

Третий этап строительства гидроэлектростанций еще не завершен. Для будущих ГЭС намечено несколько створов на Западной Двине, Днепре, а также на притоках Немана и Западной Двины. При полной реализации этих проектов суммарная мощность всех ГЭС Беларуси может быть увеличена на 25-40 %.

### Литература

1. Гидроэнергетические ресурсы Белоруссии / ред. М. Г. Мурашко, П. Д. Гатилло. – Минск: Изд. АН БССР, 1957. – 174 с.
2. Водноэнергетический кадастр Белорусской ССР: в 2-х т./ М. Г. Мурашко [и др.]. – Минск: Изд. АН БССР, 1960. – Т. 1. – 282 с.
3. Смирнов, А. И., Гатилло, С. П. Новый этап восстановления и строительства малых ГЭС в Беларуси // Водное хозяйство и гидротехническое строительство: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск: Изд. БНТУ. – Вып. 22. – С. 31–35.

УДК 626.4

### Защита ворот шлюзов от навала судов

Моргунов К. П., Колосов М. А.

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота  
имени адмирала С. О. Макарова»  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Представлен вариант защиты ворот шлюза от навала судна, использующий в качестве тормозного устройства тележки, перемещающиеся по наклонным путям, расположенным на стенах камеры шлюза.*

Практика эксплуатации судоходных шлюзов выявила наиболее вероятные и наиболее опасные события – разрушение ворот шлюза при наполнении камеры. Такое событие может привести не только к разрушению ворот, но и к повреждению судна, к сработке призмы воды в камере шлюза, а иногда и к полной сработке верхнего бьефа. Причины навала – как правило, ошибки судоводителей в оценке режима движения судна. Поскольку исключить человеческий фактор в нарушении режимов движения невозможно, на шлюзах предполагается защита конструкций ворот от навалов.

Известно [1], что с увеличением числа шлюзований возрастает и число навалов на ворота (рис. 1). Такие зависимости установлены для шлюзов Волго-Балтийского водного пути, шлюзов канала имени Москвы и других бассейнов.

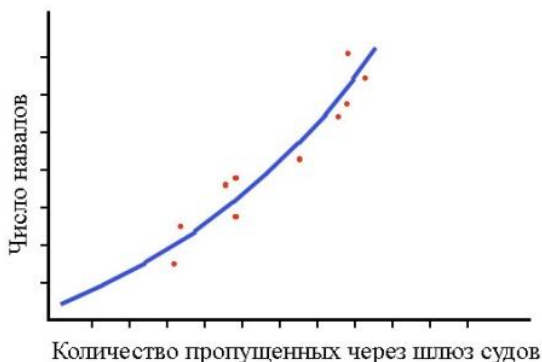


Рис. 1. Условная зависимость числа навалов судна на ворота от количества судопропусков в навигацию

Каждый навал на ворота приводит к большим или малым повреждениям ворот, но почти всегда – к остановке судопропуска. Так, навал на ворота верхней камеры шестикамерного Пермского шлюза (1994 год, река Кама) привел к полному разрушению пролетного строения ворот, разрушению бетона пазовых конструкций, а затем к разрушению ворот нижележащих камер. Их разрушение было вызвано потоком воды и ударами судов, движущихся вместе с потоком, по шлюзовым ступеням. Ремонт Пермских шлюзов потребовал проведения работ в течение 20 лет.

Разрушение ворот Константиновского шлюза (2004 год, река Дон) привело к перерыву судопропуска по Волго-Донскому водному пути на 18 суток.

Ежегодно происходят навалы, которые вызывают разрушение верхнего ригеля ворот, механизмов открытия и закрытия ворот, пешеходных мостков. Такие повреждения требуют ремонта, перерыв судопропуска занимает от нескольких часов до нескольких суток.

Для защиты ворот от повреждения предлагаются различные типы защитных устройств. Защита ворот от навала предполагает создание устройств, способных остановить судно перед воротами, для чего необходимо приложить к судну тормозное воздействие, обеспечивающее гашение энергии движения судна. Уравнение остановки судна перед воротами имеет вид

$$\frac{W v^2}{2} P = F_T l_T,$$

где  $W$  – водоизмещение судна, т;  $v$  – скорость движения судна в момент навала, м/с;  $P$  – коэффициент присоединенной массы воды (по данным исследования на шлюзах  $P = 1, 1,1-1,15$ );  $F_T$  – тормозное усилие предохранительных устройств, т;  $l_T$  – путь торможения, м.

Разработки предохранительных устройств направлены на создание эффективной системы торможения, которая должна обеспечивать при усилии  $F_T$  остановку судна перед воротами на участке пути  $l_T$ .

Анализ существующих схем защитных устройств показал, что они обычно имеют два элемента:

- поперечный канат (цепь), перекинутый через камеру шлюза;
- тормозные системы, соединенные с канатом.

