

УДК 681.2.088

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ ВОРОТ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗАХ

© 2016 Е.В. Мельников, А.В. Бочкарев

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 24.03.2016

В статье описана система контроля повышенной точности за состоянием ворот судоходных шлюзов, внедрение которой на реально действующий шлюз способствует существенному снижению рисков возникновения серьезных неисправностей при эксплуатации сооружения.

Ключевые слова: судоходный шлюз, створка, энкодер, веревальный столб, погрешность

Уже некоторое время на территории России проводятся работы, связанные с реконструкцией водных путей страны. Не последнее место в этой транспортной сети занимают судоходные шлюзы. Судоходный шлюз представляет собой гидротехнические конструкции, размещаемые на водных путях для возможности перехода судов из одного водного бассейна в другой при отличающемся их уровне [1]. Для правильной эксплуатации шлюза требуется надежная система контроля положения двустворчатых распашных ворот камеры шлюза, которые представляют собой сложную конструкцию, работающую под воздействием больших нагрузок, создаваемых силовыми гидроцилиндрами гидропривода. Эти ворота вращаются вокруг некоторой оси, которая представляет собой веревальный столб. Он фиксируется сферическим подпятником снизу и хомутом, один из концов которого вмурован в стену в непосредственной близости веревального столба, а другой обхватывает его шейку около крайней верхней точки. Такой хомут называется гальсбант. Натяжение между стеной и шейкой столба в нем регулируется, что позволяет настраивать характеристики процесса створения ворот с заданной точностью.

Такая схема конструкции створки двустворчатых ворот шлюза требует вести постоянный, порядка нескольких раз в месяц, контроль степени натяжения гальсбантов. Кроме того, ослабление гальсбанта вызывает наклон веревального столба и, как следствие, всей створки. Регулировка гальсбанта с запозданием приводит к ускоренному износу креплений, что может привести к разрушению конструкций шлюза и длительному дорогостоящему ремонту с остановкой судоходства, зависящего от пропускной способности данного судоходного шлюза, на несколько месяцев. Помимо этого, отклонение веревального столба, вызванное ослаблением натяжения между шейкой столба и концом гальсбанта, вмурованным в стену, добавляет погрешность при расчете положения створки ворот в пространстве, при использовании традиционных, на сегодняшний день, способов измерения угла поворота створки. Под традиционными подразумеваются способы, полагающие, что ось вращения каждой из створок не претерпевает вращения вокруг центральной точки подпятника, служащего нижним креплением веревального столба. Следствием этого пренебрежения является допущение, что плоскость, в которой устанавливаются

некоторые измерительные устройства для определения угла поворота створки ворот, также не претерпевает никаких вращений, поворотов и наклонов

Среди способов позиционирования створки двустворчатых ворот шлюза известен способ, осуществляемый с помощью абсолютного линейного энкодера, что и позволяет найти угол поворота створки двустворчатых ворот шлюза. Очевидным недостатком такого метода можно считать наличие в местах крепления таких явлений как сухое трение, люфт, причем проявляющиеся стохастически. Это, наряду с отсутствием учета наклона оси вращения створки, вызывает погрешность в позиционировании створки, не давая избежать створений с ударом. Известен также другой метод, предполагающий преобразовывать угол поворота створки с помощью использования единственного датчика абсолютных угловых перемещений (как механического, так и цифрового) в сигнал, позволяющий позиционировать створку в пространстве. Этот метод имеет явный недостаток – при наклоне веревального столба будет не только создаваться погрешность от отсутствия учета угла его наклона, но этот же наклон может способствовать ускорению износа и, как следствие, выхода из строя самого датчика угла поворота.

