

УДК 681.518.3  
О 57

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ И ПРОЦЕССОВ СПУСКА СУДНА НА ВОДУ

А. А. Омельчук, асп.;  
А. В. Рудакова, канд. техн. наук, доц.

*Херсонский национальный технический университет, г. Херсон*

**Аннотация.** Рассмотрена разработка информационно-измерительной подсистемы для системы управления спуском судна на воду. Предложено использование данной подсистемы для мониторинга параметров спуска судна и наблюдения за режимами работы оборудования слипа с целью обеспечения синхронного движения тележек при управлении компьютеризированной системой.

**Ключевые слова:** информационно-измерительная подсистема, спуск судна на воду, слип.

**Анотація.** Розглянуто розробку інформаційно-вимірювальної підсистеми для системи управління спуском судна на воду. Запропоновано використання даної підсистеми для моніторингу параметрів спуску судна і спостереження за режимами роботи обладнання слипа з метою забезпечення синхронного руху візків при управлінні комп'ютеризованою системою.

**Ключові слова:** інформаційно-вимірювальна підсистема, спуск судна на воду, слип.

**Abstract.** The development of data measuring subsystem for the ship launching control system has been considered. The usage of this subsystem for the monitoring of the ship launching parameters and the supervision of the modes of the slipway equipment operation is proposed in order to provide the coherent movement of trolleys under the computerized system control.

**Keywords:** data measuring subsystem, ship launching, slipway.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одними из наиболее распространенных судоспускных сооружений в отечественной судостроительной промышленности являются слипы.

В общем случае слип – это сооружение для подъема судна из воды по наклонной плоскости, перемещения его на площадку для ремонта и последующего спуска обратно на воду. Для создания эффективной системы управления спуском судна на воду, как и для других сложных многоприводных электромеханических систем, большое значение имеет анализ свойств объекта управления и условий, в которых это управление будет осуществляться. Для сбора и предварительной обработки информации о состоянии слипа и условиях его функционирования необходимо использовать измерительную подсистему.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На работу сложной электромеханической системы слипа в процессе спуска/подъема судна оказывает влияние множество различных внешних и внутренних факторов: распределение веса судна вдоль его корпуса, растяжение тросов, режимы работы электроприводов, изменение угла наклона спусковых путей, изменение нагрузок при переходе из надводной части слипа в подводную, состояние рельсовых путей, тип спускаемого судна, сила ветра, плотность воды [5, 6]. В существующих системах большинство указанных факторов не учитывается [1]. Известные

системы управления ограничиваются контролем скорости спусковых тележек, а другие параметры либо контролируются визуально и вручную, добавляя в систему субъективный фактор, либо пренебрегают ими, что влечет за собой возможные ошибки управления, приводящие к отклонениям от нормального режима с последующим возникновением аварийной ситуации.

**ЦЕЛЮЮ СТАТЬИ** является разработка информационно-измерительной подсистемы как составной части компьютеризированной системы управления спуском судна на воду.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Информационно-измерительная система (ИИС) – это совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств получения информации, ее преобразования, обработки с целью предоставления потребителю (в том числе ввода в систему управления) в требуемом виде либо для автоматического осуществления логических функций измерения, контроля, диагностики, идентификации.

Для формирования структуры ИИС факторы, оказывающие различное возмущающее воздействие на работу слипа, целесообразно разделить на четыре группы по функциональному признаку, как показано на рис. 1.

Перед началом процедуры спуска судна на воду требуется собрать предварительную информацию об объекте и внешних условиях.

