

УДК 621.375.132

В. М. Зуев, О. А. Бутов, С. Б. Иванова, А. А. Никитина, С. И. Уланов
Государственное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк
83048, г. Донецк, ул. Артема, 118-б, *butoff06@mail.ru, zvm05@mail.ru, ulanov56@yandex.ru*

СПОСОБ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ

В. М. Зуєв, О. А. Бутов, С. Б. Іванова, А. А. Нікітіна, С. І. Уланов
Державна установа «Інститут проблем штучного інтелекту», м. Донецьк
83048, м. Донецьк, вул. Артема, 118-б, *butoff06@mail.ru, zvm05@mail.ru, ulanov56@yandex.ru*

СПОСІБ НАВЧАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ УПРАВЛІННЯ РОБОТОМ

V. M. Zuev, O. A. Butov, S. B. Ivanova, A. A. Nikitina, S. I. Ulanov
Public institution «Institute of Problems of Artificial intelligence», Donetsk
83048, Donetsk, Artema str., 118-b, *butoff06@mail.ru, zvm05@mail.ru, ulanov56@yandex.ru*

METHOD FOR LEARNING NEURAL NETWORK FOR ROBOT CONTROL

Предложенный способ позволяет сократить трудоемкость обучения нейронной сети при разработке системы управления роботом, в которую встраиваются элементы искусственного интеллекта. Использование в качестве основы для обучения модели механизма в MATLAB с периодическим контролем поведения на реальном механизме позволяет ускорить процесс разработки системы интеллектуального управления. Несмотря на то, что контроль на реальном механизме проводится не часто, это не сказывается на качестве разработки и уменьшает материальные затраты.

Ключевые слова: управление, робот, нейронная сеть, обучение.

The proposed method makes it possible to reduce the labor intensity of training a neural network when developing a robot control system into which elements of artificial intelligence are embedded. Using a model of a mechanism in MATLAB as a basis for training with periodic control of behavior on a real mechanism allows you to speed up the process of developing an intelligent control system. Despite the fact that control on a real mechanism is not often carried out, this does not affect the quality of development and reduces material costs.

Key words control, robot, neural network, training.

Запропонований спосіб дозволяє скоротити трудомісткість навчання нейронної мережі при розробці системи управління роботом, в яку вбудовуються елементи штучного інтелекту. Використання в якості основи для навчання моделі механізму в MATLAB з періодичним контролем поведінки на реальному механізмі дозволяє прискорити процес розробки системи інтелектуального управління. Незважаючи на те, що контроль на реальному механізмі проводиться не часто, це не позначається на якості розробки та зменшує матеріальні витрати.

Ключові слова: управління, робот, нейронна мережа, навчання.

При разработке системы управления роботом, в которую встраиваются элементы искусственного интеллекта, часто используют нейронные сети в качестве основного элемента управления. При этом стадия обучения нейронной сети наиболее трудоемка. Кроме того, процесс обучения нейронной сети на реальном механизме может быть экономически затратным и не безопасным для персонала [1], [2].

В данной работе предлагается способ обучения нейронной сети управления роботом, который состоит из нескольких стадий: а) получение обучающего набора данных не из реального механизма, а из его достаточно детальной модели; б) синтез и обучение нейронной сети, встраивание ее в микропроцессорную систему управления; в) запуск управления роботом в таких тестовых режимах, в которых достаточно просто определить фактические параметры механизмов. На основе этих экспериментально полученных параметров механизма корректируем параметры модели и повторяем стадии а), б), в) до тех пор, пока не будет получено удовлетворительное поведение робота.

В нашем случае мы создавали модель в пакете SimMechanic от Simulink, который входит в пакет MATLAB [3]. Для отладки работы механизма проведен анализ движения подъема-опускания для дальнейшей возможности корректировки и усовершенствования классического решения в построении аналогичных разработок без упрощения конструкции.

Некоторые параметры модели априори трудно определяемы, отсутствуют в справочниках и т.п. Их лучше определить из опыта. Этот опыт нужно поставить так, чтобы неизвестные параметры модели были легко вычислимы из динамики движения механизма. Например, в нашем случае, механизм вручную устанавливался в положение неустойчивого равновесия, и затем снимались динамические характеристики его свободного падения под влиянием только силы тяжести. По этим характеристикам далее можно определить коэффициенты трения сочленений. Следующим шагом было определение параметров механизмов приводов, в том числе динамических параметров электродвигателей. Для этого снимались динамические характеристики подъема механизма.

После того как мы откорректировали параметры модели так, что модель достаточно адекватно описывает динамику робота, приступаем к созданию массива обучающих данных для нейронной сети управления. Для этого изменяем параметры модели так, как бы они могли бы меняться под дестабилизирующими факторами. При этом вручную или каким-то иным способом воздействуя на органы управления моделью робота, добиваемся выполнения им целевой задачи. Степень отклонения от целевой функции и параметры модели образуют обучающий пример.

Используя SimMechanic от пакета Simulink, образуем набор данных, на котором обучается нейронная сеть. Весовые коэффициенты обученной нейронной сети будут составлять основу системы управления роботом, в которую встраиваются элементы искусственного интеллекта.

Ниже использование этого способа демонстрируется на примере разработки конкретной системы управления роботом, которая предназначена для управления механизмом, модель SimMechanic которого представлена на рис. 1.

Данный анализ представляет собой алгоритм построения графиков движения, моделей для определения оптимальных параметров для каждого типа электродвигателя в зависимости от массы и полезного сопротивления механизма.

