

УДК 519-7

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНОЙ ОБРАТНОЙ МОДЕЛИ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА

**А. К. Клименко**

Бердянський державний педагогічний університет  
ул. Розы Люксембург, 18, г. Бердянск, 71112, Украина. E-mail: aklym@ukr.net

Рассматривается задача управления движением верхнего конца трубопровода, закрепленного на корпусе добычного судна, в обеспечении заданного движения нижнего конца относительно дна океана. Предлагается решение задачи с использованием обратной модели трубопровода. Описывается структурная схема системы автоматического управления, инвариантной по входному сигналу.

**Ключевые слова:** добычное судно, трубопровод, обратная модель.

## ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДИСКРЕТНОЇ ЗВОРОТНЬОЇ МОДЕЛІ В ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПІДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДУ

**О. К. Клименко**

Бердянський державний педагогічний університет  
вул. Розы Люксембург, 18, м. Бердянськ, 71112, Україна. E-mail: aklym@ukr.net

Розглядається задача керування рухом верхнього кінця трубопроводу, закріпленого на корпусі добувного судна, у забезпеченні заданого руху нижнього кінця стосовно дна океану. Пропонується рішення завдання з використанням оберненої моделі трубопроводу. Описується структурна схема системи автоматичного керування, інваріантної відносно вхідного сигналу.

**Ключові слова:** добувне судно, трубопровід, обернена модель.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** В настоящее время в мире актуальной становится проблема добычи твердых полезных ископаемых со дна мирового океана. Работы в этой области были начаты в последние годы существования Советского Союза, однако были свернуты в связи с распадом государства. Но в будущем эти работы, несомненно, продолжатся.

В состав комплекса добычи твердых полезных ископаемых со дна океана входят добычное судно и трубопровод от дна океана до добычного судна. Упрощенная схема добычного комплекса изображена на рис. 1. Символами на схеме обозначены: ДС – добычное судно, Тр – трубопровод, БН – бункер-накопитель. На бункер-накопитель поступают материалы со средств сбора полезных ископаемых. Важной задачей в обеспечении работы комплекса является такое управление движением верхнего конца трубопровода, при котором нижний конец его движется по задаваемым координатам океанского дна с привязкой их к оси времени. Решение задачи усложняется тем, что эта задача является обратной, а объект управления обладает очень большой инерционностью. В данной работе рассматривается вариант решения задачи с использованием для этой цели дискретной обратной модели (ОМ) управляемого объекта.

Целью настоящего исследования является разработка структурной схемы системы автоматического управления движением верхнего конца трубопровода по задаваемым координатам траектории нижнего конца.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Сведения о добычном комплексе как объекте управления приведены, например, в работе [1]. Глубина океана, с которой возможна добыча твердых полезных ископаемых, составляет 6 км. Трубопровод представляет собой многосекционную колонну труб малого диаметра. В [1] показано, что математиче-

ское описание трубопровода как динамического объекта, после значительных упрощений, может быть сведено к передаточной функции (ПФ) вида:

$$W_T(s) = \frac{e^{-st_0}}{(T_T + 1)}, \quad (1)$$

где  $T_T$  – постоянная времени трубопровода;  $t_0$  – чистое волновое запаздывание.

В качестве математического описания трубопровода может выступать и его переходная характеристика (кривая переходного процесса):

$$h_T(t) = (1 - e^{-T_T/t_0}) \delta_1(t - t_0), \quad (2)$$

где  $t$  – время;  $\delta_1(t - t_0)$  – единичная ступенчатая функция с запаздыванием на время  $t_0$ .

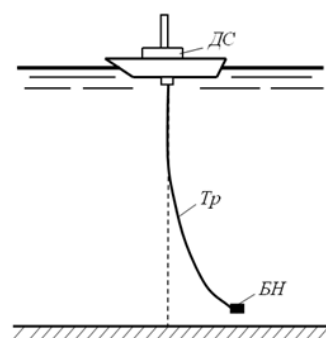


Рисунок 1 – Упрощенная схема добычного комплекса

При движении добычного комплекса, а также при наличии подводных течений нижний конец трубопровода может отставать от вертикальной оси на сотни метров. В то же время технология сбора полезных ископаемых требует перемещения нижнего конца по заданной траектории с точностью в несколько метров. Возникает необходимость высокоточного управления движением нижнего конца. Испо-

льзование для этой цели локальных систем у бункера-накопителя имеется, но пределы корректировки траектории при этом ограничены.

