

# Анализ эксплуатационных показателей судоходных шлюзов с малыми и средними напорами



**А. М. Гапеев,**  
д-р техн. наук, профессор,  
профессор кафедры гидро-  
технических сооружений,  
конструкций и гидравлики  
ФГБОУ ВО «Государствен-  
ный университет морско-  
го и речного флота имени  
адмирала С. О. Макарова»  
(ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С. О. Макарова»)



**К. П. Моргунов,**  
канд. техн. наук, доцент,  
зав. кафедрой гидротех-  
нических сооружений,  
конструкций и гидравлики  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С. О. Макарова»

Сегодня в России действуют судоходные шлюзы, в которых для наполнения камер используются сегментные и подъемно-опускные ворота. В статье представлены результаты анализа отдельных показателей работы этих шлюзов, даны рекомендации по их улучшению.

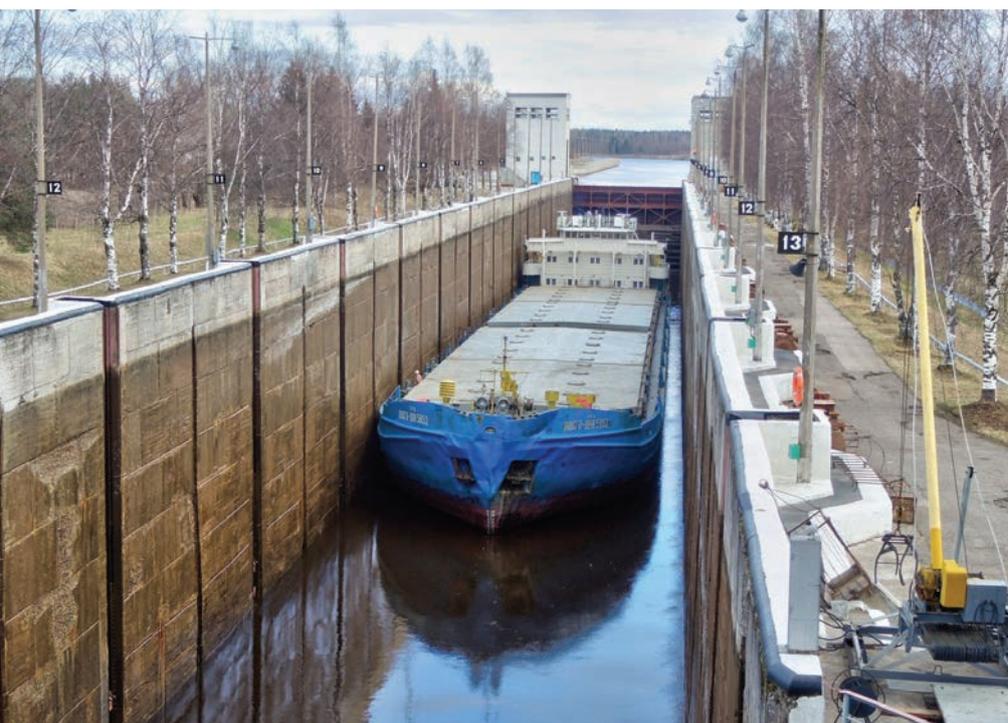
Системы наполнения камер из-под подъемно-опускных ворот применяются на судоходных шлюзах при средних напорах для уменьшения высоты ворот. При истечении воды из-под ворот стали использовать гасители энергии потока, которые располагаются в пределах верхней головы шлюза на пути движения поступающего в камеру потока: экраны, балки-уступы, зубья, решетки и другие элементы.

Исследования условий истечения воды через отверстия, образуемые порогом и кромкой ворот при их подъеме или опускании, и работы гасительных устройств проводились в Берлинской гидравлической лаборатории инженером Р. Буркхардтом на моделях с масштабами 1:10, 1:20 и 1:50. Было установлено, что наличие гасительных устройств за воротами шлюза способствует образова-

нию вихревых вальцов, поглощающих энергию потока воды, а наличие решеток позволяет обеспечить равномерное поступление воды в камеру. По результатам выполненных исследований на водных путях Германии, Нидерландов, Ирландии и других стран были построены многие шлюзы с наполнением камер из-под плоских ворот с использованием различных гасительных устройств [1].

