

2.11 Нейросетевое управление динамическими системами

Решения, основанные на ИНС, широко применяются при построении систем управления динамическими объектами.

К системам, в которых используются искусственные нейронные сети как средства управления (*нейроконтроллеры*), относятся, например, следящие приводы и роботы.

В настоящее время сформировались три основных группы методов организации управления динамическими системами с применением искусственных нейронных сетей. Такие методы принято называть методами *нейроуправления*. Этими группами методов являются прямые, не прямые и гибридные методы нейроуправления.

Особенностью *прямых* методов является то, что искусственная нейронная сеть осуществляет непосредственное управление динамическим объектом.

При реализации *непрямых* методов ИНС используется, например, для идентификации параметров объекта управления и решает вспомогательные задачи. Это способствует повышению качества процессов управления.

Гибридные методы сочетают использование ИНС и обычных контроллеров. В этом случае, например, обычный контроллер реализует ПИ- или ПИД-регулятор, а ИНС служит для оперативной подстройки значений его параметров с целью улучшения динамических свойств системы управления, объект которой может обладать нелинейными характеристиками.

Можно выделить ряд наиболее известных и эффективных методов нейруправления, среди которых можно отметить

- *подражающее нейруправление,*
- *нейруправление с эталонной моделью,*
- *гибридное нейро-ПИД управление.*

2.11.1 Подражающее нейруправление

Подражающее управление позволяет, например, заменить в системе управления человека-оператора или контроллер традиционной структуры, управляющих сложным динамическим объектом, на ИНС. Схема системы, соответствующая *режиму обучения нейроконтроллера*, показана на рис. 2.23.

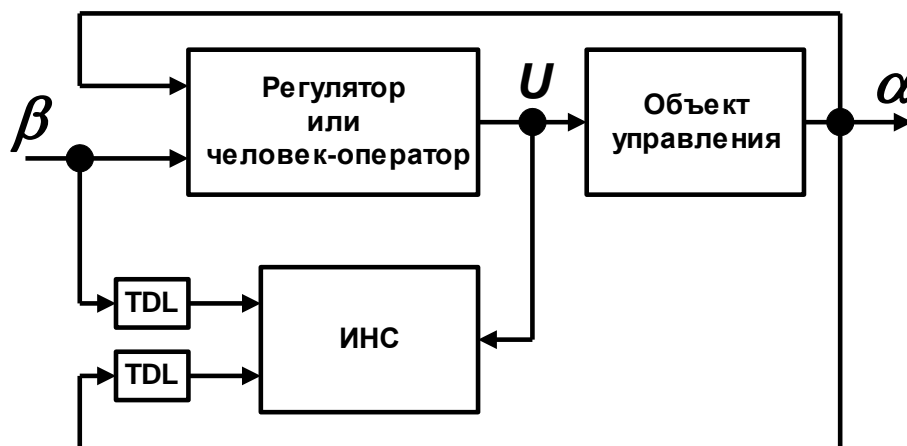


Рисунок 2.23 Схема системы, в режиме обучения нейроконтроллера

На этом этапе в контуре регулирования находятся только объект управления (ОУ) и управляющий элемент системы, роль которого выполняет человек-оператор или регулятор, построенный на обычном контроллере (Р), например, ПИД-регулятор. Ес-

ли речь идёт о регуляторе на контроллере, то он должен быть предварительно правильно настроен. Эта настройка должна быть такой, чтобы система управления удовлетворяла предъявляемым к ней требованиям по точности, быстродействию и качеству переходных процессов.

На входы нейроконтроллера поступают три сигнала, которые используются для его обучения: задающее воздействие β , регулируемая переменная системы α и управляющее воздействие U , сформированное обычным регулятором. Эти сигналы используются для формирования обучающих выборок для обучения нейронной сети. Благодаря этому ИНС, реализованная в нейроконтроллере, обучается на примерах динамического поведения предварительно настроенной динамической системы.

Таким образом, при подражающем управлении ИНС является фактически *нейроэмулятором* обычного регулятора или человека-оператора. Если исходной системой управления является биотехническая система «человек - машина», то при обучении нейроконтроллера используются записи воздействий, создаваемых человеком-оператором, управляющим техническим объектом. Для исключения алгебраических контуров и правильного протекания процесса обучения сигналы, характеризующие задающее воздействие и регулируемую переменную системы, подаются на входы нейроконтроллера через элементы временной задержки «TDL» (Tapped Delay Line).