Возникает потребность создания автоматической системы управления движением верхнего конца трубопровода, инвариантной относительно задаваемых координат движения нижнего конца.

На рис. 2 изображена классическая структурная схема следящей системы, инвариантной относительно входного воздействия. Условием абсолютной инвариантности является осуществление корректирующего звена, передаточная функция которого  $W_k(s)$  равна обратной модели (ОМ)  $W_2(s)$ :

$$W_k(s) = 1 / W_2(s). \quad (3)$$

Идеальная ОМ по выражению (3) для реального динамического объекта физически неосуществима. Использование дискретной компьютерной техники сделало возможным создание приближенной ОМ, приближающейся по своим качествам к идеальной. Первое из таких решений было признано изобретением [2]. Теоретическое обоснование его приведено в работе [3]. Использование этого технического решения представляет интерес в задаче создания инвариантной системы управления движением верхнего конца трубопровода. В качестве динамического объекта ОМ выступает трубопровод.

Дискретная ОМ [2, 3] является замкнутой импульсной системой, конструктивными параметрами которой выступают параметры трубопровода, дискретность времени  $T$  и конструктивный временной сдвиг в сторону опережения  $\tau$ . Трубопровод в дискретном времени описывается импульсной переходной функцией (ИПФ), которая является реакцией на входное воздействие в виде кратковременного импульса единичной площади. Числовой массив ИПФ может быть получен из кривой (2) переходного процесса трубопровода  $h(t)$  и имеет вид:

$$k(n + \tau) = h(t)|_{t=(n+\tau)T} - h(t)|_{t=(n-1+\tau)T}, \quad (4)$$

$$n \in [0, N_1],$$

где  $n$  – дискретное время;  $T$  – дискретность (шаг квантования) времени;  $N_1$  – время затухания переходного процесса;  $\tau$  – конструктивный временной сдвиг в сторону опережения.

Как показано в [3], ОМ, в которой реализуются соотношения (2) и (4), описывается выражением:

$$c(n) = \left[ x(n) - \sum_{m=1}^{N_1} c(n-m)k(m+\tau) \right] / k(\tau), \quad (5)$$

где  $x(n)$  и  $c(n)$  являются соответственно входным и выходным сигналами ОМ.

Если входящий в зависимость (5) конструктивный временной сдвиг выбран равным единице ( $\tau = 1$ ), то, как показано в [3], ПФ создаваемой ОМ трубопровода может быть представлена в виде:

$$W_{OM}(s) \approx \frac{e^{-T_{OM}s}}{W_T(s)}, \quad (6)$$

где  $T_{OM}$  – временное запаздывание, величина которого не превышает дискретности времени  $T$ .

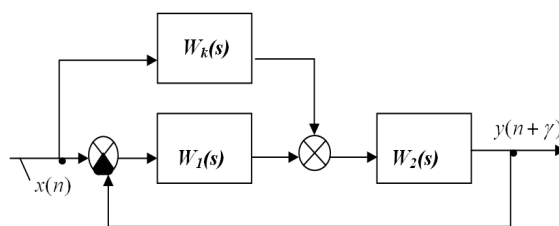


Рисунок 2 – Структурная схема системы, инвариантной относительно входного воздействия

Зависимость (6) является приближенной, потому что временное запаздывание не является чистым.

Система должна быть инвариантной относительно задающего воздействия в соответствии со структурной схемой (рис. 2). Предполагается, что трубопровод описывается ПФ (1), а его переходная характеристика имеет вид (2). В корректирующем контуре системы используется ОМ трубопровода, которая приближенно описывается выражением (6).

Разработанная структурная схема адаптивной системы управления верхним концом трубопровода показана на рис. 3. Символами на схеме обозначены:  $x_z(n)$  и  $x_n(n)$  – соответственно задаваемые и обрабатываемые координаты нижнего конца трубопровода;  $W_{nk}(s)$  – ПФ локальной системы корректировки положения нижнего конца;  $W_T(s)$  – ПФ трубопровода;  $W_{OM}(s)$  – ПФ ОМ трубопровода;  $e^{-T_k s}$  – ПФ вводимого звена чистого запаздывания;  $c(n)$  – выходной сигнал ОМ.