Другой известный метод основан на использовании двух абсолютных угловых энкодеров и одного абсолютного линейного энкодера. Он основан на нахождении разности углов, данные о которых предоставляют угловые энкодеры, что позволяет определять угол поворота створки ворот. Помимо этого, производится учет наклона створки, возникающего в результате ненадлежащего состояния конструкции створки [2]. Несмотря на очевидные преимущества по сравнению с предшественниками, данный способ также имеет значимый недостаток. Он не позволяет учитывать наклон веревального столба во всех возможных направлениях, что также налагает погрешность на выходные данные, используемые для организации безударного створения створок двустворчатых ворот шлюза и не исключает износа креплений конструкции, могущих стать причиной трудновыполнимого дорогостоящего ремонта.

Можно сделать вывод, что для безударного створения ворот требуется другой метод определения положения в пространстве створок двустворчатых ворот шлюза, предполагающий учет возможного отклонения веревального столба с дальнейшей корректировкой пространственных характеристик каждой из створок во всякий момент процесса створения / открытия ворот.

Предлагаемый в рамках данной статьи способ контроля каждой из створок двустворчатых ворот

Мельников Евгений Владиславович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: mev163@yandex.ru
Бочкарев Андрей Владимирович, студент. E-mail: aes_1@mail.ru

заключается в полном определении в пространстве створок двустворчатых ворот шлюза относительно центра вращения веревяльного столба при его отклонении от нормального положения с использованием двух абсолютных угловых энкодеров и одного абсолютного линейного энкодера. Для исполнения такого метода требуется знать некоторые константы, находящиеся эмпирическим путем во время монтажа устройства.

Способ реализуется посредством устройства, которое включает в себя два абсолютных линейных энкодера и один абсолютный угловой. Устройство монтируется во время створенного положения двустворчатых ворот, при этом корпус одного из абсолютных угловых энкодеров устанавливается на жестко закрепленном на поворотной створке двустворчатых ворот шлюза штанговом креплении, находящимся непосредственно над крайней верхней точкой оси вращения створки (оставляя зазор между этой точкой и креплением, дабы избежать их взаимного сухого трения) таким образом, чтобы окружности, составляющие основания цилиндров веревяльного столба и вала абсолютного углового энкодера, соответственно, были концентричны. Второй абсолютный угловой энкодер располагают в одной горизонтальной плоскости с первым абсолютным угловым энкодером, закрепив жестко к некоторой близлежащей стене, вал второго абсолютного углового энкодера направлен вверх. Абсолютный линейный энкодер шарнирными креплениями в обоих случаях соединяют с первым и вторым угловыми энкодерами, причем корпус абсолютного линейного энкодера крепится с абсолютным угловым энкодером, жестко закрепленным на стене, а измерительный шток – с энкодером на веревяльном столбе таким образом, что шарнирное соединение позволяет абсолютному линейному энкодеру изменять угол наклона относительно горизонтальной плоскости. На основе данных, полученных с датчиков, определяем положение верхней точки веревяльного столба, в которой установлен первый абсолютный угловой энкодер, угол поворота самой створки и некоторой точки на ней, находящейся также в плоскости, участвующей в створении ворот.

Реализовав на основании данных со всех энкодеров математическую модель способа, получаем возможность изменения подаваемых на двигатели насосов пневмопоршней сигнал. Это дает автоматизированную регулировку скорости движения каждой из створок непосредственно в процессе створения, без остановок. Таким образом, создаются наиболее пригодные на сегодняшний день условия для безударного створения ворот. При достаточной аппаратной мощности вычислительного устройства появляется возможность графически моделировать процесс створения ворот в режиме реального времени.

Для определения в пространстве створки двустворчатых ворот шлюза пользуемся сферической системой координат. Началом координат является центр вращения веревяльного столба при его наклоне. Азимутальный угол будет соответствовать углу поворота створки в данный момент времени. Это обусловлено наличием крутящего момента на веревяльном столбе, что ограничивает перемещения всякой точки створки в направлениях, отличных от горизонтального поворота, окружностью, лежащей в лицевой или параллельной ей плоскости. Ниже представлены условные схемы расположения на створке и взаимного положения датчиков, а также геометрически обозначены

искомые углы γ и θ . Угол θ соответствует углу наклона створки при расслаблении гальсбанта. Из рис. 2 видно, что наклон створки вызывает изменение длины абсолютного линейного энкодера.

