

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-76-85

УДК 626.44

**М. А. Колосов,
А. А. Смирнов**

РАЗРАБОТКА ФРИКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ВОРОТ ШЛЮЗА ОТ НАВАЛА СУДНА

Основной задачей статьи является разработка фрикционной системы защиты ворот шлюза от навала судна. Указывается на уязвимость шлюза как элемента напорного фронта гидроузла на внутренних водных путях России. Выявляются последствия навала судна на ворота нижней головы шлюза, а также последствия её смещения. Приводятся несколько случаев аварий. Представлен расчет ударных нагрузок на ворота на примере судна водоизмещением 3920 т. Приводится краткий обзор существующих предохранительных устройств. Перечисляются серьезные недостатки различных вариантов конструкции. Рассматриваются факторы, снижающие эффективность в работе устройств. Подробно рассмотрены недостатки предохранительного устройства с использованием гидроцилиндров как одного из самых распространенных. Рассматриваются усилия в заградительном органе системы защиты от навала судна на примере проекта Каневского шлюза. Перечисляются условия останова судна, приводится расчет характеристик системы гашения энергии судна с построением соответствующих графиков. Выполнен расчет длины пути торможения в зависимости от изменения конструктивных параметров устройства. Представленная фрикционная система учитывает недостатки существующих предохранительных устройств и позволяет регулировать тормозные усилия и удлинять путь торможения. Рассматриваются способы наводки гибкого заграждения со сменой положения в зависимости от уровня воды в камере шлюза. Сделаны выводы о возможности использования на существующих судоходных шлюзах России новой конструкции предохранительного устройства, её эксплуатационной эффективности, преимуществах по сравнению с другими системами защиты ворот шлюза от навала судна.

Ключевые слова: судоходный шлюз, предохранительное устройство, навал судна, энергия навала, фрикционная система.

Введение

Судоходные шлюзы на внутренних водных путях России являются наиболее уязвимым элементом напорного фронта гидроузла. Это подтверждает многолетний опыт эксплуатации и данные статистики, а также такие крупные аварии как авария на Сайменском канале (2002 г.) [1], [2], на Пермском шлюзе (4 ноября 1994 г.), на Нижнесвирском шлюзе (22 октября 2011 г.) [3] и др. В большинстве случаев причиной выхода из строя судоходного шлюза является воздействие судна на конструктивные элементы сооружения, наиболее уязвимыми из которых являются ворота. Навалы судов могут привести к тяжелым последствиям и требуют не только значительных затрат на ремонт, но и вызывают простои шлюза, а также всего водного пути (на 18 сут. было остановлено движение судов на участке Волгоград – Ростов в результате аварии на Константиновском шлюзе 1 ноября 2004 г.).

Вопрос расчета ударных нагрузок на ворота и последующее состояние ворот поднимался в работе [4]. Для расчета силы навала использовалась зависимость

$$P = 0,98\sqrt{D} \frac{V}{16},$$

где D — дедвейт судна, т; V — скорость судна в узлах.

Данная формула, включенная в американский стандарт AASHTO (Американская ассоциация управления дорожным движением), получена в результате исследований на крупномасштабных моделях в Германии. Расчеты по приведенной формуле показали, что ворота шлюза при навале судна водоизмещением 3920 т создают следующую величину нагрузок (табл. 1).

Таблица 1

Сила навала на ворота судна водоизмещением 3920 т

Скорость судна при навале, м/с	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Сила навала, мН	3,1	6,21	9,31	12,41	15,52

Естественно, что при таких нагрузках разрушатся конструкции ворот, а также туго натянутый канат легко разорвется.

Постановка и описание задачи

В настоящее время в процессе эксплуатации предохранительных устройств для защиты ворот шлюза от навала судна выявляется множество недостатков, поэтому оптимальным решением будет проектирование единого для всех судоходных ГТС устройства. Устройство должно учитывать проблемы существующих конструкций систем защиты от навала судов, быть надежным в работе, обладать возможностью установки на существующих сооружениях и не увеличивать продолжительность шлюзования.

Обзор существующих предохранительных устройств

Для обеспечения безопасности, защиты конструкций, недопущения возможности прорыва напорного фронта ГТС было разработано несколько вариантов предохранительных устройств, отличающихся как конструктивно, так и принципом работы:

- система заключённых в резиновую оболочку канатов, закреплённых за поворотную стойку на подвижных тележках [5];
- система плавающих балок [6];
- тросо-блочная система [7];
- система «встречной» волны [8].

Существующие заградительные устройства на судоходных шлюзах имеют два эксплуатационных недостатка:

- значительную инерционную массу элементов в системе гашения энергии, что вызывает в начальный момент навала судна большие нагрузки на заградительный канат (цепь);
- системы гашения энергии навала обеспечивают довольно короткий путь торможения, что приводит в результате воздействия сил инерции на судно к потере устойчивости пассажиров и разрушению приборов и оборудования на судне.