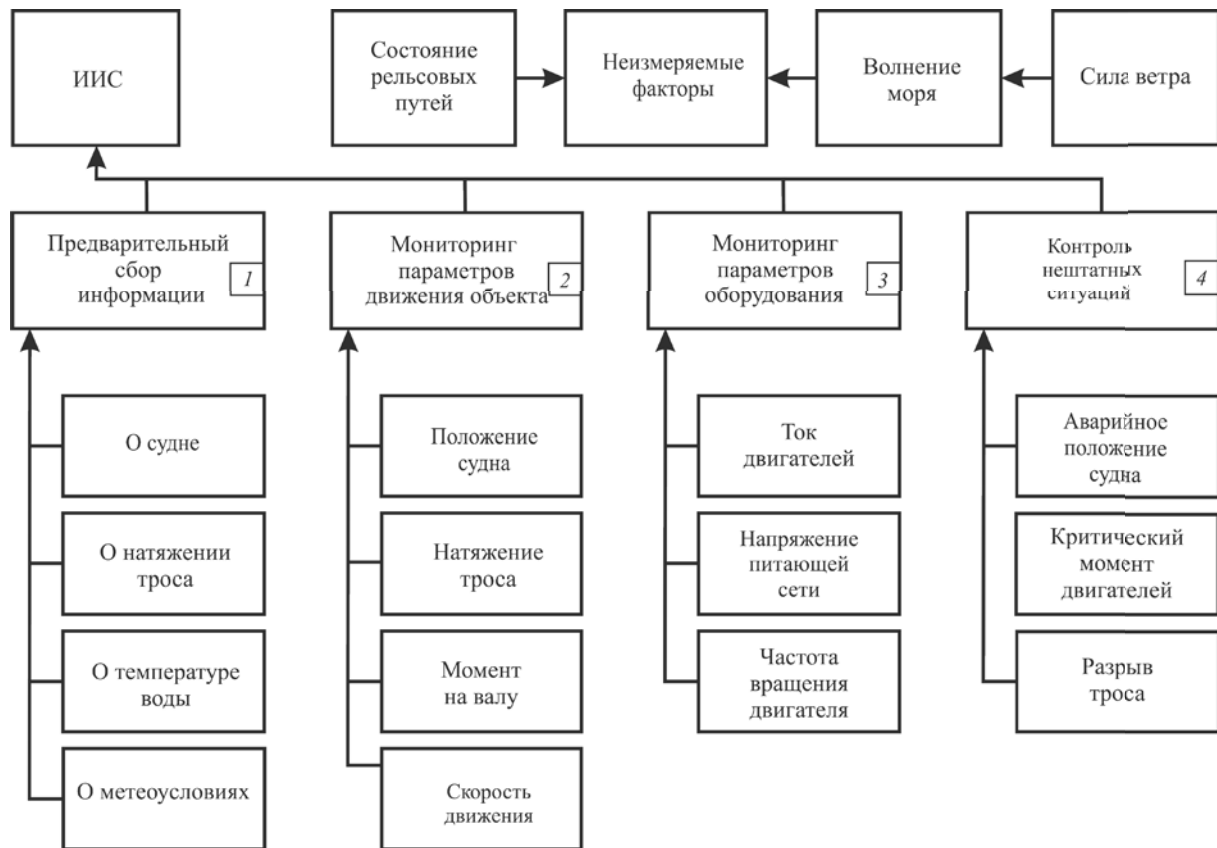


Рис. 1. Анализ факторов, влияющих на работу слипа

В систему управления должна вводиться информация о типе судна, его массогабаритных характеристиках и распределении весовых нагрузок. Также необходимо проверять положение тележек.

В процессе движения спусковых тележек необходимо контролировать спуск судна для обеспечения равномерного перемещения тележек, которое должно достигаться путем согласованного управления.

Одним из очевидных решений проблемы обеспечения согласованного движения спусковых тележек служит обеспечение контроля над положением кормы и носа судна (рис. 2). Действительно, большинство проблем, возникающих при спуске судна на воду по рельсовым путям слипа оказывают непосредственное влияние на положение судна, рассогласование движения тележек (их положение не в «ровный ряд») ведет к изменению положения корпуса судна, его перекосу и смещению.

В условиях работы слипа наиболее приемлемым по техническим характеристикам является использование средств оптической локации [4], так как требуется измерение на открытом воздухе в диапазоне  $(1...100)\pm 0,01$  мм. Для учета формулы судна (см. рис. 2,б) представляется удобным изме-

рять расстояние до корпуса с помощью лазерных дальнометров [2].