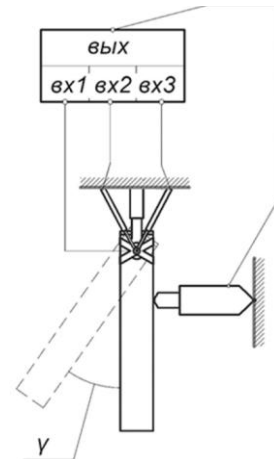


Рис. 1. Схематичное изображение створки с датчиками, установленными согласно рассматриваемому методу, γ - угол поворота створки относительно створенного состояния

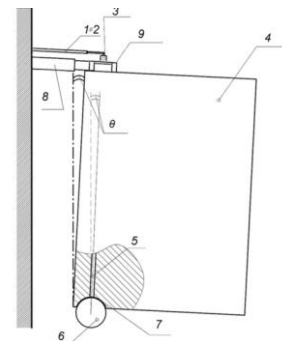


Рис. 2. Реализация рассматриваемого метода, вид слева:

1 – абсолютные линейные энкодеры, 2 – абсолютный угловой энкодер, 3 – створка двустворчатых ворот шлюза, 4 – веревяльный столб, 5 – неподвижный подпятник, 6 – пята, 7 – гальсбант, 8 – штанговое крепление

Из рис. 2 видно, что наклон створки вызывает изменение длины абсолютного линейного энкодера. Следует учитывать, что используется сферическая система координат с нулевой точкой в центре вертикального вращения створки, который находится по центру подпятника (может отличаться в зависимости от конструкции створки). Это важно при формировании визуального представления процесса открытия / створения в рамках прикладных программ либо в собственной программной среде, поскольку рассматриваемый способ позволяет без особого труда это сделать.

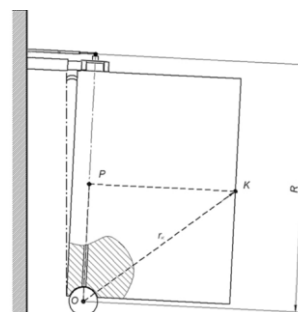


Рис. 3. Визуальное представление некоторых используемых констант

Положение створки ворот в пространстве определяется на основании угла поворота, который определяется как показания абсолютного углового энкодера, а также рассчитанного в любой момент времени на основе выходных сигналов линейных энкодеров угла наклона створки. Последний представляет больший интерес, поскольку именно данный параметр определяет во многом скорость износа конструкций крепления створки. Два абсолютных линейных энкодера используются с целью резервирования и повышения точности.

Для определения угла наклона створки используется разность угла наклона в начальный момент времени (створки закрыты) и в текущий момент времени. Математически это описано в выражениях ниже:

$$\theta = \arccos(\alpha) - \arccos(\beta), \quad (1)$$

где

$$\alpha = \frac{\frac{d_{10}^2 \cdot d_{20}^2}{s^2} + c^2 - R^2}{2 \cdot \frac{d_{10} \cdot d_{20}}{s} \cdot c}, \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\frac{d_1^2 \cdot d_2^2}{s^2} + c^2 - R^2}{2 \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{s} \cdot c}. \quad (3)$$

В выражениях (2) и (3): d_1, d_2 – длины первого и второго абсолютных линейных энкодеров в данный момент времени; d_{10}, d_{20} – длины первого и второго абсолютных линейных энкодеров в створенном состоянии ворот, замеряется один раз перед запуском всей системы позиционирования, по окончании установочных работ; s – расстояние между соединения со стеной их корпусов; c – расстояние от точки, образованной при пересечении отрезка s высотой треугольника, образованного s, d_1 и d_2 ; R – обозначенное на рис 3 за R расстояние.