Исходными данными для анализа движения механизма, созданными в MATLAB, служат: структурная схема механизма, программа построения графиков движения, анимационная модель. Определение полезного сопротивления механизма установки (уделяется внимание параметру «трение») осуществляется в программе. Данная программа решает вопросы моделирования элементов автоматизированного электропривода постоянного и переменного тока.

Ниже представлена структурная схема механизма установки рис. 1, а на рис. 2, рис. 3 – его подсистемы.

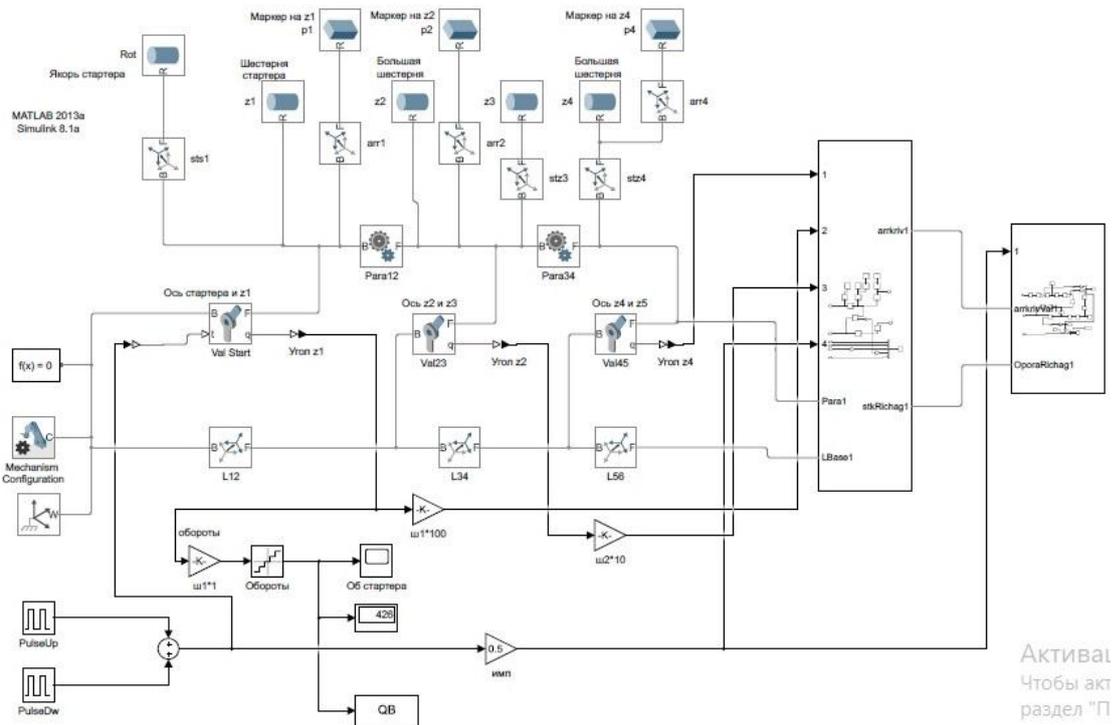


Рисунок 1 – Модель механизма в SimMechanics

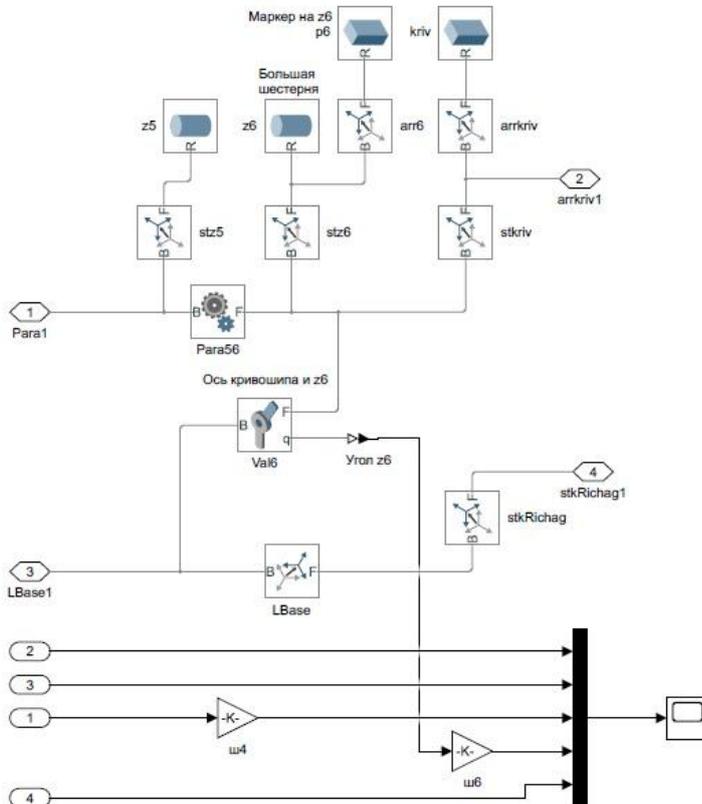


Рисунок 2 – Модель подсистемы механизма в SimMechanics

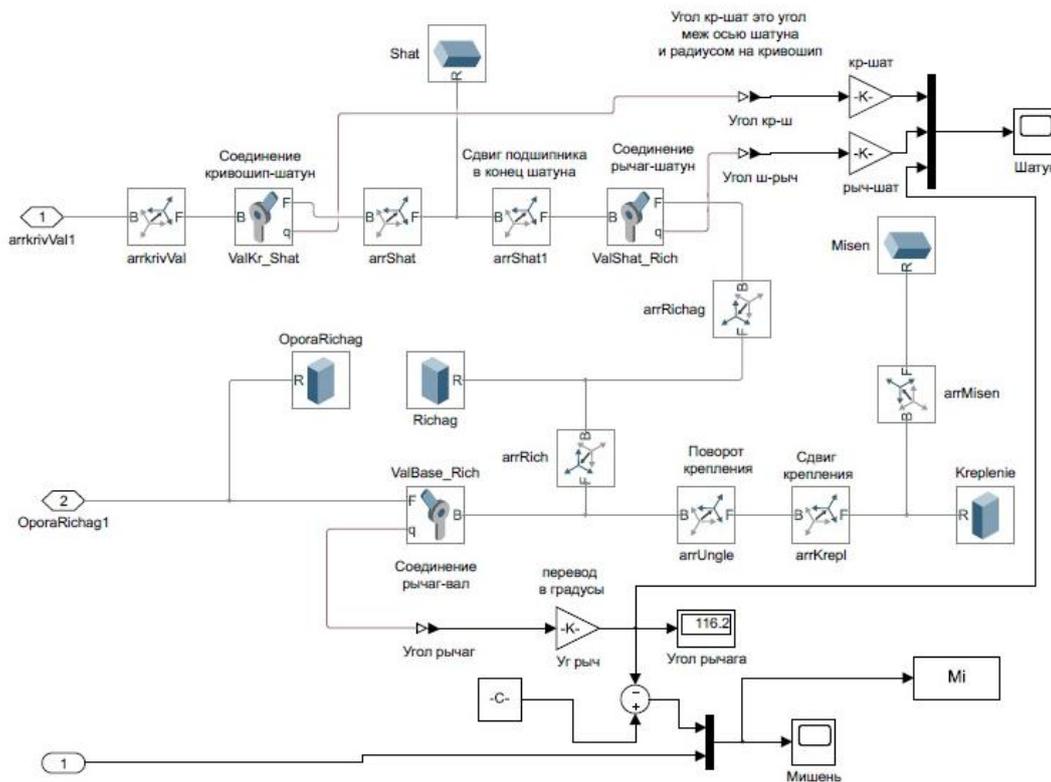


Рисунок 3 – Модель подсистемы 2 механизма в SimMechanic

В [4] приведены дифференциальные уравнения движения этого механизма. Как видно из [4] и из приведенных выше рис. 1 – 3, механизм достаточно сложен. Собственно это и привело к идее осуществить управление этим механизмом посредством нейронной сети, а не с помощью традиционной системы автоматического регулирования, решающей уравнения из [3].

Специально для этого в среде MATLAB разработана программа, которая позволяет автоматически создавать дестабилизирующие влияния на модель механизма. Окно этой программы приведено на рис. 4.

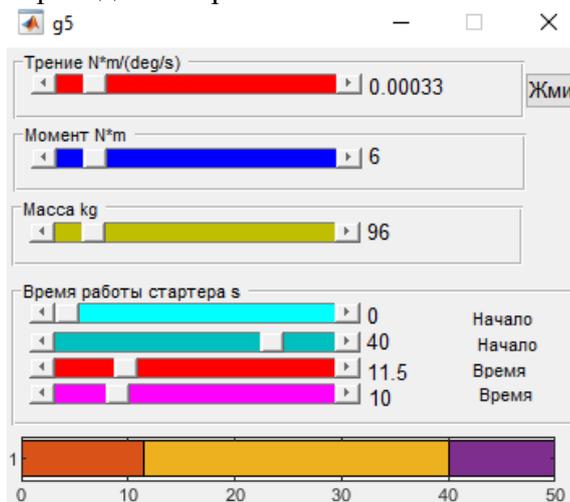


Рисунок 4 – Программа построения графиков движения

Это позволяет автоматически создать набор тестовых данных для обучения системы управления.

Обязательным шагом является настройка модели или подбор параметров механизма. В нашем случае таковыми параметрами являются коэффициенты трения в узлах вращения. Для этого у модели и у реального устройства снимались динамические параметры (графики движения) при свободном движении под действием только силы тяжести. Производя сравнение, определяем значение сил трения в узлах.

Следующий шаг – определение сопротивления механизма, учитывающего моменты качения и скольжения в зубчатой передаче и подшипниках.

Исходными данными являются время подъема и номинальный момент на холостом ходу (при нулевой массе подъема) для каждого из двигателей.

Передаточное число известно из механики и равно $i = 456$, подъем осуществляется за пол-оборота выходного вала.

Для электродвигателя типа LSt 0410 время подъема $t = 4$ сек. и крутящий момент $M_{кр} = 6 \text{ Н} \cdot \text{м}$

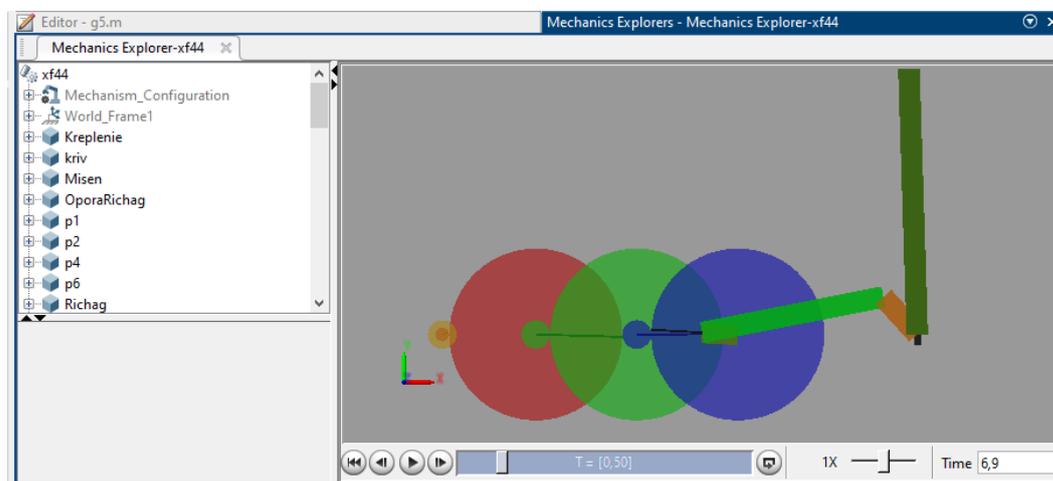


Рисунок 5 – Анимационная модель

Подбирая в программе параметр трение, получили идеальные графики подъема-опускания (рис. 6, 7):

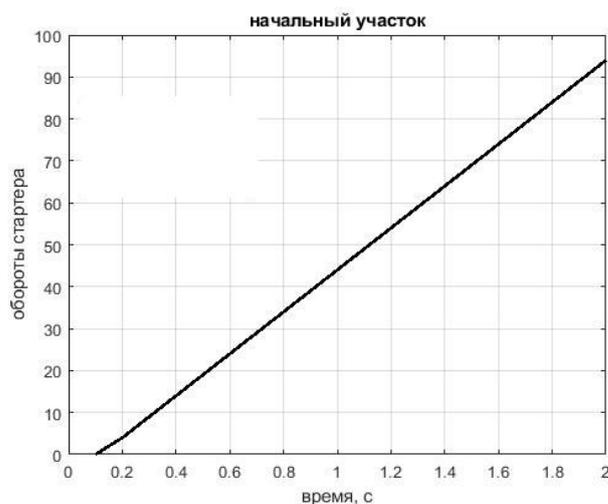


Рисунок 6 – Идеальные графики подъема-опускания механизма

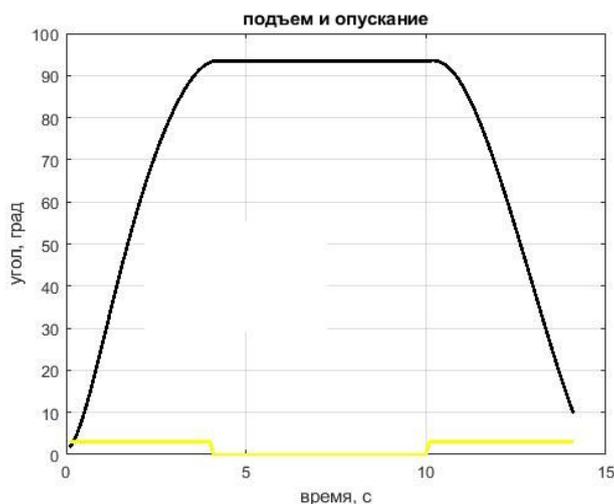


Рисунок 7 – График при значении параметра трение = 0,00033 (для типа LSt 0410)

Для электродвигателя типа 923.3708 время подъема $t = 10,5$ сек. и крутящий момент $M_{кр} = 9,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$

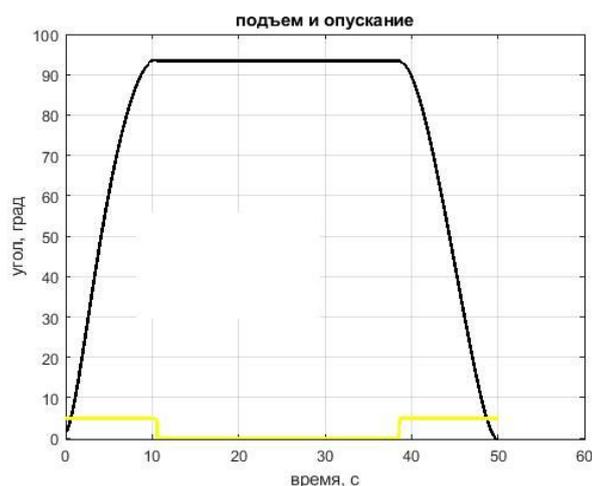


Рисунок 8 – Искомое значение параметра трение = 0,00132 (для двигателя 923.3708)

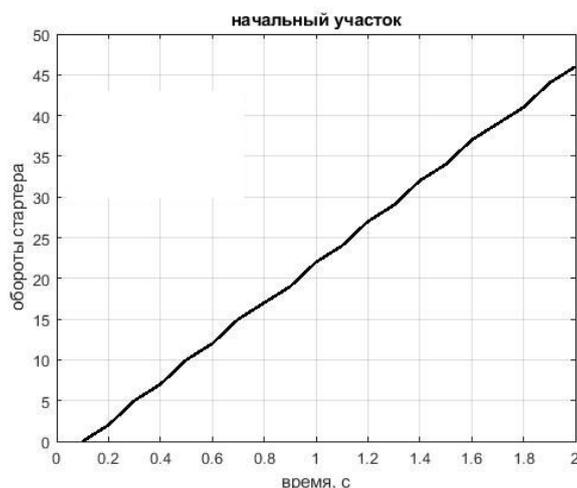


Рисунок 9 – Для электродвигателя типа АТЭК 2110-000/5702.3708 время подъема $t = 8,5$ сек. и крутящий момент $M_{кр} = 10,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$

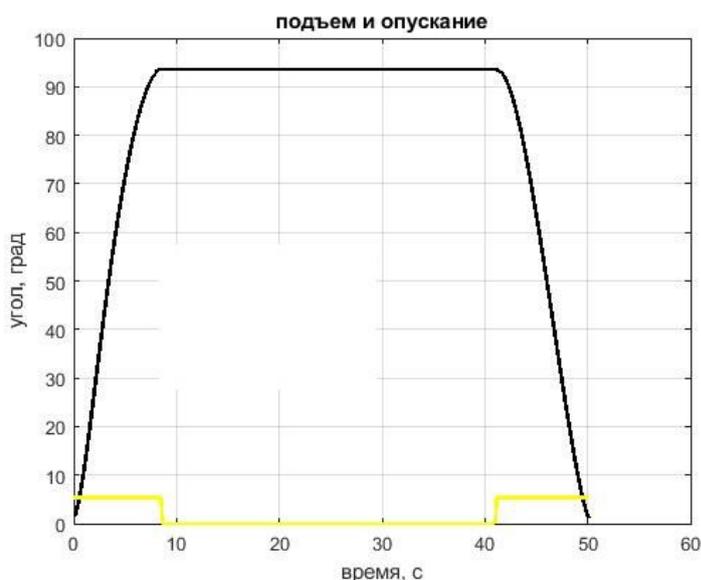


Рисунок 10 – Искомое значение параметра трение = 0,0012 (для двигателя АТЭК 2110-000/5702.3708)

Далее определяем время подъема и опускания механизма в зависимости от его массы для каждого типа электродвигателя, с учетом полезного сопротивления механизма.

Изменяя в программе значение массы подъема, подбираем время подъема для каждого из них. Для двигателя типа LSt 0410 с $M_{кр} = 6 Н*м$ и параметром трение = 0,00033 получили такие данные:

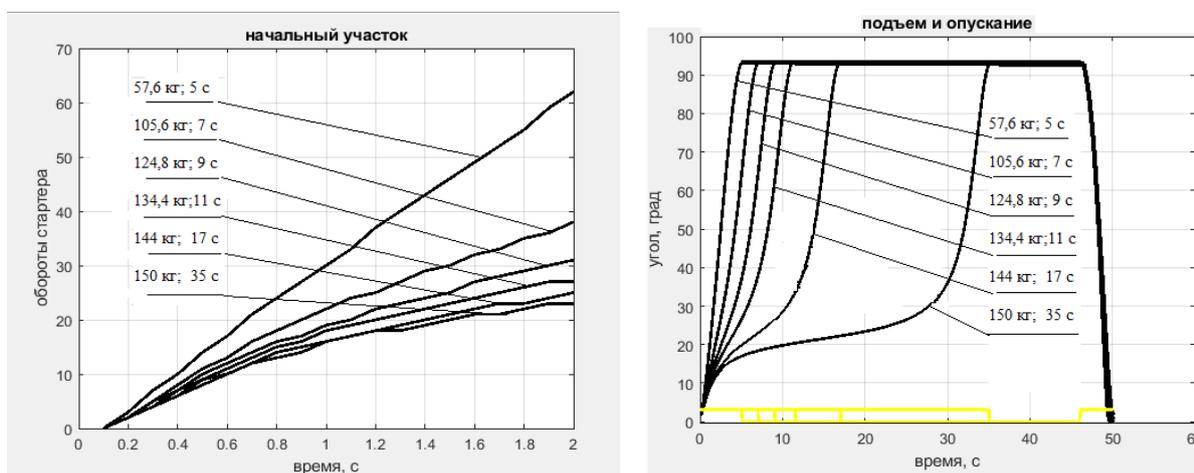


Рисунок 11 – Графики для двигателя типа LSt 0410 с $M_{кр} = 6 Н*м$ и параметром трение = 0,00033

Ниже на рис. 12 приведен график движения с массой рабочего тела больше 150 кг (153.6 кг и временем подъема 43.5 сек.):

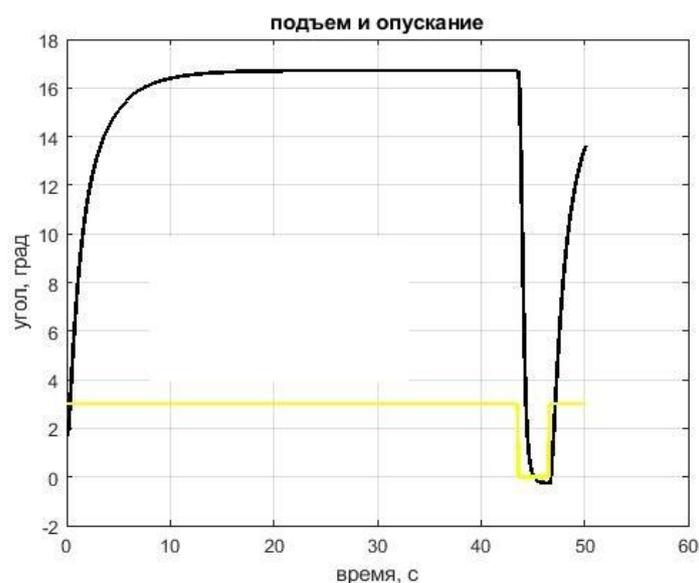


Рисунок 12 – График движения механизма для двигателя с массой рабочего тела больше 150 кг

Из графика видно, что максимальная подъемная масса для двигателя типа LSt 0410 равняется 150 кг.

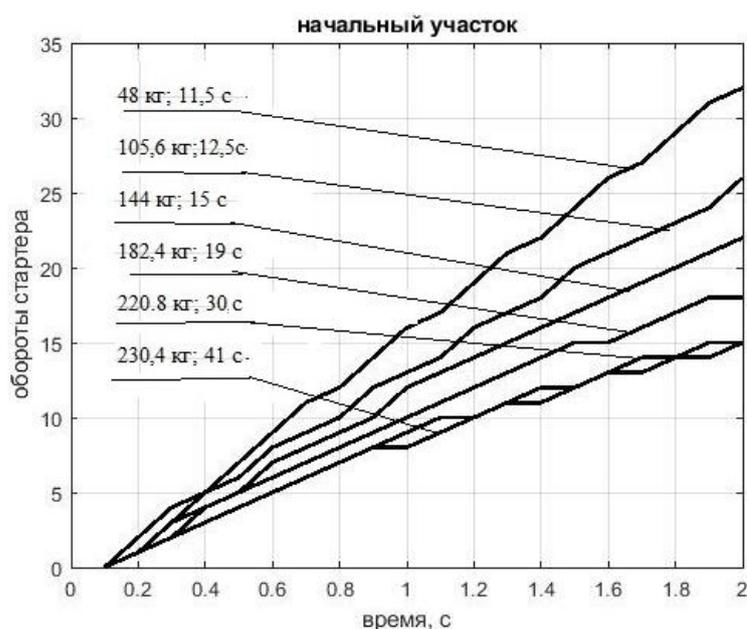


Рисунок 13 – Графики движения механизма для двигателя 923.3708 с $M_m = 9,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и параметром трение = 0,00132

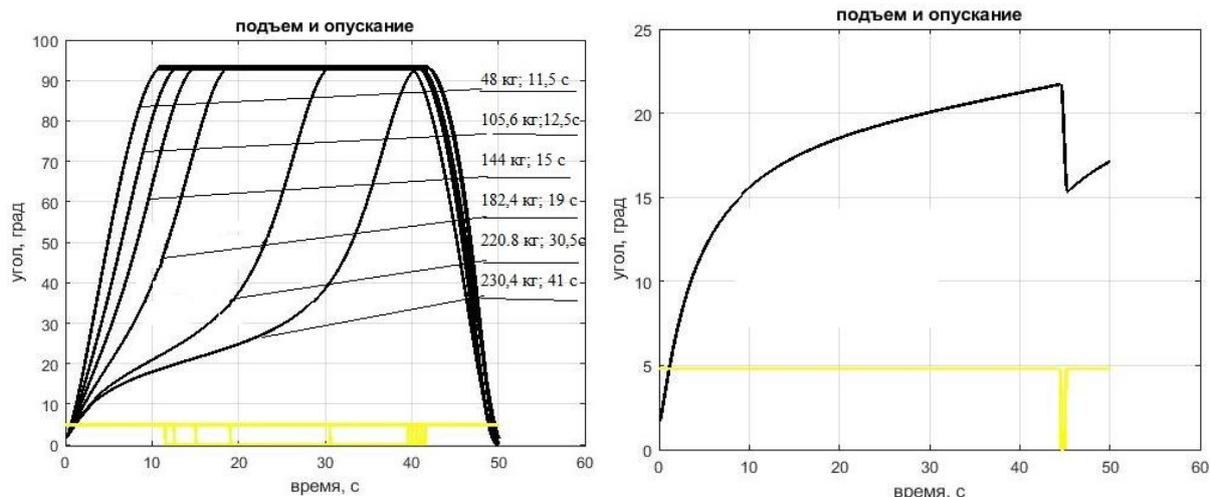


Рисунок 14 – Максимальная подъемная масса составила 240 кг

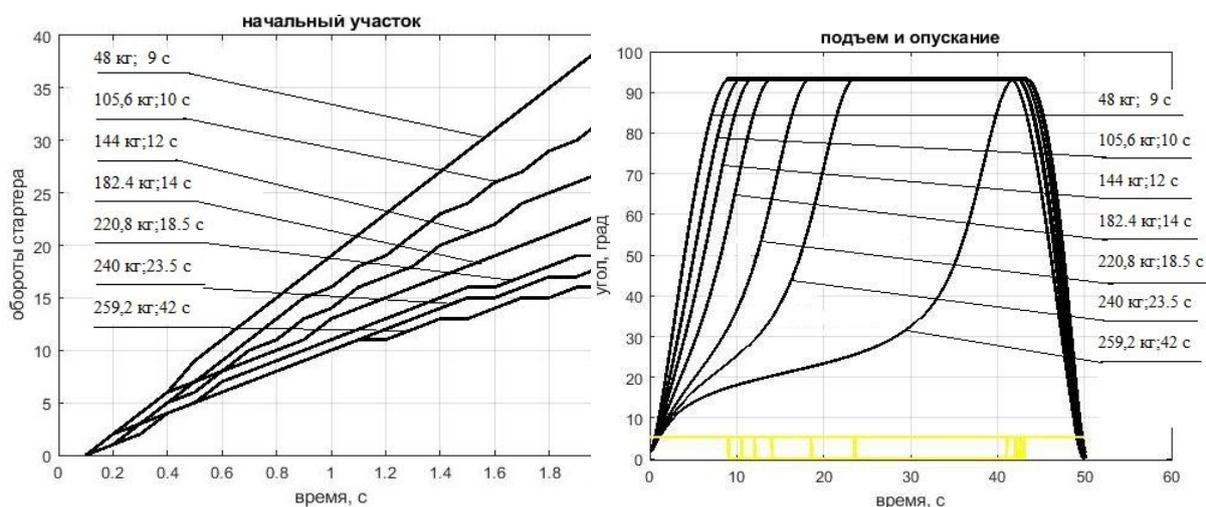


Рисунок 15 – График движения механизма при двигателе типа АТЭК 2110-000/5702.3708 с $M_{кр} = 10,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$, и с трением = 0,0012

Подготовка данных для создания нейронной сети

Определение оптимальных параметров движения (рис. 16) с двигателем типа LSt 0410 (примененный в данной установке) основывается на нижеследующих исходных данных.

Исходя из требования, что время включения мотора не должно превышать 10 сек. с помощью программы находим подъемную массу $m = 128,4 \text{ кг}$.

Ниже приведен график движения со следующими параметрами:

Трение – 0,00033

Момент – 6 Н×м

Масса – 128,4 кг

Время подъема – 9,75 сек.

Время опускания – 3,25 сек.

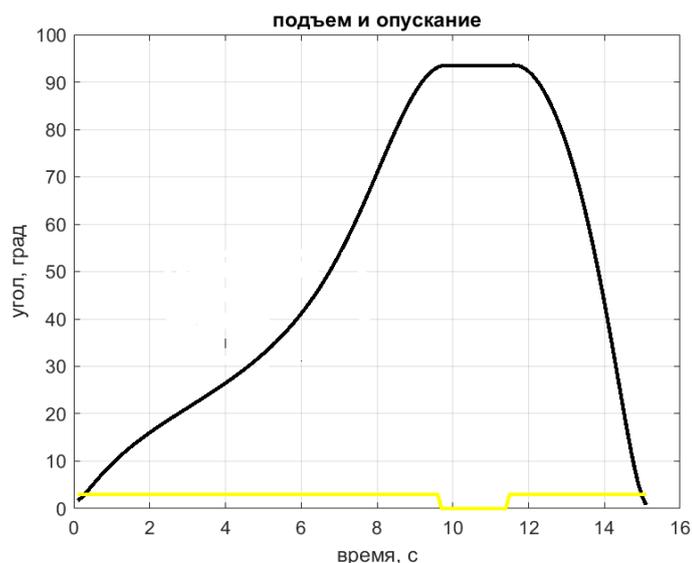


Рисунок 16 – График движения механизма с оптимальными параметрами

Из полученного графика движения и путем моделирования получили следующие данные, которые сведены в табл. 1:

Здесь: φ – угол с интервалом в 2° ; t – время; n_m – угловая скорость привода механизма; n_e – угловая скорость мотора; v – мгновенная скорость привода механизма на длине 4 м от оси поворота; a_t – тангенциальное угловое ускорение в этих точках.

Таблица 1 – Графики: Момент Н м, Угол, время, обороты мотора x

№	φ ,	t, сек	n м, об/мин	n с, об/мин	v, м/с	at, м/с ²
Подъем привода механизма						
1	0	0	0	0	0	0
2	2	0,199485	1,67096941	761,962052	0,6995798	3,5069291
3	4	0,401024	1,66241089	758,059368	0,6959966	3,4534089
4	6	0,597467	1,67373261	763,222069	0,7007366	3,5671244
5	8	0,805516	1,65525369	754,795684	0,6930001	3,3309465
6	10	1,066435	1,56283943	712,65478	0,6543093	2,5077104
10	18	2,350265	1,2764518	582,062023	0,5344082	1,4463989
75	51,5	2,259182	3,79931025	1732,48547	1,5906458	29,677335
76	53,5	2,311926	3,85681318	1758,70681	1,6147204	30,614296
77	55,5	2,363634	3,91346545	1784,54025	1,6384388	31,68637
78	57,5	2,414168	3,96962156	1810,14743	1,6619495	32,88775
79	59,5	2,463588	4,02529427	1835,53419	1,6852579	34,100726
90	81,5	2,968792	4,57537387	2086,37048	1,9155581	42,423716
95	91,5	3,201323	4,76365553	2172,22692	1,9943854	41,727908
96	93,5	3,25	4,79487179	2186,46154	2,0074546	41,24031

Табл. 1 имеет более 10 тысяч строк. Этого количества данных достаточно для обучения нейронной сети механизма [5].

Вывод

Предложенный способ позволяет сократить трудоемкость обучения нейронной сети при разработке системы управления роботом, в которую встраиваются элементы искусственного интеллекта. Использование в качестве основы для получения обучающего набора модель механизма в MATLAB в совокупности с периодическим контролем динамики движения на реальном механизме позволяет ускорить процесс разработки системы интеллектуального управления. Несмотря на то, что контроль на реальном механизме проводится не часто, это не сказывается на качестве разработки и уменьшает материальные затраты на обучение управляющей нейросети.