В качестве тормозных систем используются устройства с применением противовесов в виде грузов, расположенных в вертикальных шахтах, гидроцилиндров с системой перетока масла из штоковой полости, резиновых блоков, сформированных в цепи, тормозных фрикционных тележек. Некоторые системы торможения (гидроцилиндры) уже работают на действующих шлюзах (Волго-Дон).

Недостатком известных систем защиты ворот является короткий путь торможения, обусловленный для гидроцилиндров и резиновых блоков ограниченностью их размеров, для противовесов – ограниченностью глубины шахт. Кроме того, все известные системы имеют несовершенное регулирование усилий.

Нами разработана система торможения, которая состоит из поперечного каната, концы которого закреплены на тележках, установленных на наклонных путях, проложенных по стенам камеры (рис. 2).

Поперечный канат в зоне его контакта с форштевнем судна должен иметь резиновую оболочку, компенсирующую трение, возникающее при навале судна (рис. 3). Сила трения  $T$  между форштевнем судна и канатом защитного устройства определяется формулой

$$T = \mu F_T \cos \alpha,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения резиновой оболочки каната о металлический брус форштевня;  $\alpha$  – угол наклона форштевня судна.

По нашим оценкам  $\mu = 0,85-0,90$ . Задаваясь углом уклона путей тележки  $\beta$ , получим выражение для подъемной силы, действующей на форштевень

$$Q = F_T \sin \beta.$$

Необходимым условием устойчивости каната на форштевне судна является  $T \geq Q$ . Тогда для обеспечения торможения необходимо задаться, например, следующим значением коэффициента устойчивости

$$K_y = \frac{T}{Q} = \frac{\mu F_T \cos \alpha}{F_T \sin \beta} = \frac{\mu \cos \alpha}{\sin \beta} \geq 1,5.$$

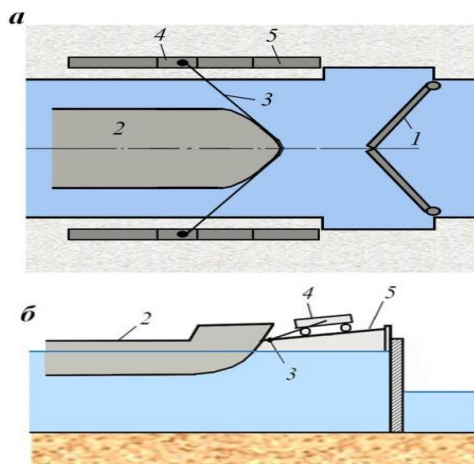


Рис. 2. Схема предохранительного устройства:  
*a* – план, *б* – продольный разрез;  
 1 – ворота шлюза, 2 – судно в камере, 3 – гибкое заграждение,  
 4 – тележка, 5 – наклонные пути тележки

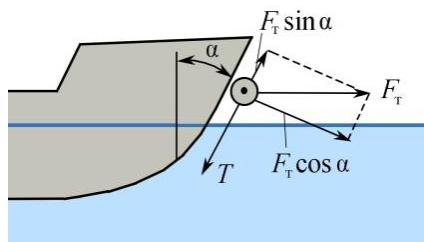


Рис. 3. Схема взаимодействия тормозного каната с форштевнем судна

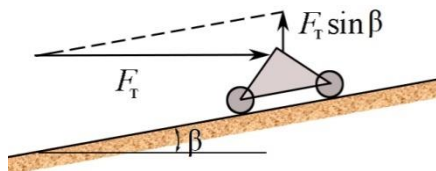


Рис. 4. Схема усилий на тормозной тележке

Из этого условия, зная коэффициент трения  $\mu$  и угол наклона форштевня судна  $\alpha$ , можно определить угол уклона тормозных путей тележки.

Выводы:

- представленная схема взаимодействия тормозного каната и форштевня судна может быть уточнена с учетом фактических обводов судна и типа резины, принятой для оболочки каната.
- усилия навала следует задавать в зависимости от принятой длины зоны безопасности перед воротами шлюза.
- так как тормозные тележки воспринимают как горизонтальные, так и вертикальные нагрузки, наклонные пути необходимо проектировать, используя лотковую форму фундамента.

### Литература

1. Нычик, Т. Ю. Анализ аварийных ситуаций при шлюзовании судов / Журнал Государственного университета водных коммуникаций. – СПб.: Изд-во СПГУВК, 2011, вып. IV (XII). – С. 105–112.

УДК 624.124.791

### Новые направления моделирования ледяного покрова с применением композитного модельного льда GP-ice

Зуев В. А., Двойченко Ю. А., Себин А. С.

Нижегородский государственный технический университет  
им. Р. Е. Алексеева  
Нижний Новгород, Россия

*Активное использование большого количества весьма разнообразных способов моделирования ледяного покрова для оценки ледовых качеств судов в различных ледовых опытовых бассейнах свидетельствует об отсутствии единого подхода в этом вопросе. В данной статье указывается на фундаментальное противоречие, лежащее в основе упомянутых методов, и предлагается новый способ тестирования модельного ледяного поля, основанный*