Наиболее широко используются для гашения энергии навала судна системы из гидроцилиндров, штоки которых соединены с заградительным органом (канатом, цепью). Цилиндры располагаются как на одной стенке шлюза, так и на двух, поперек или вдоль камеры, а также в вертикальных шахтах. Впервые гидроцилиндры в вертикальных шахтах были установлены на шлюзах Велландского канала [9].

Современный опыт эксплуатации предохранительных устройств с использованием гидроцилиндров указывает на их значительные недостатки:

- большая инерционная масса, которая включает столб масла в штоковой полости цилиндра;
- трение о стенки цилиндра и сальники, напряжение трения в жидкости, которое зависит от вязкости масла и скорости сдвига (рис. 1) [10].

Особенно значительное влияние на вязкость рабочей жидкости оказывает температура окружающей среды (рис. 2) [10].

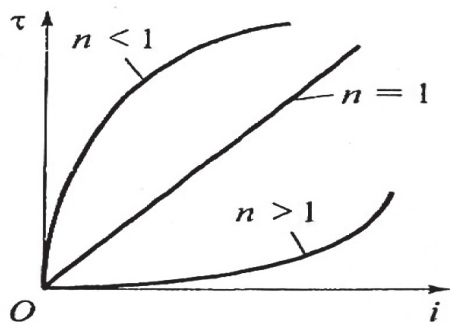


Рис. 1. Зависимость напряжения трения от скорости сдвига:

τ — напряжение трения; i — скорость сдвига;
 n — константа, характеризующая рабочую жидкость

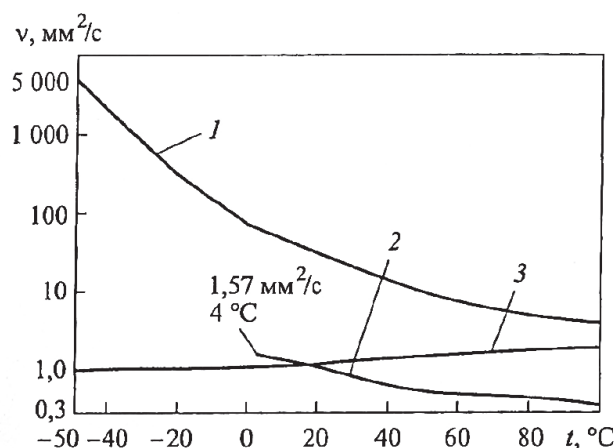


Рис. 2. Зависимости вязкости масла (1), воды (2) и воздуха (3) от температуры

Эти факторы приводят к повреждению устройств при навале судов (повреждению каната).

Для иллюстрации влияния инерционной массы масла приведем график, составленный для проекта Каневского шлюза (рис. 3) [11].

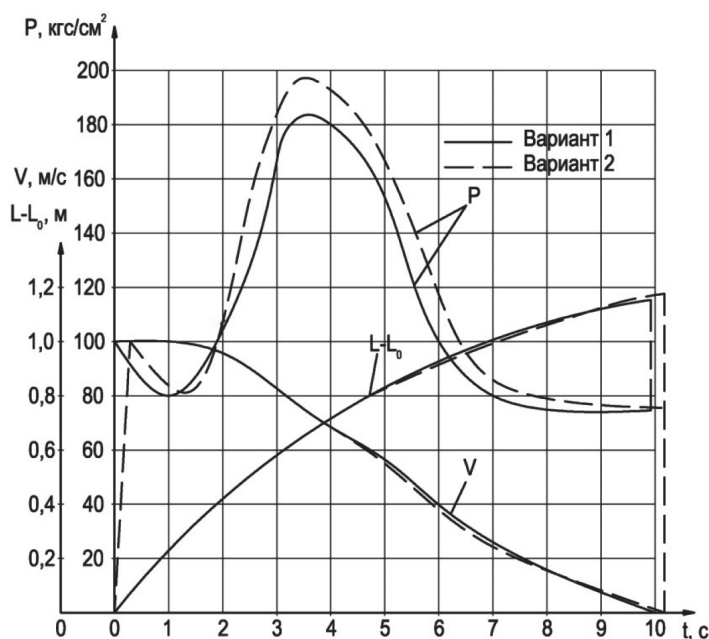


Рис. 3. Характеристика работы предохранительного устройства при навале т/х «Волго-Дон» со скоростью 1,0 м/с

Рассматривается амортизатор в виде гидравлического цилиндра длиной 3,0 м в блоке с воздушно-гидравлическим аккумулятором. График (см. рис. 3) показывает, что начальное давление в цилиндре, которое держит натянутый канат, составляет 100 кг/см², а уже после второй секунды поднимается до 180 кг/см².