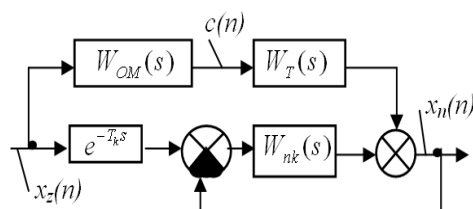


Рисунок 3 – Структурная схема системы управления движением трубопровода

Автоматическая система (рис. 3) разработана на базе классической инвариантной системы (рис. 2), но в последнюю внесены следующие изменения. Во-первых, ПФ звена  $W_2(s)$  не указывается, т.к. она равна единице. Во-вторых, перед входом локальной системы введено звено чистого запаздывания для компенсации реального временного запаздывания в корректирующем контуре.

ПФ автоматической системы со структурной схемой (рис. 3) после преобразования, с учетом соотношения (6), может быть приведена к виду:

$$W(s) \approx e^{-T_{OM}s}.$$

Таким образом, система (рис. 3) не является абсолютно инвариантной и приближенно представляет собой запаздывающее звено. Время запаздывания примерно равно дискретности времени в ОМ трубо-

провода, що пренебрежимо мало в порівнянні з постійною швидкістю самого трубопровода.

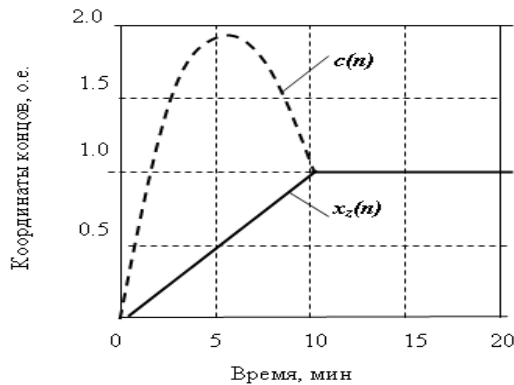


Рисунок 4 – Реакція системи на входне впливання в вигляді скачка швидкості

Для перевірки справедливості изложенных матеріалов було проведено електронне моделювання роботи автоматичної системи (рис. 3). В якості прикладу на рис. 4 показана реакція системи на входне впливання в вигляді скачка швидкості.

Символами на графіку позначені:  $x_z(n)$  – задавані координати нижнього кінця трубопро-

вода;  $c(n)$  – координати верхнього кінця, визначені вихідним сигналом ОМ.

**ВИВОДИ.** Використання ОМ дає можливість створення високоточної системи управління верхнім кінцем трубопровода. Для підвищення показників якості системи можна застосувати покращену ОМ, описану в [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами: учебник. – Л.: Судостроение, 1988. – 272 с.
2. А. с. СССР 1406563, МКИ G 05 B 5/01. Корректирующее устройство / Клименко А.К., Клименко В.Г. (СССР). – № 4041877/24-24; заявл. 25.03.86; опубл. 30.06.88, Бюл. № 24.
3. Клименко А.К. Обратная модель для решения задач управления и контроля качества. Методы менеджмента качества // Надежность и контроль качества. – 1999. – № 8. – С. 32–39.
4. Клименко А.К. Об упрощенном численном конструировании обратной модели динамического объекта // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2007. – № 1. – С. 16–24.

ABOUT THE DISCRETE INVERSE MODEL IN THE PROBLEM OF THE CONTROL OF A MOVEMENT OF AN UNDERWATER PIPELINE

A. Klymenko

Berdiansk State Pedagogical University

ul. Rozy Luxemburg, 18, Berdiansk, 71112, Ukraine. E-mail: aklym@ukr.net

The problem of the control of a movement of the upper end of the pipe, fixed on a mining ship, in the provision of a given movement of the lower end relative to the bottom of the ocean. The solution is proposed with using the inverse model of the pipeline. The block diagram of the automatic control system, that is invariant to the input signal is described.

**Key words:** mining ship, pipeline, inverse model.

REFERENCES

1. Lukomskiy J.A., Chugunov V.S. *Systems of control of marine moving objects*: Textbook. – L.: Sudostroenie, 1988. – 272 p. [in Russian]
2. А. а. 1406563 USSR, MКИ G 05 B 5/01. *Correction unit* / Klymenko A.K., Klymenko V.G. (USSR). – № 4041877/24-24; appl. 25.03.86, publ. 30.06.88, Bull. № 24. [in Russian]
3. Klymenko A.K. Inverse model for solving the problems of management and quality assurance / *Methods of quality management // Reliability and quality control*. – 1999. – № 8. – PP. 32–39. [in Russian]
4. Klymenko A.K. About simplified numerical development of inverse model of dynamic object // *Automatics. Automation. Electrical equipment and systems*. – 2007. – № 1. – PP. 16–24. [in Russian]

Стаття надійшла 13.07.2012.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.