Другим способом измерения положения судна является применение инклинометров – датчиков, которые способны измерять угол наклона объекта сразу в нескольких осях координат (рис. 3), т. е. они могут фиксировать угловые движения судна относительно вертикальной оси  $y$  (рыскание), угол отклонения корпуса судна от горизонтального положения по оси  $x$  (дифферент), а также поворот судна вокруг его продольной оси  $z$  (крен). Альтернативным методом измерения рассогласования между тележками является контроль их скорости и положения. Измерения можно проводить различными методами, например отсчитывать зубцы на шестерне редуктора двигателя и следить за тем, чтобы их количество (угол поворота шестерни) было одинаковым для всех спусковых тележек, или установить в редуктор датчик угла поворота – абсолютный энкодер [3].

Однако такой метод не учитывает растяжение тросов, которое может быть неодинаковым у каждой пары лебедка–тележка из-за разного срока службы тросов, их состояния и переменной нагрузки во время работы слипа.

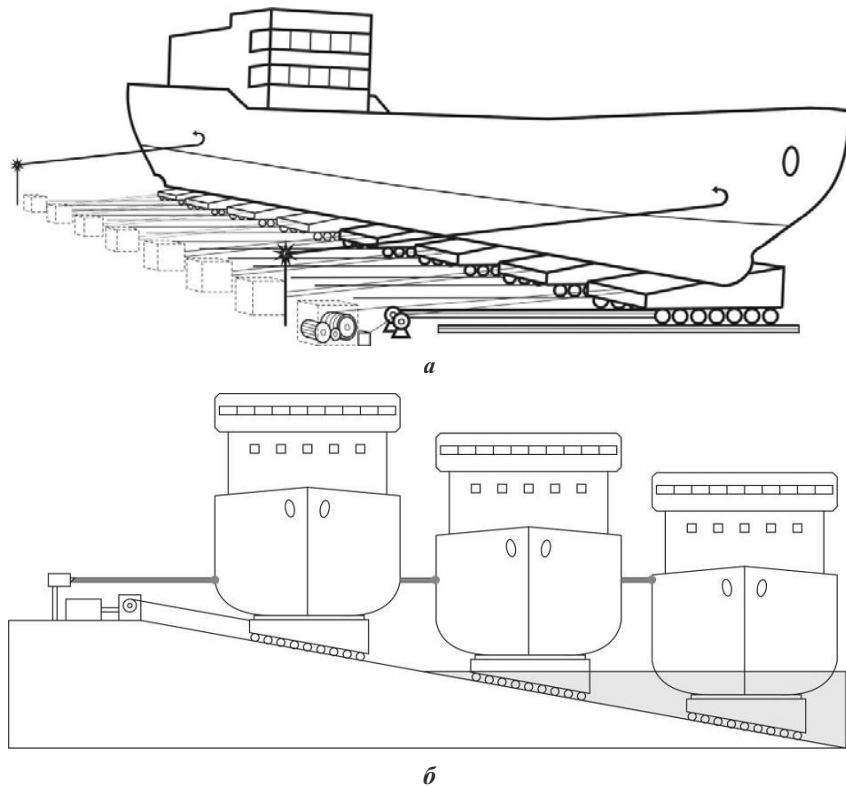


Рис. 2. Контроль перемещения судна с помощью дальномера: *a* – общий вид; *б* – вид сбоку