Второй негативный фактор — короткий путь торможения, который вызывает значительные инерционные нагрузки. Так, в расчетах (см. рис. 3) ускорение торможения для т/х «Волго-Дон» принято 0,1 м/с², следовательно, сила инерции торможения составляет 675 т, что требует достаточно прочного и массивного оборудования (каната, цепи).

Для снижения инерционных сил покоя в качестве амортизаторов используется система из тормозных цилиндров фирмы «Jarret» (рис. 4) [9], в которых шток погружается в эластичную мас-

су (силикон), заполняющую цилиндр. Так как шток не имеет поршня, вхождение его в цилиндр происходит с постепенным увеличением сопротивления.

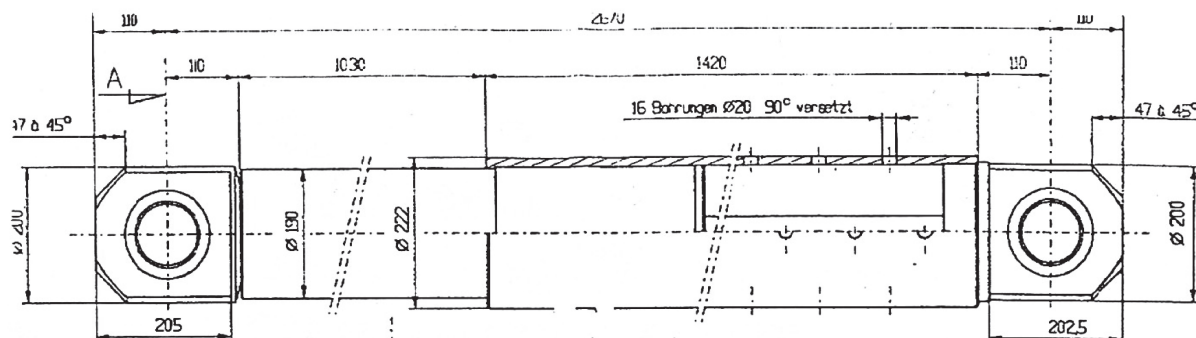


Рис. 4. Конструкция цилиндра фирмы «Jarret»

Данные цилиндры используются в предохранительных устройствах на шлюзах Германии. Их энергоемкость (рис. 5) не превышает 100 кН (цилиндр BCLR-1000) и имеют довольно короткий ход штока, что является значительным недостатком и позволяет применять данные цилиндры только блоками, а для увеличения пути торможения использовать сложную тросо-блочную систему.

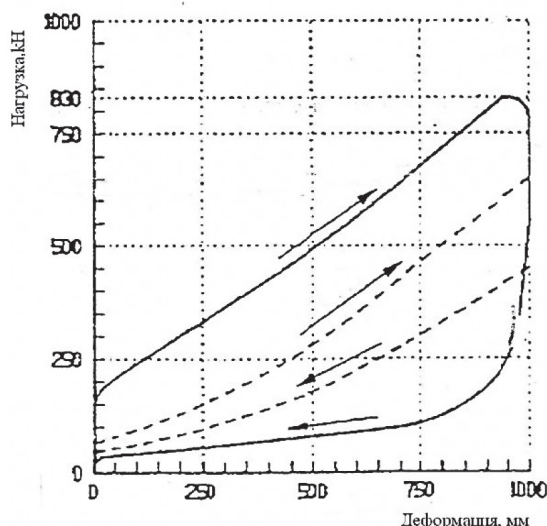


Рис. 5. Диаграмма работы амортизатора «Jarret»

Предохранительное устройство с фрикционной системой гашения энергии навала судна

Для уменьшения инерционных сил покоя в начальный период навала, а также в связи с необходимостью регулировать тормозные усилия и удлинять путь торможения предлагается фрикционная система торможения [12].

Устройство заключается в следующем: на стенах камеры шлюза монтируется система тормозных тележек, рассчитанная на перемещение судна в зоне ворот. Вся система предупреждения навала (рис. 6) состоит из гибкого органа 1 в виде цепи или каната, перекинутого через судоводный пролет. Канат 1 опускается с помощью специальной тележки 2 на необходимый уровень. Тормозные тележки 3 установлены в горизонтальных пазах 4, проложенных по стенам шлюза 5. В стенках паза 4 проложены тормозные шины 6, а на тележках 3 установлены тормозные колодки 7, при этом тормозные шины 6 установлены с переменной шириной по длине. Между корпусом тележек 3 и тормозными колодками 7 установлены амортизаторы 8 в виде резиновых конических блоков (амортизаторов). По дну паза проложены рельсовые пути 9 на которые опираются тележки 2 и 3.