Изучение систем наполнения камер из-под затворов началось в России с конца 30-х годов XX в. в связи с активным развитием гидротехнического строительства, в том числе шлюзов с головной системой питания [1]. Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

- гашение энергии потока воды в системе наполнения происходит наиболее полно при обеспечении донного режима течения. Для его реализации в камере гашения необходимо устраивать экраны и отклонители потока;
- элементы системы питания должны обеспечивать направление потока в камеру гашения, гасить его энергию и равномерно распределять скорости течения при выходе в камеру шлюза. Для направления потока рекомендуется использовать специальные козырьки (носки) на воротах, пороги и выступы-отклонители. Гашение энергии потока осуществляется за счет активного перемешивания объема воды в пределах расположения гасительных устройств, и с их помощью происходит рассеивание избыточной кинетической энергии. Равномерное распределение скоростей течения по глубине обеспечивается вертикальной балочной решеткой, устанавливаемой на выходе из камеры гашения, а также за счет отклонения потока вверх выступами, устроенными за экранами;



• в область пониженного давления из стенки падения, возникающую при отрыве струи от порога, необходимо подавать воздух для исключения вибрации ворот при их подъеме.

В настоящей статье представлен анализ характеристик действующих в России судоходных шлюзов с малыми и средними напорами: с использованием сегментных ворот (канал имени Москвы (КиМ)) и плоских подъемно-опускных ворот (Волго-Донской судоходный канал (ВДСК), Волго-Балтийский канал (ВБК), отдельные шлюзы на Волге, Каме, Оби и других реках) для наполнения камер. Оценивалась возможность обеспечения заданной пропускной способности шлюзов и безопасных условий стоянки в камере шлюзуемых судов, прежде всего крупнотоннажных. Обосновано, что эксплуатационные характеристики шлюзов определяются в первую очередь качеством систем питания и выбором оптимальных режимов наполнения камер.

Строительство судоходных шлюзов осуществлялось в очень короткие сроки, и качество систем питания при их проектировании оценивалось по тому, каковы условия стоянки расчетных судов в камере (без учета изменений в структуре флота в перспективе) и влияние отдельных элементов верхней головы шлюза на гидравлические параметры потока.

С созданием единой глубоководной системы европейской части России значительно увеличилось число крупнотоннажных судов и толкаемых составов, которых в структуре транспортного флота более 70%. Их шлюзование стало производиться при больших коэффициентах стеснения живого сечения камер (коэффициент стеснения — отношение площади миделевого сечения судна к площади живого сечения камеры  $K = \frac{\Omega_{\text{судна}}}{\Omega_{\text{Н}}}$ ), достигающих значений 0,7 и более, что привело к увеличению действующих на суда продольных гидродинамических сил и возникновению аварийных ситуаций [2].

Исследования, где оценивалось качество систем наполнения камер из-под подъемно-опускных ворот, показали [3], что не все ранее сделанные рекомендации по конструкции элементов верхней головы шлюза оказались оправданными по гидравлическим условиям. Например, гребенчатые пороги позволили несколько снизить первый пик прямой гидродинамической силы, действующей на судно в начальный момент наполнения камеры, однако после выхода затвора ворот

из гребенки площадь водопропускного отверстия резко увеличивалась, и это приводило к увеличению последующих пиков сил. Установка зубьев-выступов на днище за экраном и в камере шлюза вызывала отклонение потока вверх, создавая на поверхности бугры, которые, растекаясь, увеличивали уклоны поверхности воды. Установлено также, что наиболее эффективное гашение энергии потока обеспечивается при его соударениях на экране, стенке падения и днище головы шлюза, а для рассеивания кинетической энергии необходимо постепенно увеличивать площади водопропускных отверстий, образуемых элементами системы питания, примерно в полтора-два раза. При этом равномерное распределение скоростей потока по глубине на выходе в камеру шлюза обеспечивается при устройстве вертикальной балочной решетки с неравномерным шагом отверстий, увеличивающимся снизу вверх. Во избежание стеснений площади водопропускных отверстий вихревыми вальцами необходимо регулировать их положение очертаниями и рациональным расположением элементов системы питания.

