дону [10].

В представленной работе рассматриваются технико-эксплуатационные показатели верхней головы низконапорного шлюза с сегментными подъемно-опускными воротами.

## Методы и материалы (Methods and Materials)

Гидравлические исследования систем питания выполняются в большинстве случаев на стадии проектирования судоходных шлюзов в лабораторных условиях, краткий обзор которых приведен в работе [9]. Они позволяют определить состав элементов для гашения энергии потока, поступающего в камеру шлюза, и обосновать безопасные режимы шлюзования при пропуске различных типов судов и составов. Разработана также методика определения объема камеры гашения и успокоительного участка камеры шлюза [11], [12].

По существующим в настоящее время методикам определялся состав и основные параметры элементов верхней головы при наполнении камеры низконапорного судоходного шлюза из-под сегментных подъемно-опускных ворот.

## Результаты (Results)

Конструкция предлагаемой системы наполнения судоходного шлюза (рис. 1) состоит из камеры гашения, гасительного экрана (стенки), сегментных ворот и вертикальной распределительной решетки, состоящей из четырех балок, расположенных с неравномерным шагом отверстий между ними, увеличивающимся снизу вверх.

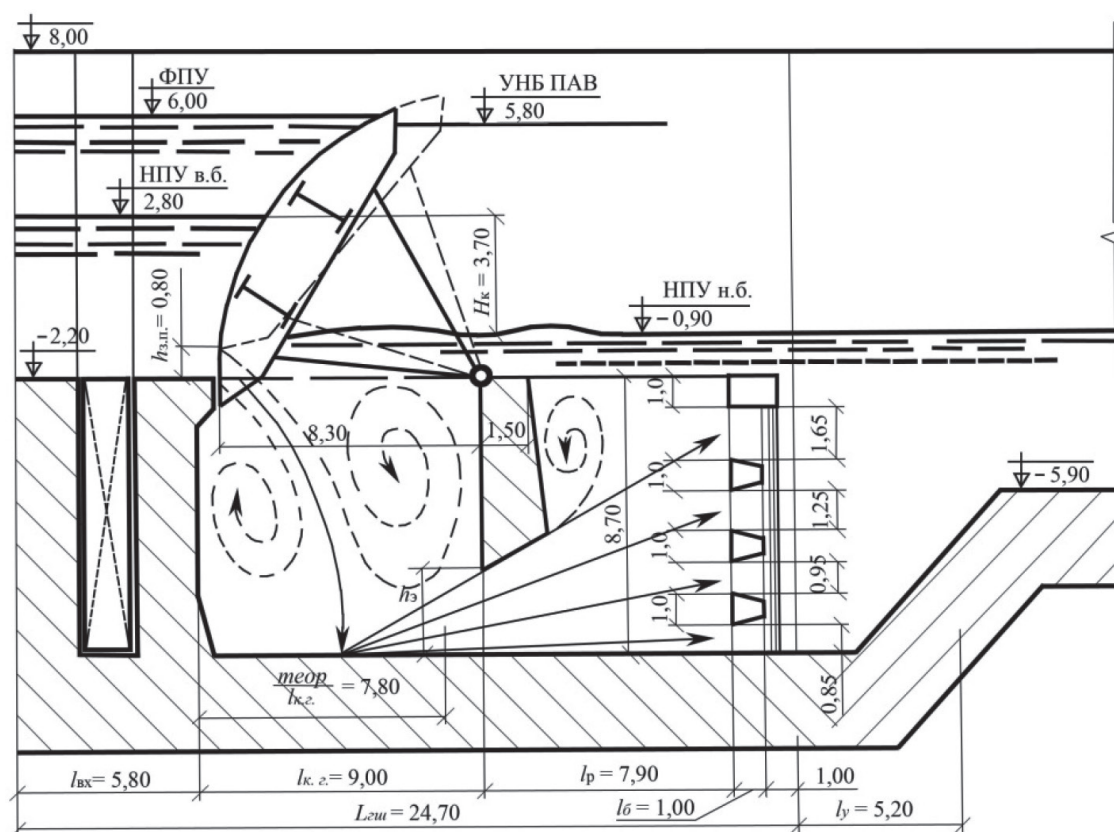


Рис. 1. Верхняя голова шлюза с сегментными подъемно-опускными воротами