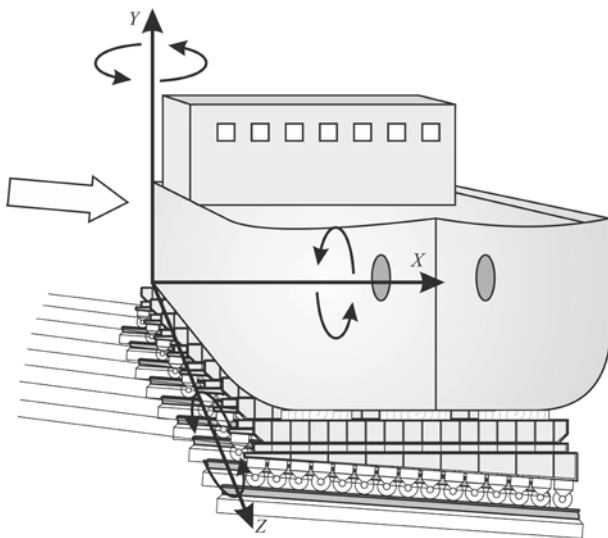


Рис. 3. Перекос судна на слипе при спуске

Еще одним способом измерения положения судна, а заодно и скорости тележек, является использование специальных тросовытяжных датчиков длины линейного перемещения на базе инкрементальных или абсолютных энкодеров. Трос таких датчиков всегда поддерживается в натянутом состоянии с помощью механизма равномерного натяжения; его удлинение в процессе работы достаточно мало (линейность измерений составляет  $\pm 0,02\%$ ). Каждый энкодер соединяется с отдельной тележкой, измеряя ее перемещение. Схема работы спусковой тележки слипа с применением энкодера приведена на рис. 4.

Натяжение троса каждой тележки напрямую связано с оказываемой на нее нагрузкой со стороны судна. На натяжении сказываются также все измеряемые и неизмеряемые факторы и возмущения.

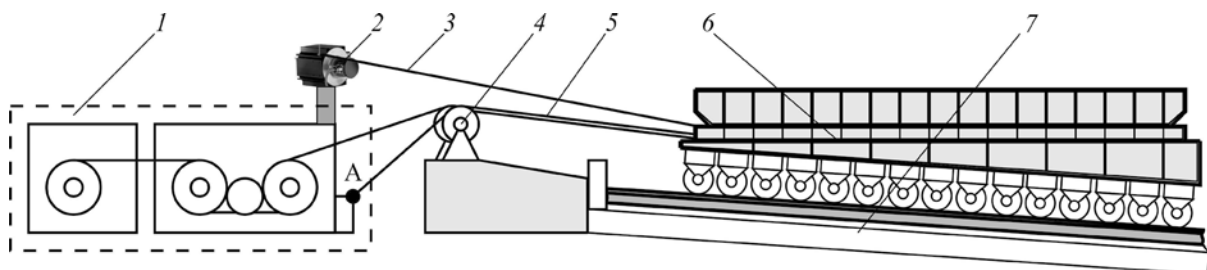


Рис. 4. Схема работы спусковой тележки с измерителем перемещения на основе энкодера: 1 – блок электропривода; 2 – энкодер; 3 – измерительный трос энкодера; 4 – подвижные блоки; 5 – тросы лебедки; 6 – спусковая тележка; 7 – рельсовые пути слипа; А – место расположения датчика натяжения троса

Математически натяжение троса можно выразить следующим образом [6]:

$$T = \frac{((m_t + m_c)g - F_A) \cdot (\sin(\alpha) - \mu \cdot \cos(\alpha)) - F_c(\mu \cdot \sin(\alpha) + \cos(\alpha))}{\mu \cdot \sin(\varphi - \alpha) - \cos(\varphi - \alpha)}, \quad (1)$$

где  $m_t$  – масса троса;  $m_c$  – масса тележки;  $\alpha$  – угол наклона слипа;  $T$  – сила натяжения троса;  $\varphi$  – угол наклона троса;  $F_T$  – сила трения;  $F_c$  – сила сопротивления воды;  $F_A$  – сила Архимеда;  $\mu$  – коэффициент трения качения между колесами тележки и рельсами.

На практике измерить натяжение троса можно с помощью тензометрических датчиков [4], закрепленных с неподвижного конца талевой системы в точке А (см. рис. 4). Создание системы управления с обратной связью по моменту выгодно тем, что позволяет вырабатывать управляющее воздействие, основываясь непосредственно на изменении нагрузки электродвигателя. Этот метод может предоставить практически всю необходимую информации о состоянии системы, однако он сложен в реализации. Статический момент на валу двигателя можно выразить через силу натяжения троса  $T$  и радиус вала  $r$