Рассмотрим это решение с позиции резервирования. Предположим, что один из абсолютных линейных энкодеров вышел из строя и не передает на вычислительное устройство сигнал, пропорциональный изменению расстояния, на которое конец измерительного штока удален относительно корпуса энкодера. В таком случае возможно изменение способа определения наклона оси вращения относительно нормального положения с помощью простой замены в формулах (2) и (3) выражений $\frac{d_{10} \cdot d_{20}}{s}$ и $\frac{d_1 \cdot d_2}{s}$ на d_{10} и d_1 соответственно (при условии, что за d_0 и d_1 принимаем показания рабочего абсолютного линейного энкодера во время створенного состояния ворот и створения / растворения последних соответственно). Квадраты

этих выражений также сменяются на d_{10}^2 и d_1^2 . При отказе абсолютного углового энкодера данных об угле поворота створки не будет, но сохранится контроль за ее наклоном.

При штатном функционировании системы производится как учет наклона створки, так и угол ее поворота. Последний важен в обеспечении безударного створения ворот шлюзового отсека, поскольку при отставании одной створки от другой, несомненно, о плавном створении речи быть не может. Поэтому вычислительное устройство включает в себя блок обратной связи по скорости вращения створок, тем самым приводя обе створки к положению створения в одно и то же время. Такой подход к организации системы диагностики состояния двустворчатых ворот судоходного шлюза позволяет создать архитектуру, как минимум в 2 раза превосходящую в надежности аналоги.

Для оценки точности метода следует обратиться к определению абсолютной и относительной его погрешности. Подставив α и β из выражений (2) и (3) соответственно в выражение (1), а также взяв в качестве содержащихся в нем констант величины, соответствующие действительным значениям параметров реального судоходного шлюза, появляется возможность получить представление о изменении погрешностей с одновременным ростом длины d_1 и d_2 (такой сценарий предполагает максимальное значение погрешности) в диапазоне значений от 0.5 до 1.5, что требуется для определения оптимального положения абсолютных линейных энкодеров относительно стены через вычисление значения погрешности по мере изменения их длины.

Учитывая, что при наклоне створки происходит увеличение длины d_1 и d_2 , которое пропорционально этому наклону, можно предположить, что после некоторого критического значения длин d_1 и d_2 можно будет сказать, что достигнуто критическое значение угла наклона. А это уже означает непосредственно падение самой створки. Учитывая физические параметры реальной створки, примем в рамках данной работы критическое значение длин d_1 и d_2 на 40 см больше, чем начальная их длина, при которой створка находится в створенном без каких-либо осложнений состоянии. Это позволит также определить значение приведенной погрешности. Графики изменения погрешностей приведены ниже.

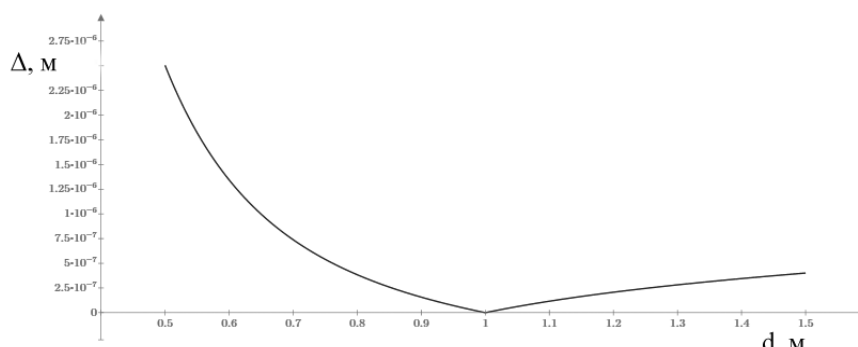


Рис. 4. Изменение абсолютной погрешности (принято за Δ , ось Y) с одновременным ростом d_1 и d_2 (принято за d , ось X)