Опираение экранной стенки и балок распределительной решетки осуществляется при помощи разделительных бычков. Для их размещения потребовалось устройство колодца глубиной 5,0 м. Определение размеров водопропускных отверстий, образуемых элементами системы питания, выполнялось для проектируемых низконапорных шлюзов Багаевского гидроузла со стенкой падения и размерами камеры  $155 \times 18 \times 5$  м (длина  $\times$  ширина  $\times$  глубина на порогах). Расчетное судно — танкер проекта 19614 водоизмещением 79200 кН. Напор на камеру при нормальном подпорном уровне (НПУ) составлял 3,7 м. При построении гидравлических характеристик, которые представлены на рис. 2, дополнительно определялись энергетические параметры потока.

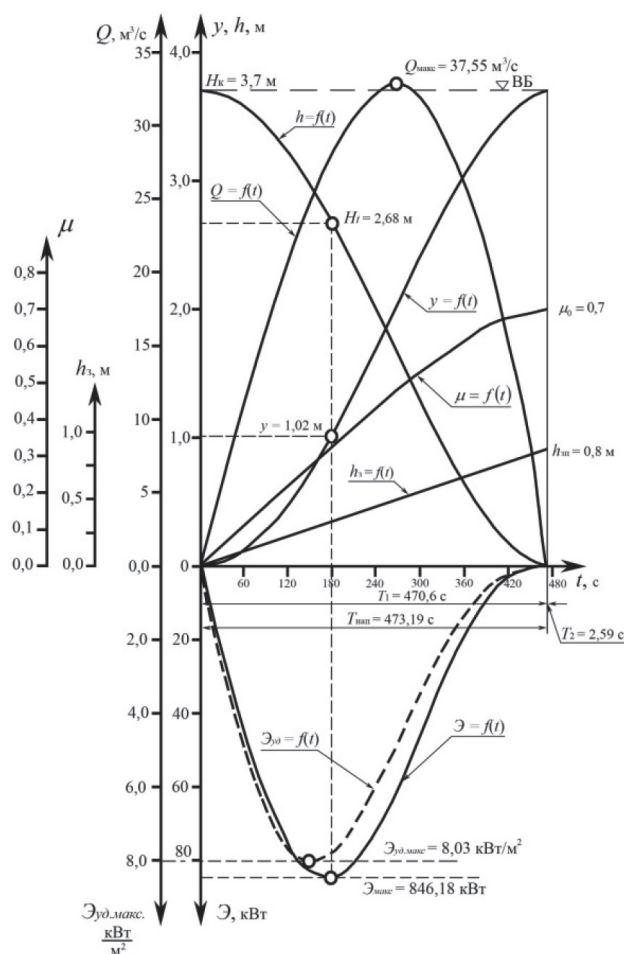


Рис. 2. Гидравлические и энергетические характеристики наполнения камеры шлюза

Основные расчетные параметры системы наполнения приведены в таблице. В ней указаны значения нормативной гидродинамической силы, допустимая по условиям стоянки судна площадь водопропускного отверстия и скорость подъема ворот, длина участков гашения, распределения скорости потока и успокоительного участка, высота водопропускных отверстий под экраном и между балками вертикальной решетки, время наполнения камеры, максимальный расход воды, максимальная полная и удельная энергии потока.