$$M = T \cdot r$$

Для измерения крутящих моментов чаще всего используют методы, основанные на преобразовании крутящего момента в деформацию (механические напряжения) упругого элемента, выполненного в виде сплошного или плоскотелого вала (торсиона), спиральных пружин, подвесов или растяжек. Деформация (механическое напряжение) упругого элемента преобразуется в электрический сигнал с помощью тензорезистивных, индуктивных, магнитоупругих и других преобразователей [4]. Одним из важных параметров, свидетельствующих об аварийном режиме работы и о несогласованной работе электроприводов слипа, является увеличение тока в цепях двигателей и превышение им допустимых пределов. В существующих системах ток контролируется визуально по показаниям амперметров, установленных на подстанции, которая питает слип. Однако оперативно изменить управляющее воздействие, исходя лишь из визуального контроля амперметров, нельзя. Возможна лишь аварийная остановка спуска и активация тормозов.

Целесообразно включить в состав информационно-измерительной подсистемы бесконтактные индуктивные датчики тока и отслеживать его для каждого отдельного электродвигателя. Контроль тока даст возможность своевременно устранять перегрузки, которые отрицательно сказываются на сроке службы двигателя [1].

Наряду с параметрами, которые могут быть зарегистрированы с помощью измерительных устройств, на эффективность работы слипа влияют неизмеряемые непосредственно факторы – изменение коэффициента трения между колесами судовозной тележки и путями при переходе из надводной части слипа в подводную; волнение моря; сила ветра (вследствие явления парусности); качество рельсовых путей. Анализ факторов, проведенный с помощью моделирования движения тележки слипа в различных условиях, показал, что на систему «тележка – рельсы» существенно влияет коэффициент трения (1). Из-за коррозии в агрессивной среде (соленой воде) коэффициент трения изменяется в пределах 0,001...0,05, что в конечном счете оказывает влияние на натяжения троса и нагрузку на электродвигатель. Увеличение коэффициента трения до максимума при спуске судна, согласно результату математического моделирования, уменьшает силу натяжения троса на 40 % (рис. 5).

Для определения воздействия погодных факторов информационно-измерительная подсистема должна включать в свой состав метеостанцию. Информация, собранная с помощью ИИС, должна обладать полнотой, достаточной для синтеза в КСУ оптимального управляющего воздействия на электроприводы в условиях неопределенности неизмеряемых факторов при движении в двух средах. Таким образом, информационно-измерительная подсистема (ИИП) включает в себя  $N$  групп измерительных блоков, где  $N$  – количество судовозных тележек (рис. 6). Каждый блок включает в себя измерители расстояния до судна, расположенные на носу и корме; датчики для измерения