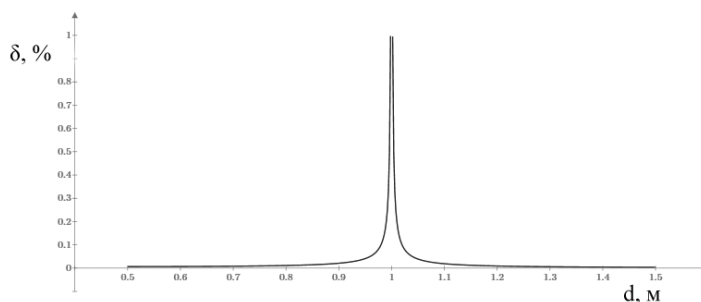


Рис. 5. Изменение относительной погрешности (принято за δ , ось Y) с одновременным ростом d_1 и d_2 (принято за d , ось X)

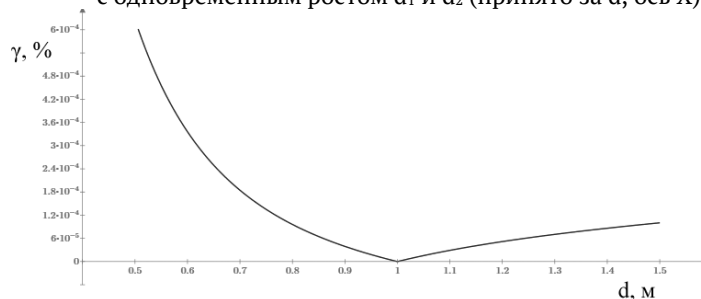


Рис. 6. Изменение приведенной погрешности (принято за γ , ось Y) с одновременным ростом d_1 и d_2 (принято за d , ось X)

Выводы.

1. Максимальное значение абсолютной погрешности метода на выбранном диапазоне не превышает значения $2,75 \cdot 10^{-6}$, приведенной погрешности - $6,262 \cdot 10^{-4}$, а график относительной погрешности имеет полюс в окрестностях $d=1$, что не позволяет говорить о ее максимальном значении.

2. График относительной погрешности стремится к бесконечности в окрестностях единицы. Во избежание неточных результатов следует пренебречь из возможных значений длин данной точкой, а также значениями, близкими к ней. Для этого исключим из дальнейших расчетов возможность использовать интервал $0.999 \div 1.001$ м. Сравнивая данный метод с используемыми, можно выделить преимущества первого:

- контроль наклона створки во время вращения;
- резервирование измерительных устройств в сис-

теме;

- возможность визуального представления (моделирования) перемещения ключевых точек створки в реальном времени;
- повышение точности определения в пространстве створок ворот, что приводит к повышению вероятности створения без ударов и прочих проблемных моментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Попов, С.А. Автоматизация производственных процессов на водном транспорте. – М.: Транспорт, 1983. 240 с.
2. Пат. 2459033С1, Российская Федерация, МПК E02B 7/20. Способ контроля позиционирования створок двустворчатых ворот шлюза и устройство для его осуществления / Самойлов В.Б.; заявитель и патентообладатель Самойлов В.Б. № 2011108057/13; заявл. 03.03.2011; опубл. 20.08.2012 г. Бюл. №23.

SYSTEM DEVELOPMENT FOR DIAGNOSTICS THE STATE OF TWO-FOLD GATE IN THE COURSE OF THEIR OPERATION ON NAVIGABLE LOCKS

© 2016 E.V. Melnikov, A.V. Bochkaryov

Samara State Technical University

In article the monitoring system of increased accuracy for state navigable locks gate which implementation on realy operating lock promotes essential decrease in risks of emergence the serious malfunctions at operation of a construction is described.

Key words: *navigable lock, shutter, enkoder, vereyal post, error*