

4. Ступников В. С. Тиксотропия глинистых грунтов / В. С. Ступников, Е. М. Данчук, Л. И. Черкасова. – Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral», 2019. № 1. с. 16 – 21.

5. Осипов В. И. Природа прочности и деформационных свойств глинистых грунтов / В. И. Осипов. – Москва: Изд-во МГУ, 2019. – 232 с.

УДК 626.44

В.Г. Богатырев

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

### **ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСШВАРТОВНОГО ШЛЮЗОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР**

Эксплуатация судоходных шлюзов в период продленной навигации сопряжена со сложностями использования устройств и оборудования в условиях отрицательных температур, на которые они изначально не проектировались. Опыт наблюдений и эксплуатации показывает, что в камере шлюза по линии разделения сред воздух-вода образуется сплошной контур наледи, особенно интенсивно наледь образуется по отметкам верхнего и нижнего бьефа [1]. Образовавшаяся наледь уменьшает габарит ширины шлюза, препятствует полному заходу двустворчатых ворот в шкафные ниши и препятствует свободному перемещению плавучих рымов, вплоть до полного ограничения возможности их перемещения по причине примерзания к направляющим рельсам. Данные ограничения вызывают различные сложности при шлюзовании и требуют организации дополнительных мероприятий по их устранению, что в свою очередь усложняет процесс шлюзования и увеличивает его продолжительность. Для обеспечения работы плавучих рымов в зимних условиях предлагались варианты оборудования, как самих рымов, так и направляющих конструкций, по которым рымы перемещаются, системами обогрева. Однако в настоящее время ни на одном судоходном шлюзе России плавучие рымы не оборудованы системами обогрева и судопропуск в зимний период, в условиях обмерзания движущихся частей швартовных устройств не может осуществляться с их использованием. Нет отработанных и прошедших практические испытания систем, обеспечивающих работу обледеневших рымов, не разработаны режимы функционирования систем обогрева, не разработаны варианты их размещения на плавучих рымах, не исследовано поведение механизмов швартовки в зимних условиях. Реализация таких систем на шлюзе

значительно усложняет и удорожает конструкцию рымов, требует устройства дополнительных систем мониторинга за состоянием и работой швартовных устройств.

В виду отсутствия систем, позволяющих использовать плавучие рымы в условиях активного образования наледи, для выполнения требования об обязательной швартовке судна применяют способ швартовки за неподвижные швартовные тумбы, расположенные на верху стены камеры шлюза. Швартовка за неподвижные швартовные тумбы имеет существенные недостатки, связанные с необходимостью экипажем судна производить постоянное и равномерное удлинение или укорачивание швартовного троса в зависимости от опорожнения или наполнения камеры шлюза. Например, в случае шлюзования из нижнего бьефа необходимо постоянно выбирать провис троса, образующийся в результате непрерывного подъема уровня воды, и судна соответственно, в камере шлюза. При выборе троса для удержания судна на месте необходимо развивать усилие большее, чем сумма усилий от собственного веса троса и от гидродинамического воздействия потока воды на судно, наполняющего камеру. Что является сложной задачей и повышает риск возникновения аварий. С целью уменьшения риска возникновения аварий изменяется режим наполнения на менее интенсивный, позволяющий уменьшить величину действующей гидродинамической силы, и более продолжительный по времени. На шлюзах, оборудованных подвижными рымами в камерах, скорость вертикального перемещения судов не ограничивается и лимитируется только гидродинамическими воздействиями на судно. На шлюзах, оборудованных неподвижными причальными устройствами, наибольшая скорость вертикального перемещения судов ограничивается условиями перекладки причальных канатов и не должна превышать 1 м/мин [2]. Таким образом, помимо технических сложностей реализации швартовки судна, затрачивается дополнительное время на швартовку судна через заводку троса на верх стены к швартовной тумбе и на увеличение времени наполнения или опорожнения камеры шлюза. Поэтому актуальным является исследование возможности осуществления судопропуска через шлюз судов без использования швартовных устройств.

На сегодняшний день наиболее прогрессивным является шлюзование при котором судно удерживает себя в определенном положении в камере шлюза за счет работы собственного винторулевого комплекса. То есть судно компенсирует гидродинамические воздействия от наполнения, опорожнения камеры воздействием от работы винторулевого комплекса, оставаясь при этом в безопасном положении. Данный способ шлюзования назовем: бесшвартовное шлюзование. Для его реализации необходимо изучить, как возможности работы

и маневрирования винторулевого комплекса эксплуатируемых судов, так и возможности оборудования судоходного шлюза по регулировке интенсивности наполнения, опорожнения камеры шлюза.

В отличие от правил судопропуска предлагаемый процесс бесшвартовного шлюзования полностью исключает операции по швартовке судна. Следовательно, возникает необходимость определения допустимых режимов наполнения, опорожнения камеры, т.е. режимов при которых судно может компенсировать усилие от гидродинамического воздействия усилием от работы собственного винторулевого комплекса.

В работах [3,4] в результате произведенного анализа установлено, что величина гидродинамической силы, действующей на шлюзующееся судно, зависит, преимущественно, от волновой составляющей и определяется по формуле

$$P = i W, \quad (1)$$

где  $i$  – продольный уклон воды;  $W$  – водоизмещение судна. То есть гидродинамическая сила прямо пропорционально зависит от меняющегося во времени уклона свободной поверхности воды. Для определения уклона, зависящего от сложных, волновых процессов изменяющихся, как во времени, так и в направлении воздействия, предлагается оборудовать шлюзы системой автоматического определения уклона судна (рисунок). Предлагаемая система состоит из: двух лазерных дальномеров, расположенных на башнях верхней и нижней головы, вычислительного блока и модуля передачи данных на судно.

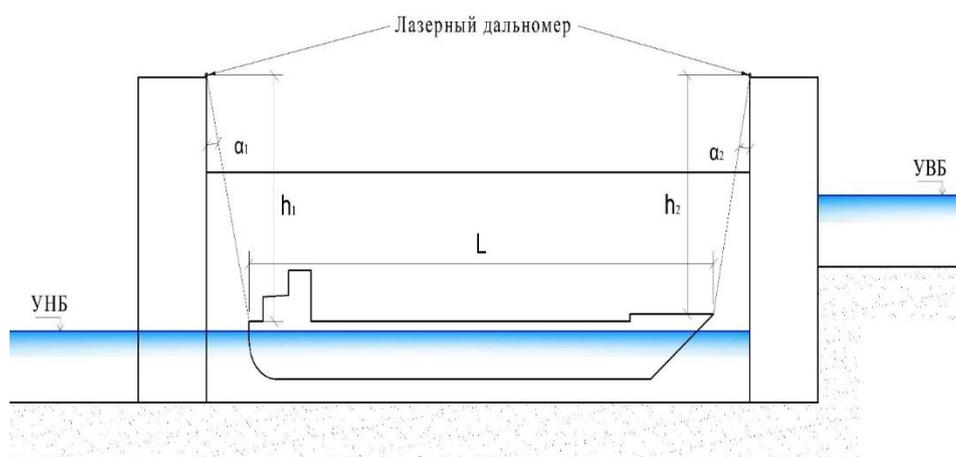


Рисунок. Схема для определения уклона судна в камере шлюза

Принципиальная схема работы системы по определению уклона следующая: судно находится в неподвижном положении в камере шлюза, затворы наполнения и опорожнения закрыты, лазерные дальномеры автоматически наводятся на крайние точки на носу и на баке судна, производится определение нулевого уклона исходя из условия

$$h_1 - h_2 = const \text{ при } i = 0, \quad (2)$$

где  $h_1$  – высота бака судна, м;  $h_2$  – высота носа судна, м.

Во время наполнения камеры шлюза постоянно фиксируется изменение высоты носа и бака судна и вычисляется уклон по формуле

$$i = \frac{\Delta h_1 \cos \alpha_1 - \Delta h_2 \cos \alpha_2}{L}, \quad (3)$$

где  $\Delta h_1$  – изменение высоты бака судна в результате наполнения камеры шлюза, м;  $\Delta h_2$  – изменение высоты носа судна в результате наполнения камеры, м; шлюза  $\alpha_1$  – угол между вертикалью и баком судна;  $\alpha_2$  – угол между вертикалью и носом судна;  $L$  – длина судна, м.

Для определения силы упора движителей воспользуемся формулой (4)

$$P = k\rho n^2 D^4, \quad (4)$$

где  $P$  – сила упора винта, кН;  $k$  – коэффициент эффективного упора;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – частота вращения винта, об/мин;  $D$  – диаметр винта, м.

Из формулы (4) видно, что единственной переменной, которую возможно одновременно и контролировать, и изменять за время шлюзования, будет число оборотов движителя.

Таким образом, условием отсутствия перемещения судна вдоль камеры шлюза будет являться равенство гидродинамической силы и силы упора движителей

$$i W = k\rho n^2 D^4 \quad (5)$$

или выразив формулу (5) через обороты движителя получим

$$n = D^2 \sqrt{\frac{i W}{k\rho}} \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что для сохранения условия отсутствия перемещения судна вдоль камеры шлюза, нужно с изменением уклона свободной поверхности изменять обороты движителя. При получении отрицательного значения уклона необходимо будет вращать движитель в другую сторону. Для судна основным ограничением в этом способе будет являться максимальное количество оборотов, которое может развить двигатель.

Разработка комплекса мероприятий по обеспечению безопасного функционирования оборудования шлюза в период отрицательных температур, в том числе технологии бесшвартового шлюзования, позволит существенно увеличить грузовые потоки, в том числе экспортно-ориентированные, что будет способствовать развитию экономических связей и повышению товарооборота. Исключение операций по швартовке также сокращает время шлюзования, а итоговое время, затрачиваемое судном на преодоление шлюза, которое для каждого судна может быть различным, необходимо уточнить дальнейшим исследованием. И как следствие, внедрение бесшвартового шлюзования будет

требовать разработки новых правил разграничения ответственности в системе «судно-шлюз».

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Моргунов, К. П. Обеспечение работы судопропускных сооружений при организации круглогодичной навигации на участке внутренних водных путей в направлении Каспий - Азов / К. П. Моргунов // Гидротехника. – 2022. – № 2(67). – С. 7-13.

2. СП 101.13330.2023. Свод правил. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. [Электронный ресурс]. - Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/1302196535?ysclid=1pa45mgnm9354608561> дата обращения: 20.11.2023

3. Головков С.А. Распределение воды в судоходных шлюзах: монография / С.А. Головков, П.А. Гарибин, А.М. Гапеев // СПб.: СПГУВК. – 2009. – С. 154.

4. Гарибин, П. А. Реновация систем наполнения водой камер судоходных шлюзов № 1-6 Волго-Балтийского водного пути / П. А. Гарибин, А. В. Богатов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 640-653.

УДК 53.043

М.А. Янко, А.А. Головкин, В.А. Агафонкин  
МГТУ им. Н.Э.Баумана,  
Москва, Российская Федерация

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАСТРУЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КОНСТРУКЦИЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Научный руководитель – Галиновский А. Л., д.т.н. д.п.н. профессор*

Использование водных ресурсов в народном хозяйстве играет важнейшую роль на государственном уровне [1]. При этом государство не только охраняет, но и контролирует текущее состояние водохозяйственных объектов. Водохозяйственные объекты включают в себя водохранилища, дамбы, плотины, шлюзы, насосные станции и прочие элементы водных сооружений [1-2]. От степени износа элементов гидротехнических сооружений зависит безопасность и жизнь людей, не только обслуживающих такие сооружения, но и живущих