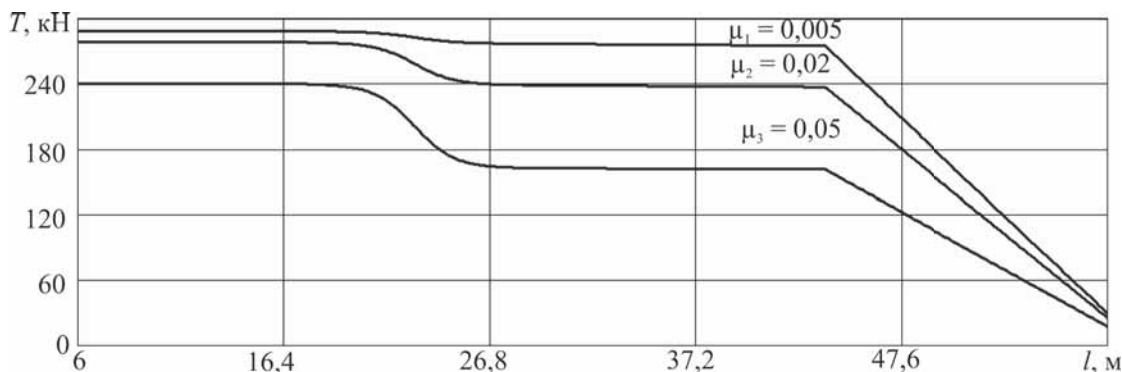
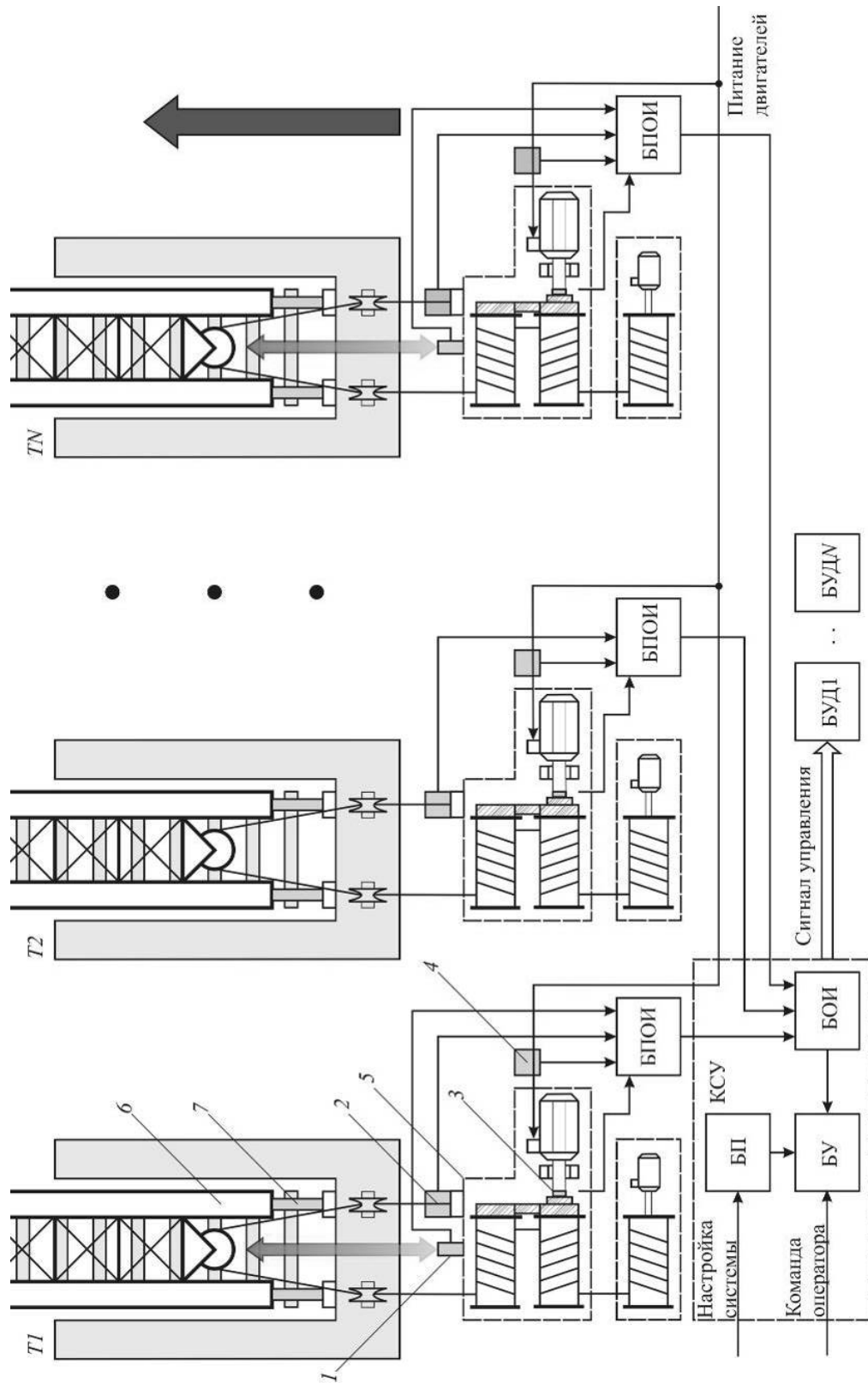


Рис. 5. Изменение силы натяжения троса в зависимости от коэффициента трения в системе «тележка – рельсы»



**Рис. 6.** Структурная схема информационно-измерительной подсистемы: 1 – измерители расстояния до судна; 2 – датчики для измерения силы натяжения троса; 3 – измерители момента на валу; 4 – датчики для измерения силы тока; 5 – электроприводы; 6 – судовозные тележки; 7 – рельсовые пути

силы натяжения троса; измерители момента на валу; датчики для измерения силы тока; блоки предварительной обработки информации (БПОИ).