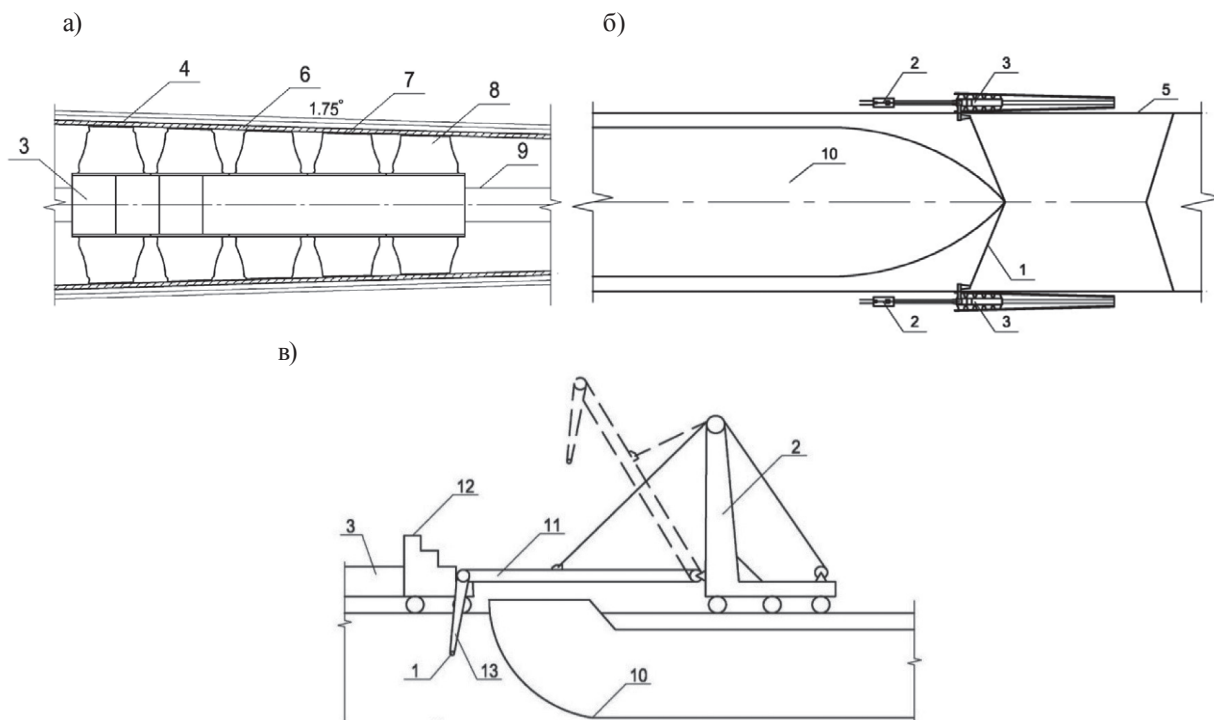


Рис. 6. Предохранительное устройство:

а — тормозные тележки; б — план тормозной системы; в — система наводки заграждения

Для остановки судна 10 в камеру посредством поворотных штанг 11, 13 опускается заградительный канат, при этом концы каната, закрепленные на штангах, входят в сопряжение с тележками. При навале судна заградительный канат, штанговые тележки, и тормозные тележки перемещаются в сторону ворот до полной остановки, при этом энергия навала поглощается силами торможения.

Для остановки судна необходимо выполнение следующего условия:

$$E_k = E_{тр} + E_{сж},$$

где E_k — кинетическая энергия движения судна; $E_{тр}$ — энергия сил трения; $E_{сж}$ — энергия сжатия амортизаторов.

В качестве амортизаторов предлагается использовать отбойные устройства HC600N фирмы «Bridgestone» с известными характеристиками (рис. 7) [13].

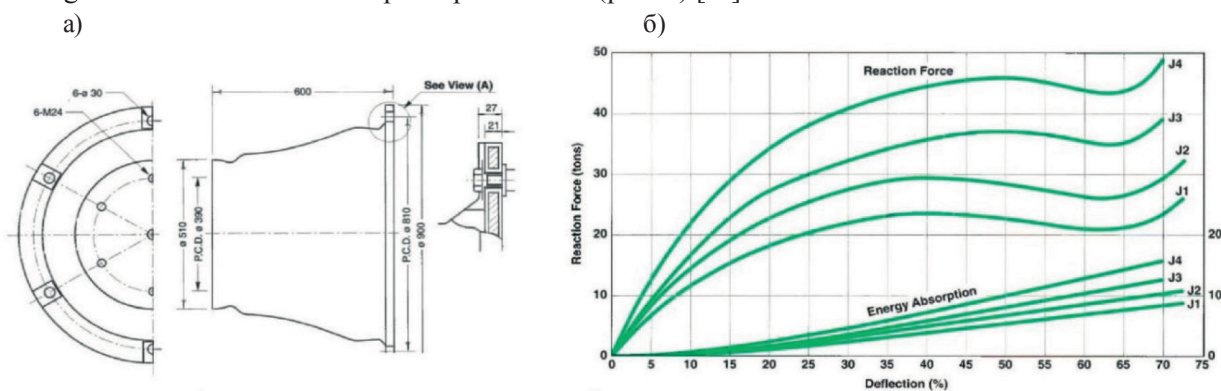


Рис. 7. Отбойное устройство HC600N фирмы «Bridgestone»:

а — общий вид; б — характеристики J1, J2, J3, J4 — типы резины

В нашем примере для расчета амортизаторов использованы характеристики судна Волго-Дон ($W = 6750$ т, $V_c = 1,0$ м/с).

Предлагается установить на каждой тележке по десять конусных отбойных устройств НС600Н из класса резины J4. Уклон горизонтального паза с установленными тормозными шинами принимается равным $1,75^\circ$.

Эффективность гашения кинетической энергии судна за счет силы трения во многом зависит от характеристик фрикционного материала, из которого состоят тормозные колодки. В рассматриваемом примере был выбран материал ЭМ-1, относящийся к группе вальцованных фрикционных изделий на основе асбеста (коэффициент трения по углеродистой стали — 0,44).

В результате расчетов системы с уклоном горизонтального паза $1,75^\circ$ был составлен график характеристик системы, а также график изменения скорости судна $W = 6750$ т после включения в работу предохранительного устройства (рис. 8, 9).

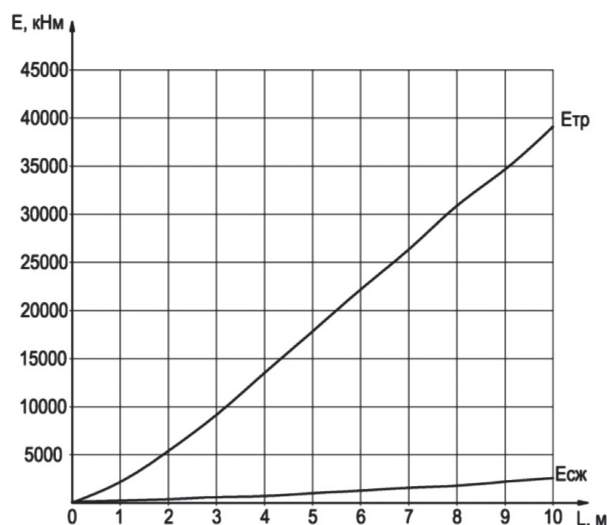


Рис. 8. График характеристик тормозной фрикционной системы (угол установки шин $\alpha = 1,75^\circ$):
 $E_{тр}$ — энергия, поглощаемая трением; $E_{сж}$ — энергия, поглощаемая амортизаторами; L — путь торможения

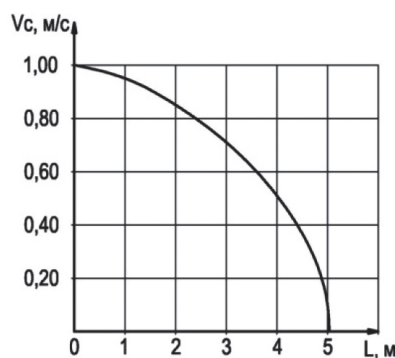


Рис. 9. График изменения скорости судна после включения в работу предохранительного устройства
(судно $W = 6750$, $V_n = 1$ м/с)

При увеличении величины скорости движения судна (табл. 2) при навале график формирует другой режим, а именно увеличение пути движения со снижением ускорения торможения.

Таблица 2

Изменение характеристик системы в процессе остановки судна

$L, \text{ м}$	0	1	2	3	4	5	5,04
$E, \text{ кНм}$	38000	32745	26510	18610	9655	460	0
$V, \text{ м/с}$	1,00	0,95	0,85	0,71	0,51	0,11	0,00
$t, \text{ с}$	0	1,02	1,11	1,28	1,64	3,22	0,36

Для увеличения длины торможения и снижения ускорения рекомендуется уменьшить угол установки тормозных шин. Регулирование уклона допускается в узлах закрепления шин. На фундаментах устанавливаются прокладки и подбором их толщины выбирается оптимальный уклон для создания безопасного режима торможения.

В результате расчетов системы с уклоном горизонтального паза $1,00^\circ$ был построен график характеристик системы, а также график изменения скорости судна $W = 6750$ т после включения в работу предохранительного устройства (рис. 10, 11).