#### Расчетные параметры системы наполнения

№ п/п.	Наименование параметра	Значение
1	Нормативная гидродинамическая сила $P_n$ , кН	60,00
2	Допустимая площадь водопропускного отверстия при подъеме сегментных ворот $\omega_0$ , м²	13,70
3	Длина участка камеры гашения $l_k$ , м	7,80
4	Высота водопропускного отверстия под экраном $h_z$ , м	2,00
5	Длина участка распределения потока $l_p$ , м	7,90
6	Высота водопропускных отверстий между балками снизу вверх $h_i$ , м	0,85; 0,95; 1,25; 1,65
7	Длина успокоительного участка камеры $l_v$ , м	5,20
8	Допустимая скорость подъема ворот $v_{з.доп}$ , м/с	0,0077
9	Время наполнения камеры $T_{нап}$ , с (мин)	473,19 (7,89)
10	Максимальный расход воды $Q_{макс}$ , м³/с	37,55
11	Максимальная полная энергия потока $\epsilon_{макс}$ , кВт	846,18
12	Максимальная удельная энергия потока $\epsilon_{уд. макс}$ , кВт/м²	8,03

### Обсуждение (Discussion)

При конструировании системы наполнения (см. рис. 1) длина участка гашения потока и высота водопропускного отверстия под экраном приняты несколько больше расчетных значений:  $l_k = 9,00$  м вместо 7,80 м по условию размещения сегментных ворот в судоходном положении, а  $h_3 = 2,50$  м вместо 2,00 м — по условию направления потока в отверстия вертикальной распределительной решетки.

При полной высоте подъема ворот  $h_{3,п} = 0,80$  м падение струи на днище головы обеспечивается примерно посередине длины участка  $l_k$ , а направление потока на решетку происходит под максимальным углом около  $30^\circ$ . Площадь водопропускного отверстия под экраном оказалась в 2,55 раза больше площади водопропускного отверстия из-под сегментных ворот  $\left( \frac{\omega_3}{\omega_0} = \frac{35,0}{13,7} = 2,55 \right)$ , что позволило существенно уменьшить средние скорости потока в сечениях с 2,74 до 1,07 м/с.

В процессе наполнения в камере гашения образуются три вихревых вальца, в которых сосредоточена значительная часть энергии потока: два — на участке от стенки падения до экрана и один — за экраном. Вихревые вальцы у экрана могут вызвать образование водяных бугров над камерой гашения, растекание которых приведет к изменению прямых уклонов водной поверхности в камере шлюза, направленных к нижней голове, а следовательно, и продольных гидродинамических сил, действующих на шлюзуемое судно.

Площадь водопропускных отверстий в вертикальной распределительной решетке получена равной  $65,8 \text{ м}^2$ , т. е. она в 1,88 раза больше площади водопропускного отверстия под экраном  $\left( \frac{\omega_p}{\omega_3} = \frac{65,8}{35,0} = 1,88 \right)$ . Средняя скорость потока при выходе в камеру шлюза, полученная равной 0,57 м/с, не должна повлиять на изменения уклонов поверхности воды.

### Заключение (Conclusion)

Выполненные исследования рассматриваемой системы наполнения позволили получить вполне удовлетворительные результаты по гидравлическим и кинематическим параметрам потока. Состав элементов системы наполнения является достаточным для эффективного гашения энергии потока, поступающего в камеру шлюза, и по всем показателям не уступает ранее рассмотренным разновидностям систем наполнения для шлюзов Багаевского гидроузла [10]. Кроме того, система наполнения из-под сегментных ворот обладает некоторыми конструктивными и строительными особенностями: небольшим весом ворот, и, следовательно, малым подъемным усилием, меньшим объемом работ по сравнению с системой наполнения с короткими обходными галереями в устоях головы, которая широко применялась для низконапорных шлюзов [15]. Однако наличие опорного узла вращения у ворот, находящегося постоянно под водой в рассматриваемой схеме, накладывает особые требования к воротам по условиям эксплуатации, ремонта и экологии.

Система наполнения камеры из-под сегментных подъемно-опускных ворот может быть широко использована при строительстве судоходных шлюзов среднего напора, которые позволяют располагать гасительные элементы по высоте стенки падения без устройства глубокого колодца.

Качество предлагаемой системы питания необходимо также оценивать на стадии проектирования по условиям стоянки судов в камере шлюза при проведении лабораторных гидравлических исследований [16], которые позволяют обосновать также оптимальные режимы шлюзования различных групп судов, необходимые для разработки автоматизированных систем управления судопропуском.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 101.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Нормы проектирования. — М.: Минрегион России, 2012. — 70 с.
2. Михайлов А. В. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа. Ч. 1. Внутренние водные пути / А. В. Михайлов. — М.: АСВ, 2004. — 446 с.
3. Семанов Н. А. Судоходные каналы, шлюзы, судоподъемники / Н. А. Семанов, Н. Н. Варламов, В. В. Баланин. — М.: Транспорт, 1970. — 352 с.
4. Хлопенков П. Р. Исследования некоторых систем головного наполнения судоходных шлюзов: дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук / П. Р. Хлопенков. — М.: МИСИ, 1966. — 176 с.
5. Кривошей В. А. Увеличение пропускной способности судоходных шлюзов с головной системой питания: дис. ... д-ра техн. наук / В. А. Кривошей. — СПб.: СПГУВК, 2000. — 232 с.
6. Степанов А. И. Методика гидравлического расчета сложных систем питания судоходных шлюзов: дисс. ... канд. техн. наук / А. И. Степанов. — Л.: ЛИВТ, 1984. — 204 с.
7. Гарибин П. А. Речные судоходные шлюзы (типы шлюзов, системы питания и пропускная способность): учеб. пособие / П. А. Гарибин, С. А. Головкин. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2009. — 133 с.
8. Рябов Г. Г. Определение параметров системы наполнения судоходного шлюза с дополнительным пуском воды поверх ворот: дисс. ... канд. техн. наук / Г. Г. Рябов. — Новосибирск: НГАСУ, 2013. — 144 с.
9. Гапеев А. М. Системы питания судоходных шлюзов водой / А. М. Гапеев, В. В. Кононов. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. — 268 с.
10. 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.
11. Михайлов А. В. Головные системы питания судоходных шлюзов и их расчет / А. В. Михайлов. — М.: Минречфлот СССР, 1951. — 172 с.
12. 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.
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: сб. тр. — Л.: ЛИВТ, 1984. — С. 148–155.
14. Гапеев А. М. Определение размеров и взаимного расположения элементов системы наполнения камер судоходных шлюзов из-под плоских подъемно-опускных ворот / А. М. Гапеев // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2012. — № 2. — С. 34а–40.
15. Гапеев А. М. Факторный анализ головных систем питания судоходных шлюзов / А. М. Гапеев, П. А. Гарибин // Межвуз. сборник научных трудов по гидротехническому и специальному строительству. — М.: МГСУ, 2002. — С. 130–137.
16. Гапеев А. М. Результаты исследований процесса наполнения камеры второй нитки Шекснинского шлюза / А. М. Гапеев, Б. В. Коленко // Технический прогресс в проектировании и эксплуатации водных путей и гидротехнических сооружений: труды. — Л.: Транспорт 1983. — Вып. 176. — С. 48–54.

## REFERENCES

1. Russian Federation. Set of Rules SP 101.13330.2012. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.07-87. Podpornye steny, sudokhodnye shlyuzy, rybopropusknye i rybozashchitnye sooruzheniya. Normy proektirovaniya. M.: Minregion Rossii, 2012.
2. Mikhailov, A. V. *Gidrosooruzheniya vodnykh putei, portov i kontinental'nogo shel'fa. Chast' 1. Vnutrennie vodnye puti*. M.: ASV, 2004.
3. Semanov, N. A., N. N. Varlamov, and V. V. Balanin. *Sudokhodnye kanaly, shlyuzy, sudopod'emniki*. M.: Transport, 1970.

4. Khlopenkov, P. R. Issledovaniya nekotorykh sistem golovnogo napolneniya sudokhodnykh shlyuzov. PhD diss. M.: MISI, 1966.
5. Krivoshei, V. A. Uvelichenie propusknoi sposobnosti sudokhodnykh shlyuzov s golovnoi sistemoi pitaniya. Dr. diss. SPb.: SPGUVK, 2000.
6. Stepanov, A. I. Metodika gidravlicheskogo rascheta slozhnykh sistem pitaniya sudokhodnykh shlyuzov. PhD diss. L.: LIVT, 1984.
7. Garibin, P. A., and S. A. Golovkov. *Rechnye sudokhodnye shlyuzy (typy shlyuzov, sistemy pitaniya i propusknaya sposobnost')*: *uchebnoe posobie*. SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2009.
8. Ryabov, G. G. Opredelenie parametrov sistemy napolneniya sudokhodnogo shlyuza s do-polnitel'nyim puskom vody poverkh vorot. PhD diss. Novosibirsk: NGS, 2013.
9. Gapeev, A. M., and V. V. Kononov. *Sistemy pitaniya sudokhodnykh shlyuzov vodoi*. SPb.: Izd-vo GUMRF imeni admirala S. O. Makarova, 2013.
10. 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.
11. Mikhailov, A. V. *Golovnye sistemy pitaniya sudokhodnykh shlyuzov i ikh raschet*. M.: Minrechflot SSSR, 1951.
12. 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.
13. Gapeev, A. M. "Vliyanie otidel'nykh elementov verkhnei golovy shlyuza na gidravlicheskie parametry potoka." *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya i putevye raboty na vnutrennikh vodnykh putyakh dlya sudokhodstva: sbornik trudov*. L.: LIVT, 1984: 148–155.
14. Gapeev, A. M. "Opredelenie razmerov i vzaimnogo raspolozheniya elementov sistemy napolneniya kammer sudokhodnykh shlyuzov iz-pod ploskikh pod'emno-opusnykh vorot." *Zhurnal Universiteta vodnykh kommunikatsii* 2 (2012): 34a–40.
15. Gapeev, A. M., and P. A. Garibin. "Faktornyi analiz golovnykh sistem pitaniya sudokhodnykh shlyuzov." *Mezhvuzovskii sb. nauchnykh trudov po gidrotekhnicheskemu i spetsial'nomu stroitel'stvu*. M.: MGSU, 2002: 130–137.
16. Gapeev, A. M., and B. V. Kolenko. "Rezultaty issledovaniya protsessa napolneniya kamery vtoroi nitki Sheksninskogo shlyuza." *Tekhnicheskii progress v proektirovanii i ekspluatatsii vodnykh putei i gidrotekhnicheskikh sooruzhenii: trudy. Vyp. 176*. L.: Transport 1983: 48–54.

#### 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](mailto:kaf_gsk@gumrf.ru)

**Моргунов Константин Петрович** —  
Кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [morgunovkp@gumrf.ru](mailto:morgunovkp@gumrf.ru)

**Карачева Мария Константиновна** — инженер  
ПАО «ПИК-групп»  
193230, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,  
Дальневосточный пр. 15  
e-mail: [KarachevaMK@yandex.ru](mailto:KarachevaMK@yandex.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](mailto:kaf_gsk@gumrf.ru)

**Morgunov, Konstantin P.** —  
PhD, associate professor  
Admiral Makarov State University  
of Maritime and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg,  
198035, Russian Federation  
e-mail: [morgunovkp@gumrf.ru](mailto:morgunovkp@gumrf.ru)

**Karacheva, Mariya K.** — Engineer  
PIK-grupp, JSC  
15 Dal'nevostochnyj Av., St. Petersburg,  
193230, Russian Federation  
e-mail: [KarachevaMK@yandex.ru](mailto:KarachevaMK@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 10 октября 2017 г.  
Received: October 10, 2017.