На схеме показаны также электроприводы судовых тележек, рельсовые пути, компьютеризированная система управления (КСУ), в состав которой входят блок обработки информации (БОИ), блок прогнозирования (БП), блок управления (БУ) и блоки управления двигателями (БУД). Использование нескольких каналов измерения и получение информации от нескольких независимых источников повышает уровень надежности работы всей системы. Перед началом работы слипа данные о судне, установленном на тележки слипа, заносятся оператором в блок прогнозирования, информационно-измерительная подсистема опрашивает датчики расстояния до судна и датчики натяжения троса, чтобы определить правильное положение судна перед началом операции. Тележки при этом неподвижны, тормоза электродвигателей включены. В процессе работы система проводит циклический опрос датчиков. Частота опроса должна зависеть от заданной скорости спуска/подъема судна.

Полученная от датчиков информация собирается блоками предварительной обработки и затем передается в блок обработки информации КСУ. На основе принятой информации и данных из блока прогнозирования БУ вырабатывает сигнал управления, направленный к блокам управления электродвигателями. Каждый БУД обслуживает отдельный электропривод системы. По сути, компьютеризированная система управления с помощью ИИП осуществляет

контроль соответствия между текущим состоянием объекта и установленными в БУ и БП настройками нормальной работы слипа в текущих условиях на основе прогнозирующей модели объекта (слипа). После обработки полученной информации системой управления формируется управляющее воздействие, корректирующее состояние объекта в соответствии с эталоном.

## ВЫВОДЫ

1. Для эффективного управления системой спуска судна на воду разрабатываемая измерительная подсистема должна удовлетворять ряд требований: должен обеспечиваться предварительный сбор информации о судне, его положении на спусковых тележках, а также о метеоусловиях на период работы слипа, кроме того, подсистема должна вести мониторинг спуска с контролем положения судна, натяжения троса момента на валу и скорости движения.

2. Необходимы отслеживание параметров оборудования и контроль аварийных ситуаций. Информационно-измерительная подсистема должна реализовываться на базе новейших средств получения, обработки и передачи информации, что является неотъемлемым условием для интеграции с компьютеризированной системой управления спуском/подъемом судна. Применение современных датчиков позволяет охватить все этапы и режимы работы слипа.

3. Для эффективного управления работой слипа необходимо использование прогнозирующей модели и адаптивных методов управления, что позволит учитывать и неизмеряемые факторы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Андреев, А. М.** Моделирование системы управления слипом судостроительного завода [Текст] / А. М. Андреев, Д. В. Кабаков // Вестник АГТУ. – 2007. – № 2(37). – С. 141–143.
- [2] **Лысенко, О. Н.** Компания SICK: датчики расстояния серий DT60, DL60 и DS60 [Текст] / О. Н. Лысенко // Компоненты и технологии. – 2006. – № 7. – С. 36–39.
- [3] **Лысенко, О. Н.** Решения SICK-Stegmann для сервоприводов [Текст] / О. Н. Лысенко // Электронные компоненты. Электропривод. – 2007. – № 11. – С. 1–5.
- [4] Метрологія та вимірювальна техніка [Текст] : підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук, В. М. Ванько, Т. Г. Бойко. – Л. : Бескид Біт, 2003. – 544 с.
- [5] **Омельчук, А. А.** Проблемы узгодженого управління складною електромеханічною системою [Текст] / А. А. Омельчук, Ю. О. Лебеденко, Г. В. Рудакова // Наукові праці НУХТ. – 2013. – № 49. – С. 19–23.
- [6] **Омельчук, А. А.** Моделирование движения спусковых тележек слипа [Текст] / А. А. Омельчук, Ю. А. Лебеденко, А. В. Рудакова // Вестник Херсонского нац. техн. ун-та. – 2013. – № 2(47). – С. 265–270.

© А. А. Омельчук, Г. В. Рудакова

Надійшла до редколегії 31.05.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК

д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов