

УДК 681.5

А.В. Бобрышев, студент,

И.В. Гусаков, студент,

Е.В. Жаков, студент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: tk@sevgtu.sebastopol.ua

**ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОВ
ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Предложено алгоритмическое, программное и лингвистическое обеспечение для автоматизации исследований законов управления на технической основе манипуляторов серии DGE-SP фирмы Festo. Описаны особенности разработанного языка программирования SEAL, позволяющие программировать различные законы управления и исполнять их на физических и виртуальных устройствах. Выполнено математическое и натурное моделирование системы терминального управления с синтезированным законом.

В настоящее время при решении задач автоматизации управления технологическими процессами широко используются оборудование и элементная база, разработанные и изготовленные известной европейской фирмой Festo. Продукция этой фирмы отличается высокой надежностью и качеством работы. При этом отдельные функциональные модули ориентированы на выполнение ограниченного числа конкретных технологических операций или процессов, а встраиваемые в них микроконтроллеры обладают ограниченным числом функций, что снижает возможности их широкого применения. Можно указать технологические процессы, где использование аппаратуры Festo ограничено или вовсе не обеспечивает достижение поставленных целей. Например, задача терминального управления – перемещение заготовки при помощи манипулятора из некоторого начального положения в заданное конечное по требуемой траектории и за заданное время не может быть решена. Это связано с тем, что в номенклатуре изделий фирмы Festo отсутствуют контроллеры для промышленных манипуляторов, позволяющие программировать подобные специфические законы управления.

Целью статьи является разработка алгоритмического и программного обеспечения для расширения функциональных возможностей серийного оборудования фирмы Festo и, в частности, линейных манипуляторов серии DGE-SP.

Для проведения исследований необходимо синтезировать закон терминального управления приводом манипулятора. Решение этой задачи выполнено относительно новым методом, предложенным П.Д. Крутько [1] и основанном на использовании концепции обратных задач динамики в сочетании с локальной оптимизацией. Такой подход позволил синтезировать закон управления в виде

$$u = k(\dot{x}^* - \dot{x}),$$
$$\dot{x}^* = \dot{y} + h_1(y - x) + h_0 \int_0^t (y - x) d\tau, \quad (1)$$

где u – выходной сигнал терминального регулятора; k – коэффициент усиления; x и $\dot{x}$ – управляемая координата манипулятора (перемещение) и ее производная; $\dot{x}^*$ – требуемая скорость управляемой координаты, которая обеспечивает ее движение вдоль заданной траектории; y и $\dot{y}$ – требуемая траектория движения и ее производная; h_1 и h_0 – параметры настройки терминального регулятора.

Структура терминального регулятора, соответствующая закону управления (1), изображена на рисунке 1.

В роли объекта управления выступает электропривод линейного манипулятора, математическая модель которого имеет вид

$$\ddot{l} + a_1 \dot{l} = b_0 u, \quad (2)$$

где l – выходная переменная (координата положения каретки); a_1 , b_0 – коэффициенты, отражающие физические параметры системы.

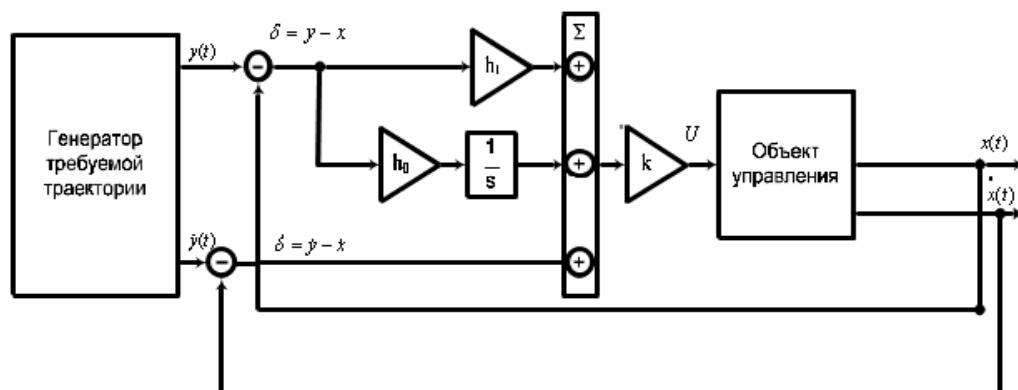


Рисунок 1 – Структурная схема терминального регулятора

В системе Simulink, входящей в пакет математической среды Matlab, была разработана модель, предназначенная для моделирования работы системы управления однозвенным манипулятором с терминальным законом и с учетом заданных граничных состояний. Моделирование процесса терминального управления происходит согласно схеме подачи сигналов, изображенной на рисунке 2.

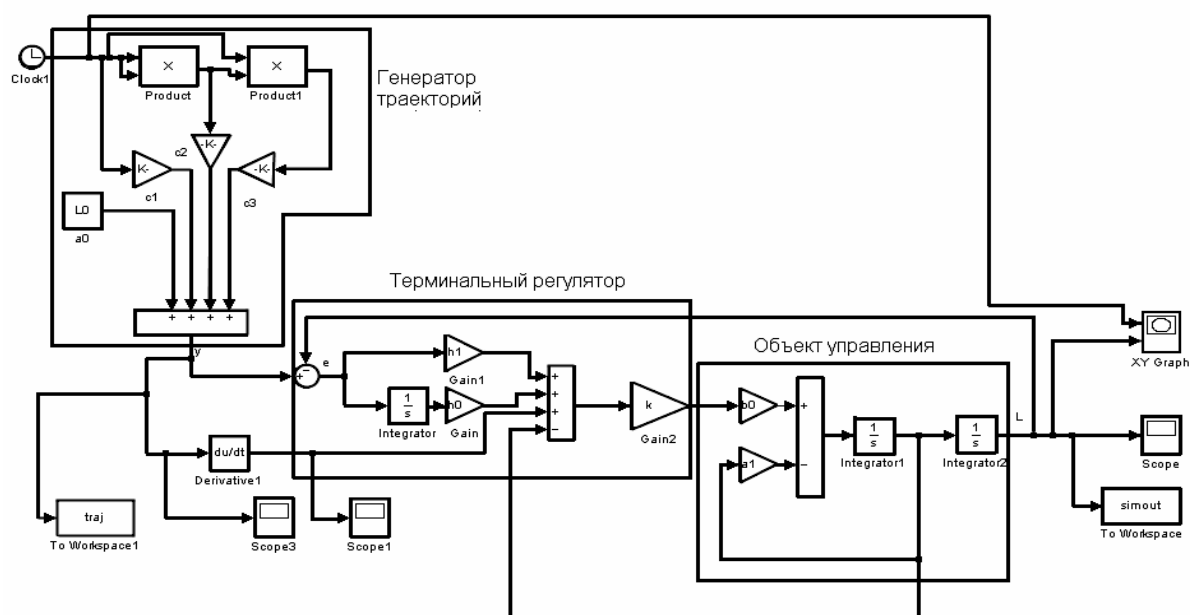


Рисунок 2 – Структурная схема моделирования системы терминального управления

Схема моделирования разделена на 3 функциональных блока:

- блок формирования траектории, по которой будет двигаться каретка манипулятора;
- блок формирования управляющего воздействия (терминальный регулятор);
- объект управления, модель которого представлена в виде (2). Входом является управляющее воздействие, а выходом – координата положения каретки.

В схему моделирования введены элементы, осуществляющие визуализацию происходящих процессов и экспорт временных рядов, получаемых в результате моделирования в рабочую область Matlab.

На рисунке 3 изображены попарно графики требуемой траектории, формируемой в генераторе траекторий и фактической траектории движения объекта управления (каретки манипулятора), а также требуемые их производные, найденные в результате моделирования.

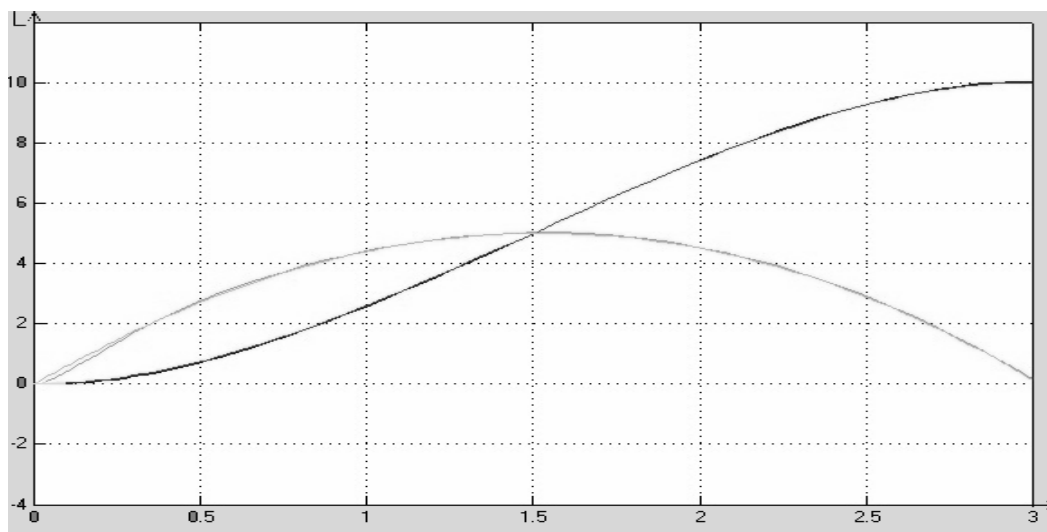


Рисунок 3 – Результати моделювання системи термінального управління

В качестве аппаратной платформы для исследования терминального закона управления выбран однозвенный манипулятор DGE–18–SP, управляемый контроллером SEC–AC–305. Базовое программное обеспечение, которое поставляется вместе с контроллером, предназначено для выполнения технологических операций, связанных с простым позиционированием. При этом функции контроллера не представляют возможности прямого управления исполнительным двигателем.

Экспериментально-исследовательская часть работы состояла в проведении серии экспериментов с целью анализа передаваемых контроллером данных по шине связи с персональным компьютером. Был определен набор (подмножество) команд, обеспечивающий перевод контроллера в специальный технологический режим, осуществлена передача от персонального компьютера «сырых» данных, непосредственно влияющих на управление током в обмотке электродвигателя, а также получены данные от датчика угла поворота, входящего в состав привода манипулятора. Таким путём была решена задача построения информационного канала связи персонального компьютера с исполнительным электродвигателем и датчиком обратной связи. В специальном технологическом режиме штатный контроллер SEC–AC–305 оказывается «прозрачным» для исследователя, который теперь имеет возможность программировать при помощи подключённого к контроллеру персонального компьютера различные законы управления исполнительным двигателем, включая и закон терминального управления.

Для автоматизации программирования исследуемых законов управления разработан язык программирования SEAL (Scientific Effort Automation Language – язык автоматизации научных исследований), который позволяет программировать различные законы управления и исполнять их на физических или виртуальных объектах. В качестве базовой комплектации к нему разработан набор библиотек, предоставляющих набор пользовательских функций для решения математических задач, взаимодействия с операционной системой, связи с объектом по различным шинам. Одна из библиотек содержит набор функций для работы с промышленным контроллером SEC–AC–305 и позволяет работать с однозвенным манипулятором фирмы Festo. Язык SEAL и его интерпретатор обладают свойством расширяемости и являются лингвистическим обеспечением проекта.

На базе разработанных библиотек построено приложение «Виртуальная лаборатория», позволяющее изучать закон терминального управления с использованием оборудования Festo. Это программное обеспечение дает возможность программировать движение манипулятора с применением терминального закона и без него, выводить в удобном для пользователя представлении обратную связь по координате и скорости, а также вручную (при помощи отдельных команд) управлять движением (позиционированием) каретки с захватом. С помощью разработанного программного обеспечения можно выполнять исследования по экспериментальному определению переходных характеристик однозвенного манипулятора. На рисунке 4 изображены результаты одного из экспериментов.

В состав лабораторно-исследовательского стенда входят следующие компоненты: персональный компьютер (Note-Book), устройство позиционирования реечного типа с винтовым приводом, электрический серводвигатель с редуктором, промышленный контроллер SEC–AC–305, устройство сопряжения. На рисунке 5 изображен общий вид лабораторного комплекса.

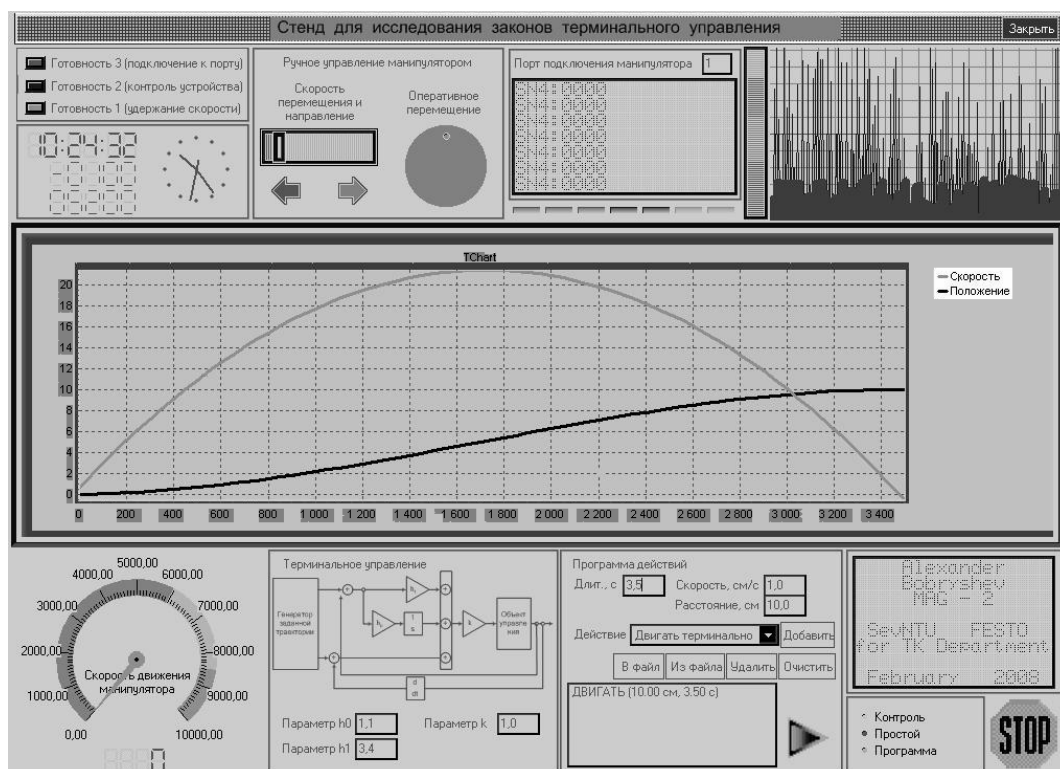


Рисунок 4 – Результаты эксперимента, представленные в разработанном программном обеспечении

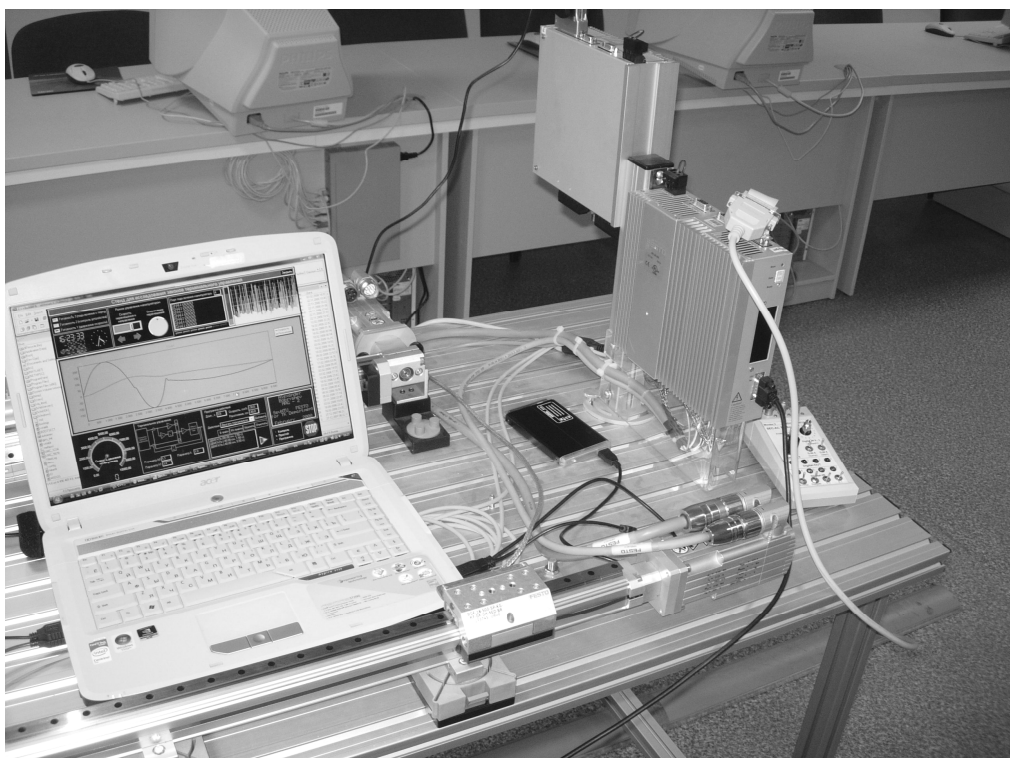


Рисунок 5 – Общий вид лабораторного комплекса, предназначенного для исследований терминального закона управления

Методическая часть работы представлена в виде указаний для выполнения лабораторной работы «Исследование однозвенного манипулятора с терминальным законом управления» по дисциплине «Цифровые системы управления».

Разработанный лабораторно-исследовательский комплекс планируется интегрировать в международную программу дистанционного обучения СИНЕРГИЯ, участником которой является Севастопольский национальный технический университет.

В заключение следует отметить, что для достижения поставленных в работе целей было написано более 20 тысяч строк исходного кода на языке C++, более тысячи на языке SEAL, разработано 4 полнофункциональных приложения для операционной системы Windows, 9 динамических библиотек, разработаны методические указания для выполнения лабораторной работы. Результаты выполненных исследований и разработок удостоены диплома 3-й степени на Всеукраинской выставке студенческих работ, а также внедрены для использования в Институте современных технологий и инноваций Festo.

Разработанные средства представляют практический интерес, как в области автоматизации технологических процессов, так и в области автоматизации научных исследований.

Дальнейшие исследования будут связаны с интеграцией языка SEAL в пакет MATLAB, что позволит автоматизировать процессы моделирования, а также с проведением экспериментов и комплексных испытаний в реальном времени промышленного оборудования, предназначенного для управления технологическими процессами и различными объектами. Планируется разработка комплекса программно-аппаратных средств и соответствующего методического обеспечения, позволяющих осуществлять дистанционное обучение через глобальную сеть Интернет.

Библиографический список

1. Крутько П.Д. Алгоритмы терминального управления линейными динамическими системами / П.Д. Крутько // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. — 1998. — № 6. — С. 33–45.

Поступила в редакцию 9.12.2008 г.