Список литературы

1. Зуев В. М. Использование нейросети для управления механизмами [Текст] / В. М. Зуев // Искусственный интеллект: теоретические аспекты, практическое применение : материалы Донецкого международного научного круглого стола. – Донецк : ГУ «ИПИИ», 2020. – С. 69–73.
2. Подготовки данных для обучения нейронной сети управляющей движением механизма [Текст] / О. А. Бутов, В. М. Зуев, А. А. Никитина, С. И. Уланов // Искусственный интеллект: теоретические аспекты, практическое применение : материалы Донецкого международного научного круглого стола. – Донецк : ГУ «ИПИИ», 2021 (в печати).
3. Медведев В. С. Нейронные сети MATLAB 6 [Текст] / В. С. Медведев, В. Г. Потемкин. – Диалог-МИФИ 2002. – 496 с.
4. Отчет по НИР «Разработка интеллектуальной системы управления и передачи данных для автоматизированного программно-аппаратного комплекса мишенных установок» [Текст]. – Донецк : ГУ «ИПИИ», 2018.
5. Курейчик В. М. Предисловие к журналу «Проблемы искусственного интеллекта» от вице-президента Российской Ассоциации Искусственного Интеллекта [Текст] // Проблемы искусственного интеллекта. – 2016. – № 1 (2). – С. 3.

References

1. Zuyev V. M. Ispol'zovaniye neyroseti dlya upravleniya mekhanizmami [Using a neural network to control mechanisms]. *Iskusstvennyy intellekt: teoreticheskiye aspekty, prakticheskoye primeneniye : materialy Donetskogo mezhdunarodnogo nauchnogo kruglogo stola* [Artificial intelligence: theoretical aspects, practical application: materials of the Donetsk international scientific round table], Donetsk, GU IPII, 2020, pp. 69–73.
2. Butov O. A., Zuyev V. M., Nikitina A. A., Ulanov S. I. Podgotovki dannykh dlya obucheniya neyronnoy seti upravlyayushchey dvizheniyem mekhanizma [Preparation of data for training the neural network controlling the movement of the mechanism]. *Iskusstvennyy intellekt: teoreticheskiye aspekty, prakticheskoye primeneniye : materialy Donetskogo mezhdunarodnogo nauchnogo kruglogo stola* [Artificial intelligence: theoretical aspects, practical application: materials of the Donetsk international scientific round table], Donetsk, GU IPII, 2021 (v pechati).
3. Medvedev V. S. Potemkin V. G. Neyronnyye seti MATLAB 6. [Neural networks MATLAB 6], Dialog-MIFI 2002, 496 s.
4. Otchet po NIR «Razrabotka intellektual'noy sistemy upravleniya i peredachi dannykh dlya avtomatizirovannogo programmno-apparatnogo kompleksa mishennykh ustanovok» [Research report "Development of an intelligent control and data transmission system for the automated hardware and software complex of target installations"], Donetsk, GU IPII, 2018.
5. Kureychik V. M. Predisloviye k zhurnalu «Problemy iskusstvennogo intellekta» ot vitse-prezidenta Rossiyskoy Assotsiatsii Iskusstvennogo Intellekta [Foreword to the journal "Problems of Artificial Intelligence" from the Vice-President of the Russian Association for Artificial Intelligence]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], 2016, № 1 (2), S. 3.

RESUME

V. M. Zuev, O. A. Butov, S. B. Ivanova, A. A. Nikitina, S. I. Ulanov
Method for Learning Neural Network for Robot Control

When developing a robot control system into which elements of artificial intelligence are embedded, neural networks are often used as the main control element. In this case, the stage of training the neural network is the most time consuming. In addition, the process of training a neural network on a real mechanism can be economically costly and unsafe for personnel.

This paper proposes a method for training a neural network for controlling a robot, which consists of several stages: a) obtaining a training data set not from a real mechanism, but from its sufficiently detailed model, b) synthesizing and training a neural network, embedding it in a microprocessor control system, c) starting control of the robot in such test modes in which it is quite easy to determine the actual parameters of the mechanisms. On the basis of these experimentally obtained parameters of the mechanism, we correct the parameters of the model and repeat stages a) b) c) until a satisfactory behavior of the robot is obtained.

The proposed method makes it possible to reduce the labor intensity of training a neural network when developing a robot control system into which elements of artificial intelligence are embedded. Using a model of a mechanism in MATLAB as a basis for training with periodic control of behavior on a real mechanism allows you to speed up the process of developing an intelligent control system. Despite the fact that control on a real mechanism is not often carried out, this does not affect the quality of development and reduces material costs.

РЕЗЮМЕ

В. М. Зуев, О. А. Бутов, С. Б. Иванова, А. А. Никитина, С. И. Уланов
Способ обучения нейронной сети управления роботом

При разработке системы управления роботом, в которую встраиваются элементы искусственного интеллекта, часто используют нейронные сети в качестве основного элемента управления. При этом стадия обучения нейронной сети наиболее трудоемка. Кроме того, процесс обучения нейронной сети на реальном механизме может быть экономически затратным и не безопасным для персонала.

В данной работе предлагается способ обучения нейронной сети управления роботом, который состоит из нескольких стадий: а) получение обучающего набора данных не из реального механизма, а из его достаточно детальной модели, б) синтез и обучение нейронной сети, встраивание ее в микропроцессорную систему управления, в) запуск управления роботом в таких тестовых режимах, в которых достаточно просто определить фактические параметры механизмов. На основе этих экспериментально полученных параметрах механизма корректируем параметры модели и повторяем стадии а) б) в) до тех пор, пока не будет получено удовлетворительное поведение робота.

Предложенный способ позволяет сократить трудоемкость обучения нейронной сети при разработке системы управления роботом, в которую встраиваются элементы искусственного интеллекта. Использование в качестве основы для обучения модели механизма в MATLAB с периодическим контролем поведения на реальном механизме позволяет ускорить процесс разработки системы интеллектуального управления. Несмотря на то, что контроль на реальном механизме проводится не часто, это не сказывается на качестве разработки и уменьшает материальные затраты.

Статья поступила в редакцию 19.04.2021.