В табл. 1 приведены эксплуатационные показатели отдельных судоходных шлюзов с наполнением камер из-под подъемно-опускных ворот. В ней указаны годы ввода шлюзов в эксплуатацию, основные габариты камеры (полезная длина  $L_{\text{ПК}}$  и ширина  $B_{\text{ПК}}$ , глубина воды  $h_{\text{к}}$ ), коэффициенты стеснения живого сечения камеры для расчетного и крупнотоннажного судна, средний и максимальный расход воды, время наполнения камеры по проекту и фактическое при эксплуатации, средняя энергия потока  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  и показатель условий стоянки крупнотоннажного судна, выраженный отношением опытной величины максимальной гидродинамической силы  $P_{\text{макс}}$  к ее нормативному значению  $P_{\text{пр}}$  [4].

Из таблицы видно, что коэффициенты стеснения существенно увеличились на типовых шлюзах КиМ, ВДСК, ВБК, на Городецких и Саратовских шлюзах. Исключение составляют Новосибирский шлюз с начальной глубиной воды в камере 7,75 м, Нижне-Камские шлюзы, которые эксплуатируются при пониженных напорах, и новый шлюз № 8 ВБК. Проектное время наполнения и безопасные условия стоянки судов в камере соблюдаются только для Новосибирского шлюза и шлюза № 8 ВБК. Для остальных шлюзов проектное время наполнения меньше эксплуатационного, в особенности для

типовых шлюзов КиМ и ВБК, а условия стоянки крупнотоннажных судов можно считать неудовлетворительными: превышение действующих максимальных гидродинамических сил над нормативной величиной составляет от трех до восьми раз. Наиболее тяжелые условия эксплуатации имеют место на шлюзах Городецкого и Саратовского гидроузлов в связи с пропуском через них секционных толкаемых составов водоизмещением от 110 000 до 220 000 кН.

Следует отметить, что шлюзование крупнотоннажных судов выполняется при линейных (с постоянными скоростями) режимах подъема ворот при наполнении камер, а безопасные условия их стоянки обеспечиваются снижением проектной высоты и скорости подъема ворот. Кроме того, в длинных шлюзах для уменьшения гидродинамического воздействия рекомендовано располагать суда у нижних ворот [5]. Для отдельных шлюзов разработаны двух-четырёхскоростные линейные графики подъема ворот, но их реализация связана с наличием регулируемого привода перемещения ворот и автоматизированных систем управления судопропуском.

Когда проектировались системы наполнения камер шлюзов из-под подъемно-опускных ворот, как отмечалось ранее, не всегда учитывалось влияние элементов верхней головы шлюза на гидравлические и кинематические параметры потока.

Все элементы системы питания камеры рассматривались в качестве гасительных устройств для создания стеснения движению потока и, следовательно, для увеличения скоростей течений на выходе в камеру шлюза и для формирования неравномерности их распределения по глубине.

На шлюзах КиМ сопротивления движению потока создаются в основном экранно-балочными гасителями, установленными на близком расстоянии за траншейными водовыпусками [6], а на шлюзах ВБК, ВДСК, Городецких и Саратовских шлюзах — близким расположением балочных решеток к створу поступления расхода воды и малой площадью водопропускных отверстий. На Саратовских шлюзах [7] и шлюзах ВБК [5] неравномерность распределения скоростей течений по глубине в ходе экспериментальных исследований наблюдалась на расстоянии до 120 м от верхней головы камеры. Для улучшения их работы разрабатывались режимы шлюзования с пониженными скоростями подъема ворот, которые



обеспечивали удовлетворительные условия стоянки судов при значительном увеличении времени наполнения. Крупнотоннажным судам, чтобы обеспечить снижение действующих продольных гидродинамических сил, рекомендовано располагаться у нижних голов камер. Эти рекомендации предназначены для обеспечения безопасного пропуска крупнотоннажных судов через шлюзы КиМ, и при условии, что высота подъема ворот будет снижена с 2,2 до 1,2–1,3 м.

Анализируя гидравлические показатели работы шлюзов КиМ, ВДСК и Саратовского гидроузла, удалось установить, что действующие на крупнотоннажные суда обратные гидродинамические силы (направленные от нижней головы камеры к верхней) наступают раньше, нежели знак приращения расхода меняется с прямого ( $+\frac{dQ}{dt}$ ) на обратный ( $-\frac{dQ}{dt}$ ), что противоречит сложившимся научным представлениям о влиянии волновых колебаний в камере на величины гидродинамических сил [8, 9]. Ранее считалось, что основное гидродинамическое воздействие на шлюзуемое судно связано с волновыми процессами в камере шлюза: прямые силы имеют место, когда изменения приращения расхода воды характеризуются положительными значениями, а обратные силы — когда эти изменения характеризуются отрицательными значениями. Притом волновая составляющая гидродинамической силы должна быть преобладающей по сравнению с другими составляющими (90–95%), а ее наибольшее значение — наблюдаться в начальный период процесса наполнения камеры при

минимальной глубине воды в ней. Экспериментально установлено, что в рассматриваемых системах питания шлюзов наибольшее значение обратной силы наблюдается при положительном значении  $\frac{dQ}{dt}$ , а это свидетельствует о том, что при больших стеснениях живого сечения камеры составляющие гидродинамической силы под влиянием сил трения и из-за неравномерности распределения скоростей течения по глубине могут быть сопоставимы с волновой составляющей и даже превышать ее.

Снижения гидродинамических сил, действующих на толкаемые составы, в шлюзах Городецкого гидроузла удалось добиться, внедрив замедленные многоскоростные режимы перемещения затворов ворот при наполнении камеры, разработанные для различных групп судов и составов [10]. Регулирование скоростей подъема ворот при шлюзовании по этим графикам осуществляется с помощью тиристорных преобразователей частоты ТПЧ-100. Однако условия эксплуатации шлюзов пока остаются сложными из-за изменяющихся начальных глубин воды в камере (от 6,5 до 3,6 м и менее), которые обусловлены работой ГЭС и отсутствием подпора воды со стороны Чебоксарского водохранилища. При очень низких уровнях нижнего бьефа имеют место многочасовые задержки крупнотоннажного флота на шлюзовании, поэтому для создания подпора требуется строительство низконапорного шлюза.

Нижне-Камские шлюзы, как отмечено выше, эксплуатируются при пониженных отметках порога и недостроенных

балочных решетках. Наполнение камеры в условиях временной эксплуатации осуществляется по линейному графику подъема ворот со скоростью 0,5–0,6 м/мин. По данным исследований, условия стоянки судов водоизмещением 70 000 кН считаются неудовлетворительными, и осуществлять поиск рациональных режимов шлюзования при отсутствии второго ряда балочной решетки нецелесообразно [11]. Кроме того, эксплуатация этих шлюзов существенно связана с режимами работы Нижне-Камской ГЭС.

Результаты выполненных исследований показывают, что значительная часть судоходных шлюзов с наполнением камер из-под подъемно-опускных ворот не отвечает эксплуатационным требованиям по безопасности пропуска крупнотоннажного флота и по гидравлическим показателям.

Пропускная способность судоходных шлюзов, как известно, считается ограниченной по двум основным причинам: если она достигла или превысила проектные значения; когда система питания не обеспечивает удовлетворительные условия стоянки судов в камере при их шлюзовании.

В первом случае требуется строительство дополнительных ниток шлюзов или их сроки могут быть отодвинуты за счет внедрения различных мероприятий, позволяющих существенно сократить время шлюзования. В качестве таких мероприятий рассматривалось внедрение многопрограммных режимов наполнения и опорожнения камер, приспособлений для проводки судов через шлюзы, автоматических швартовых устройств, а также увеличение размеров камер, изменение формы подходов и др. Эффективность их применения рассматривалась в работах многих авторов, и она связана с дополнительными капитальными и эксплуатационными расходами. Отдельные мероприятия признаются малоэффективными.

Увеличение габаритных размеров камер и очертаний в плане подходных каналов к шлюзу оказывает существенное влияние на пропускную способность [12]. Анализ данных наблюдений, выполненный В. В. Баланиным по материалам специалистов Нидерландов и Канады [13], показывает, что удлинение камеры шлюза в два раза увеличивает пропускную способность на 20–30%, но с приближением к расчетной пропускной способности резко увеличиваются простои флота: до 5 часов при использовании 60% расчетной пропускной способности и до 14–15 часов

Табл. 1. Эксплуатационные показатели судоходных шлюзов с наполнением камер из-под подъемно-опускных ворот

| Наименование шлюзов | Год ввода в эксплуатацию | $H_k$ , м | Полезные размеры камеры, м |                 |       | $K = \Omega_{\text{н}} / \otimes$ |                       | $Q$ , м <sup>3</sup> /с |              | $T_{\text{нап}}$ , мин |                  | $E_{\text{ср}}$ , тыс. кВт | Условия стоянки $R_{\text{пр}}^{\text{макс}}$ |
|---------------------|--------------------------|-----------|----------------------------|-----------------|-------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|------------------------|------------------|----------------------------|---|
|                     |                          |           | $L_{\text{пк}}$            | $B_{\text{пк}}$ | $h_k$ | расчетное судно                   | крупнотоннажное судно | средний                 | максимальный | проектное              | эксплуатационное |                            |   |
| № 7 КиМ             | 1937                     | 9,78      | 290                        | 30              | 5,59  | 0,41                              | 0,61                  | 154,0                   | 215,3        | 12                     | 16,5             | 9,9                        | 3–5   |
| № 2 ВДСК            | 1952                     | 9,25      | 145                        | 17,8            | 4,9   | 0,39                              | 0,68                  | 71,3                    | 101,0        | 10                     | 10               | 3,2                        | 2–3   |
| Новосибирский       | 1961                     | 6,60      | 145                        | 18              | 7,75  | 0,24                              | 0,24                  | 55,0                    | 70,3         | 8                      | 8                | 1,8                        | 1   |
| Городецкие          | 1962                     | 8,00      | 290                        | 30              | 5,0   | 0,41                              | 0,67                  | 133,5                   | 232,0        | 10                     | 11,5             | 5,2                        | 5–8   |
| № 2 ВБК             | 1964                     | 12,75     | 270                        | 17,8            | 4,7   | 0,57                              | 0,68                  | 84,0                    | 203,0        | 12                     | 17               | 5,3                        | 3–5   |
| № 6 ВБК             | 1964                     | 16,70     | 264                        | 17,8            | 4,7   | 0,57                              | 0,68                  | 113,8                   | 220,0        | 14                     | 21               | 9,3                        | 3–5   |
| Саратовские         | 1968                     | 13,55     | 290                        | 30              | 5,5   | 0,41                              | 0,61                  | 157,0                   | 331,0        | 12                     | 14,5             | 10,5                       | 5–8   |
| Нижне-Камские       | 1987                     | 9,00      | 290                        | 30              | 8,5   | 0,39                              | 0,39                  | 150,0                   | 261,0        | 9                      | 10               | 6,6                        | 3–5   |
| № 8 ВБК             | 1991                     | 11,20     | 310                        | 21,5            | 6,0   | 0,45                              | 0,45                  | 100,4                   | 275,0        | 14                     | 13,8             | 5,5                        | 1   |

при использовании 85–90% пропускной способности шлюза. На основании этого сделан вывод о том, что при достижении шлюзом 80% пропускной способности необходимо строить дополнительное сооружение.

Наиболее эффективным и экономически целесообразным мероприятием считается внедрение на шлюзах многопрограммных режимов шлюзования для различных групп судов (составов), отвечающих инновационным технологиям и позволяющих обеспечить безопасные условия стоянки судов в камере при сокращении времени их наполнения и опорожнения. Эти режимы могут быть использованы при совершенных по гидравлическим и кинематическим показателям системах питания камер и наличии на шлюзах систем автоматизированного управления судопропуском.

Во втором случае, при неудовлетворительных условиях стоянки шлюзуемых судов в камере (несовершенство системы питания камер и невозможность использования ускоренных режимов шлюзования), однозначным решением является полная или частичная реконструкция системы питания.

На основании результатов выполненных исследований можно сделать выводы по улучшению работы рассматриваемых шлюзов с наполнением камер из-под подъемно-опускных ворот.

1. Шлюзы КиМ (№ 1–10) находятся в постоянной эксплуатации более 80 лет и поэтому (учитывая состояние бетона и отдельных элементов, а также ненадежную работу тросового механизма привода сегментных ворот и другие особенности) нуждаются в конструктивных изменениях, проведении полной реконструкции системы питания и в обеспечении современными средствами управления судопропуском. Способ реконструировать систему наполнения камеры шлюза КиМ рассмотрен в работе [14].

2. Шлюзы ВДСК (№ 1–13) имеют малые размеры камер в плане, сопоставимые с габаритными размерами крупнотоннажных судов, и их максимальная грузопропускная способность в 10,5 млн т была достигнута к концу 1970-х гг., затем наблюдалось снижение объема перевозок до 80%, а начиная с 1997 г. — устойчивый рост перевозок, и в отдельные годы их объем уже превышал проектные значения [15]. В 2013 г. объемы перевозок грузов по каналу составили 12,75 млн т. Существенно изменилась и их равномерность: основной объем перевозок наблюдается с Волги на Дон. В этом случае дальнейший рост может быть обеспечен только благодаря строительству второй нити канала с судоходными шлюзами, имеющими несколько большие размеры камер по сравнению с существующими.

Чтобы улучшить эксплуатацию существующих шлюзов канала, необходимо реконструировать их: изменить системы наполнения и внедрить многопрограммные режимы шлюзования. Для типовых шлюзов канала возможно частичное изменение системы наполнения камер с заменой конструкции только балочной решетки.

3. Шлюзы ВБК (№ 1–5, 7), как и шлюзы ВДСК, работают в условиях самой большой напряженности по пропускной способности, но в отличие от шлюзов ВДСК относятся к шлюзам с длинными и узкими размерами камер, имеют большие напоры, и элементы их систем питания воспринимают значительную часть энергии потока. Верхние головы шлюзов конструктивно мало отличаются друг от друга. Верхняя голова типового шлюза ВБК имеет разрезной трапециевидный порог вместо прямоугольной гребенки, более высокий экран, на дне за экраном предусмотрено устройство зуба-выступа для частичного гашения и отклонения кверху потока воды, гасительная решетка состоит из 12 балок трапециевидного сечения с равномерным шагом отверстий между ними размером 0,5 м, и она отодвинута от экрана в сторону камеры на расстояние до 5 м.

Проектная грузопропускная способность Волго-Балтийского канала определена в 15,4 млн т, она была достигну-

та к середине 1980-х гг., затем наблюдалось уменьшение объема перевозок. С 1997 г. обеспечивался устойчивый рост объема перевозок, и в настоящее время он уже достиг докризисных значений. Максимальное значение в 22,43 млн т наблюдалось в 2012 г. Поэтому необходимость строительства вторых ниток шлюзов ВБК становится актуальной, и аналогом их конструктивного устройства может служить вторая нитка шлюза Шекснинского гидроузла (шлюз № 8) [16].

Улучшение эксплуатации существующих типовых шлюзов ВБК может быть достигнуто за счет реконструкции систем наполнения [17] и внедрения многопрограммных режимов шлюзования. Шлюз № 6, который считается высоконапорным на канале ( $H_k = 17,2$  м), требует проведения специальных исследований.

Решение о строительстве вторых ниток шлюзов Волго-Балтийского и Волго-Донского судоходных каналов было принято, но реализация его пока отложена.

4. Система наполнения камер Саратовских шлюзов (№ 25, 26) незначительно отличается от типовых шлюзов ВДСК. В них только балочная решетка расположена на расстоянии 3,5 м (в отличие от 1,4 м у шлюзов ВДСК), но вместо девяти балок высотой 0,75 м установлено пять высотой 1,5 м каждая, они также расположены с неравномерным шагом отверстий, увеличивающимся снизу вверх, а два нижних отверстия имеют высоту всего 0,2 м. Балочная решетка Саратовских шлюзов создает значительные сопротивления движению потока воды при выходе в камеру.

Исследования работы шлюзов Саратовского гидроузла проводились в разные годы [18]. В результате реализации рекомендаций, приведенных в этих исследованиях, удалось добиться снижения (примерно в два раза) гидродинамических сил, действующих на крупнотоннажные суда и составы, однако там отсутствуют рекомендации о выборе рациональных режимов шлюзования, но указано на необходимость реконструкции систем питания. Способ реконструировать верхнюю голову шлюзов Саратовского гидроузла рассмотрен в работе [7].

5. В системе наполнения камер шлюзов Городецкого гидроузла (№ 13–16) отсутствует гасительный экран, но благодаря устройству колодца глубиной 2,5 м в ней обеспечивается эффективное гашение энергии потока. Одна-

ко по кинематическим параметрам она считается несовершенной из-за малой площади водопропускных отверстий на выходе в камеру шлюза через балочную решетку. Стенение, создаваемое движению потока решеткой, как отмечено выше, приводит к увеличению скоростей течения в камере и неравномерному их распределению по глубине. Поэтому Городецкие шлюзы также нуждаются в реконструкции, требуют увеличения глубин в нижнем бьефе и разработки многопрограммных режимов шлюзования.

6. Эксплуатация шлюзов Нижне-Камского гидроузла пока связана с недостаточными элементами системы наполнения камеры, и по ним должно быть принято окончательное решение. ■

#### Литература

1. Гапеев А. М., Кононов В. В. Системы питания судоходных шлюзов водой. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2013.
2. Нычик Т. Ю. Анализ аварийных ситуаций при шлюзовании судов // Журн. Ун-та водных коммуникаций. 2011. Вып. IV (XII). С. 105–112.
3. Гапеев А. М. Влияние отдельных элементов верхней головы шлюза на гидравлические параметры потока // Гидротехнические сооружения и путевые работы на внутренних водных путях для судоходства. Л.: Изд-во ЛИВТ, 1984. С. 148–155.
4. Семанов Н. А., Варламов Н. Н., Баланин В. В. Судоходные каналы, шлюзы и судоподъемники. М.: Транспорт, 1970.
5. Василевский В. П. Исследования условий стоянки судов при наполнении камер типовых шлюзов ВБВП им. В. И. Ленина // Проектирование и техническая эксплуатация судоходных сооружений и подходов к ним. Л.: Изд-во ЛИВТ, 1984. С. 31–40.
6. Гапеев А. М., Моргунов К. П. Анализ изменения основных параметров системы наполнения камеры судоходного шлюза № 7 канала имени Москвы // Вестн. ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова. 2018. Т. 10. № 6. С. 78–86.
7. Гапеев А. М., Моргунов К. П., Подрешетникова А. В. Совершенствование системы наполнения камер судоходных шлюзов Саратовского гидроузла // Вестн. ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 5. С. 984–992.
8. Маккавеев В. М. Гидромеханические процессы, сопровождающие шлюзо-

вание судов и методология лабораторных исследований // Тр. Гидротехн. лаб. им. проф. В. Е. Тимонова. Л.: Изд-во ЛИИПС, 1930. Вып. X. С. 79–117.

9. Михайлов А. В. О неустановившемся движении воды в камерах шлюзов и его влиянии на условия отстоя судов // Гидравлика сооружений. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 42–62.
10. Кононов В. В. Выбор оптимальных режимов наполнения нижних шлюзов Горьковского гидроузла и внедрение многопрограммного управления. Технический прогресс в проектировании и эксплуатации водных путей и гидротехнических сооружений // Транспорт. 1983. Вып. 176. С. 130–136.
11. Инструкция по монтажу и эксплуатации. Нижне-Камские шлюзы. М.: СПКТБ «Мосгидросталь».
12. Баланин В. В. О рациональной компоновке подходов к шлюзам. Водные пути и гидротехнические сооружения // Транспорт. 1978. Вып. 162. С. 11–21.
13. Баланин В. В. Судоходные гидротехнические сооружения // Речной транспорт. 1983. № 11. С. 40–41.
14. Гапеев А. М., Моргунов К. П., Карачева М. К. Система наполнения низконапорного шлюза из-под сегментных подъемно-опускных ворот // Вестн. ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 6. С. 1227–1233.
15. Коблев И. И., Кривошей В. А., Шахмарданов О. Ю., Шестаков В. Я. Волго-Донской судоходный канал. Волгоград: Издатель, 2012.
16. Гапеев А. М., Коленко Б. В. Результаты исследований процесса наполнения камеры второй нитки Шекснинского гидроузла. Технический прогресс в проектировании и эксплуатации водных путей и гидротехнических сооружений // Транспорт. 1983. Вып. 176. С. 48–54.
17. Гапеев А. М. Совершенствование системы наполнения камер типовых шлюзов Волго-Балтийского канала // Водные пути и гидротехнические сооружения. СПб.: Изд-во СПГУВК, 2002. С. 135–141.
18. Гапеев А. М., Подрешетникова А. В. Анализ гидравлических исследований по оценке условий стоянки крупнотоннажного флота и выбору режимов наполнения камер шлюза Саратовского гидроузла // Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2015. С. 65–69.