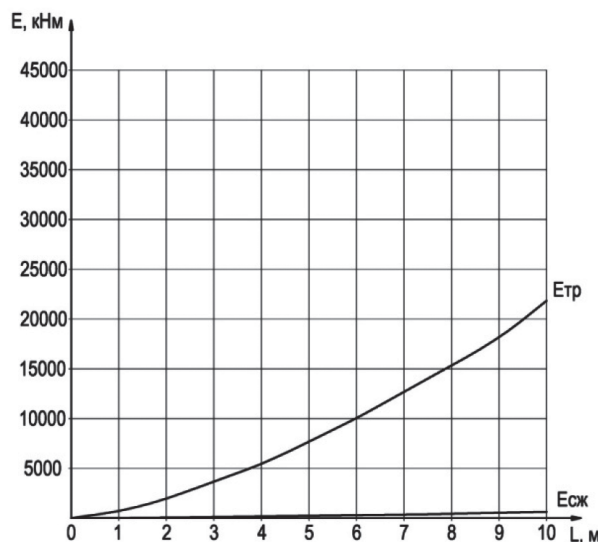


Рис. 10. График характеристик тормозной фрикционной системы (угол установки шин $\alpha = 1,00^\circ$): $E_{тр}$ — энергия, поглощаемая трением; $E_{сж}$ — энергия, поглощаемая амортизаторами; L — путь торможения

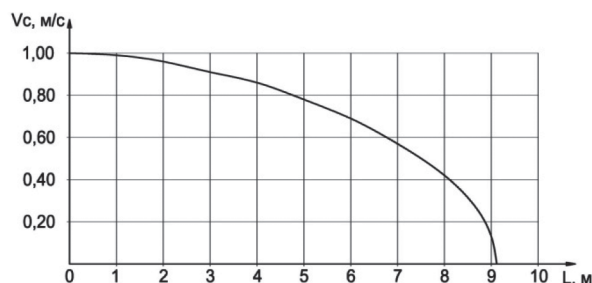


Рис. 11. График изменения скорости судна после включения в работу предохранительного устройства (судно $W = 6750$, $V_n = 1$ м/с)

Для установки гибкого предохранительного ограждения рассматривались следующие способы:

- подъем-опускание по вертикальным пазам, выполненным в пилонах;
- подъем-опускание в воду ниже днища судна.

Принят вариант подъема над судном и опускания перед ним посредством поворотных штанг (см. рис. 6) [14].

Данное решение позволяет автоматически установить посредством захвата гибкое ограждение в захвате тормозных тележек, что сокращает затраты времени и повышает надежность. Кроме того, система поворотных штанг позволяет менять положение гибкого органа по высоте в зависимости от положения уровня воды в камере.

Выводы

Существующие системы предохранительных устройств для защиты ворот шлюза от навала судна имеют ряд недостатков, в частности, распространенные системы с гидравлическими цилин-

драми не снижают усилие навала в начальный момент контакта форштевня судна с заградительным органом, что приводит к разрыву каната (цепи), выходу из строя всего устройства. Ограниченный путь торможения приводит к воздействию инерционных сил на судно и может привести к повреждению оборудования и несчастным случаям с людьми.

Предлагаемая фрикционная система торможения позволяет снизить начальное усилие в заградительном органе, увеличить длину торможения, обеспечить плавную остановку судна, снизить воздействие инерционных сил. Данная система может быть смонтирована на существующих шлюзах России без переустройства камеры и голов. Эффективность системы обеспечивается за счет постепенного увеличения сил трения от момента навала до полной остановки судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богатырёв В. Г.* Анализ воздействия судов на ворота шлюза / В. Г. Богатырёв // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2011. — № 3. — С. 14–17.
2. *Валькович Я. М.* Проведение исследований по определению оптимальных конструкций аварийных ворот и предохранительных устройств для оснащения различных типов шлюзов / Я. М. Валькович, М. Л. Кузьмицкий // Материалы науч.-практ. конф. «Обеспечение безопасности и надежности судоходных гидротехнических сооружений». — М.: Перо, 2013. — С. 70–99.
3. *Нычик Т. Ю.* Оценка риска аварий и транспортных происшествий в судоходных шлюзах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19 / Т. Ю. Нычик. — СПб.: Гос. университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2014. — 21 с.
4. *Богатырёв В. Г.* Определение несущей способности двустворчатых ворот при навале на них судна / В. Г. Богатырёв // Речной транспорт (XXI век). — 2013. — № 3 (62). — С. 73–78.
5. *Колосов М. А.* Предохранительные устройства судоходных шлюзов / М. А. Колосов, С. В. Обоймов // Гидротехника. XXI век. — 2013. — № 4. — С. 34–37.
6. А. с. 1249108 СССР. МПК Е 02 С 1/10. Предохранительное устройство для защиты ворот шлюза от навала / Н. В. Селезнев. — № 3829383/21-11; Заявлено 25.12.84; Оpubл. 07.08.86, Бюл. № 29 (71). — 2 с.
7. А. с. 1079745 СССР. МПК Е 02 С 1/10. Устройство для защиты ворот шлюза от навала судов / В. А. Вознесенский, С. И. Кулагин. — № 3487848/29-11; Заявлено 03.09.82; Оpubл. 15.03.84, Бюл. № 10 (72). — 4 с.
8. Пат. 2335599. Российская Федерация. МПК Е 02 В 7/20, Е 02 С 1/10. Способ защиты ворот шлюза от навала судна / М. А. Колосов; патентообладатель Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций. — № 2006139119/03; Заявлено 07.11.2006; Оpubл. 10.10.2008, Бюл. № 28. — 2 с.
9. *Колосов М. А.* Разработка предохранительных устройств металлоконструкций ворот судоходных шлюзов: науч.-технич. отчет по теме № 49 / М. А. Колосов. — СПб., 2004. — 151 с.
10. *Никитин О. Ф.* Рабочие жидкости и уплотнительные устройства гидроприводов / О. Ф. Никитин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. — 288 с.
11. *Шестаков А. С.* Методы решения уравнений работы предохранительных устройств / А. С. Шестаков, Л. В. Черноморская // Сб. тр. Ленинградского института водного транспорта. — Л.: 1974. — С. 58–71.
12. Пат. 2579229. Российская Федерация. МПК Е 02 С 1/10, Е 02 В 7/20. Предохранительное устройство для защиты ворот шлюза от навала судов / М. А. Колосов, А. А. Смирнов; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова». — № 2014154371/13; Заявлено 30.12.2014; Оpubл. 10.04.2016, Бюл. № 10. — 7 с.
13. Bridgestone.Hypercellfenders. F250E-1. — BridgestoneCorporation, 2000. — 25 p.
14. Пат. 2532036. Российская Федерация. МПК Е 02 С 1/10. Предохранительное устройство судоходного шлюза / М. А. Колосов, А. А. Эйрус; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова». — № 2013109265/13; Заявлено 01.03.2013; Оpubл. 27.10.2014, Бюл. № 30. — 5 с.

DEVELOPMENT OF A FRICTION SYSTEM TO PROTECTION GATE NAVIGATION LOCK FROM SHIP IMPACT

The main objective of the article is to provide a friction system to protect gate navigation lock. The vulnerability of the navigation lock, as a part of waterfront waterworks on inland waterways of Russia is specified. The consequences of the ship impact to the gate bottom head of the navigation lock, as well as the consequences of its displacement are identified. A few cases of accidents are specified. Calculation of shock loads on the gate on the example of a displacement of 3920 tons of the ship is submitted. A brief overview of the existing safety devices is provided. Major disadvantages of different constructions are specified. Factors that reduce the effectiveness of the devices are considered. Disadvantages of the safety device using a hydraulic cylinder as one of the most common are discussed in details. The tension in the cable of the protection systems from ship impact on the example of Kanevsky navigation lock project is considered. The conditions which are stopping the ship are considered, calculation of the characteristics of system damping ship energy with corresponding graphs is given. The calculation of the length of the braking path, depending on structural changes in the devices construction was done. Presented friction system eliminates the disadvantages of existing safety devices and allows to manipulate the braking tensions and increase the length of the braking path. The methods to set the protection cable and change position depending of the water level in navigation lock camera are considered. Conclusions on the possibility to using the new safety devices on existing navigation lock in Russian, its operational efficiency, the benefits on comparison to other system to protection gate navigation lock from ship impact are made.

Keywords: navigation lock, safety device, ship impact, energy of the impact, the friction system.

REFERENCES

1. Bogatyrjov, V. G. "Analiz vozdeystvija sudov na vorota shljuzu." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3 (2011): 14–17.
2. Valkovich, Ja. M., and M. L. Kuzmitskij. "Provedenie issledovanij po opredeleniju optimal'nyh konstrukcij avarijnyh vorot i predohranitel'nyh ustrojstv dlja osnashhenija razlichnyh tipov shljuzov." *Materialy nauch.-praktich. konf. «Obespechenie bezopasnosti i nadezhnosti sudohodnyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij»*. M.: Pero, 2013: 70–99.
3. Nychik, T. Ju. Ocenka riska avarij i transportnyh proisshestvij v sudohodnyh shljuzah. Abstract of PhD diss. SPb.: Gos. un-t mor. i rechnogo flota im. adm. S.O. Makarova, 2014.
4. Bogatyrev, V. "Defining of carrying capacity of lock's double folding gates pressed by a ship." *River transport (XXIst century)* 3(62) (2013): 73–78.
5. Kolosov, M. A., and S. V. Obojmov. "Predohranitelnye ustrojstva sudohodnyh shljuzov." *Gidrotehnika. XXI vek* 4 (2013): 34–37.
6. Seleznev, N. V. IPC E 02 C 1/10. Predohranitelnoe ustrojstvo dlja zashhity vorot shljuzu ot navala. USSR, assignee. Patent 1249108. 07 Aug. 1986.
7. Voznesenskij, V. A., and S. I. Kulagin. IPC E 02 C 1/10. Ustrojstvo dlja zashhity vorot shljuzu ot navala sudov. USSR, assignee. Patent 1079745. 15 March 1984.
8. Kolosov, M. A. RU 2 335 599 C2, IPC E 02 B 7/20, E 02 S 1/10. Sposob zashhity vorot shljuzu ot navala sudna. Russian Federation, assignee. Patent 2335599. 10 Oct. 2008.
9. Kolosov, M. A. Razrabotka predohranitel'nyh ustrojstv metallokonstrukcij vorot sudohodnyh shljuzov: nauchno — tehnikeskij otchet po teme № 49. SPb., 2004.
10. Nikitin, O. F. *Rabochie zhidkosti i uplotnitel'nye ustrojstva gidroprivodov*. M.: MGTU im. N. Je. Bauman, 2013.
11. Shestakov, A. S., and L. V. Chernomorskaja. "Metody reshenija uravnenij raboty predohranitelnyh ustrojstv." *Sbornik trudov Leningradskogo instituta vodnogo transporta*. Leningrad, 1974: 58–71.
12. Kolosov, M. A., and A. A. Smirnov. RU 2 579 229 C1, IPC E 02 S 1/10, E 02 B 7/20. Predohranitelnoe ustrojstvo dlja zashhity vorot shljuzu on navala sudov. Russian Federation, assignee. Patent 2579229. 10 Apr. 2016.
13. Bridgestone. Hypercellfenders. F250E-1. Bridgestone Corporation, 2000.
14. Kolosov, M. A., and A. A. Jejrus. RU 2 532 036 C1, IPC E 02 S 1/10. Predohranitelnoe ustrojstvo sudohodnogo shljuzu. Russian Federation, assignee. Patent 2532036. 27 Oct. 2014.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колосов Михаил Александрович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
kaf_gsk@gumrf.ru
Смирнов Александр Александрович — аспирант.
Научный руководитель:
Колосов Михаил Александрович.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
inf-smirnof@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kolosov Mikhail Aleksandrovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
kaf_gsk@gumrf.ru
Smirnov Aleksandr Aleksandrovich — postgraduate.
Supervisor:
Kolosov Mikhail Aleksandrovich.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
inf-smirnof@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 25 августа 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-85-97
УДК 626.421; 691.32

**И. В. Комков,
К. П. Моргунов,
А. В. Семенников**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА КАМЕР ШЛЮЗОВ
ВОЛГОГРАДСКОГО ГИДРОУЗЛА**

Судоходные шлюзы Волгоградского гидроузла эксплуатируются более 55 лет, при этом железобетонные конструкции гидротехнического сооружения подвергаются воздействию различных нагрузок, изменяющихся во времени. Контрольно-измерительная аппаратура, установленная на шлюзах, морально и физически устарела, часть её вышла из строя, с момента проектирования и строительства шлюзов изменились и нормативные требования, регламентирующие надежную работу шлюзов. Для оценки реального состояния железобетонных конструкций было выполнено детальное исследование свойств бетона камер шлюзов. Использовались две группы методов: выбуривание и лабораторные испытания контрольных образцов бетона (кернов) и методы неразрушающего исследования. Для верхней и нижней камер шлюза № 31 определялась прочность и защитные свойства бетона, степень коррозии арматуры. Установлено, что в большинстве образцов прочность бетона превышает проектную, пониженная прочность бетона выявлена на участках, подверженных выщелачиванию и морозной деструкции. Бетон строительных конструкций верхней и нижней камер шлюза № 31 не карбонизирован. Конструктивная арматура частично корродированна, на рабочей арматуре коррозии нет. При наличии в стенах камер достаточного количества дефектов, связанных с разуплотнением и разрушением поверхностных зон бетона, зоны слабого бетона не превышают глубины в 20 – 40 см. За 55 лет эксплуатации бетон конструкций лишь упрочнился.

Ключевые слова: судоходные шлюзы, определение прочности и сплошности бетона, прочность на сжатие, степень карбонизации, активная коррозия арматуры.

Введение

Судоходные шлюзы № 30 и № 31 Волгоградского гидроузла являются гидротехническими сооружениями I класса и находятся в эксплуатации уже более 55 лет. Длительная эксплуатация шлюзов привела к определенным изменениям параметров, характеризующих состояние сооружений и конструкций, особенно проявившимся в последние 20 лет. В значительной степени это обусловлено, по-видимому, тем, что в эти годы изменился характер эксплуатации шлю-