Здесь и далее рассмотрены структуры одноканальных систем управления. Но *методы нейроуправления могут использоваться и для многоканальных систем*. В этом случае задающие и управляющие воздействия, а также выходные сигналы следует считать не скалярными переменными, а векторными.

После обучения искусственная нейронная сеть, входящая в состав нейроконтроллера, способна воспроизводить функции исходного контроллера или человека-оператора. Поэтому в режиме «работа» нейроконтроллер подключается вместо исходного контроллера, который далее не используется (рис. 2.24).

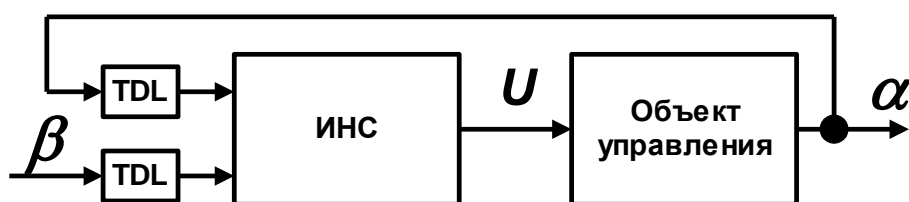


Рисунок 2.24 Схема системы, в которой реализовано подражающее нейруправление

Одна из существенных проблем, связанная с применением метода подражающего управления, состоит в необходимости иметь в исходном варианте системы управления предварительно правильно настроенный обычный контроллер. А это не так просто сделать, да и не всегда возможно. Недостатком является также то, что обученный нейроконтроллер не может обеспечить более высокое качество управления, чем исходный обычный контроллер или человек-оператор. Таким образом, не реализуются все потенциальные возможности, которыми обладают искусственные нейронные сети.

2.11.2 Нейроуправление с эталонной моделью

Если структура и параметры регулятора P не заданы, воспользоваться методом подражающего нейроуправления не удастся. В этом случае нейроконтроллер может быть настроен с использованием эталонной модели системы управления (рис. 2.25). Эталонную модель формируют таким образом, чтобы она обладала желаемыми свойствами системы управления.

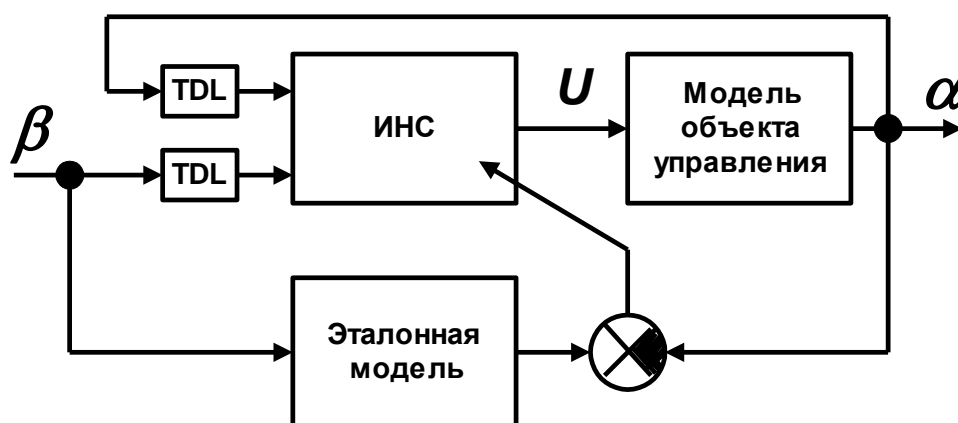


Рисунок 2.25 Структура системы с эталонной моделью в режиме обучения нейроконтроллера

Нейроконтроллер обучается на основе обучающей выборки, полученной из сигнала рассогласования между выходным сигналом эталонной модели и выходным сигналом модели объекта управления. Реальный объект при обучении не используется. При переходе в основной рабочий режим после завершения обучения нейроконтроллера необходимость в использовании эталонной модели отпадает, и она в дальнейшем не используется. В рабочем режиме структура системы с ИНС, обученной с помощью эталонной модели, не отличается от структуры, представленной на рис. 2.24.

Модель объекта управления может быть построена на основе описания в виде системы дифференциальных уравнений или выполнена в виде нейроэмулятора, который воспроизводит (эмулирует) динамическое поведение объекта управления. В случае использования нейроэмулятора обучение ИНС выполняется с использованием схемы, представленной на рис. 2.26. На входы реального объекта управления и нейроэмулятора подаются одни и те же тестовые сигналы. Рассогласование между реакциями ОУ и ИНС используется в качестве исходной информации для работы алгоритма обучения, в соответствии с которым изменяются параметры ИНС.

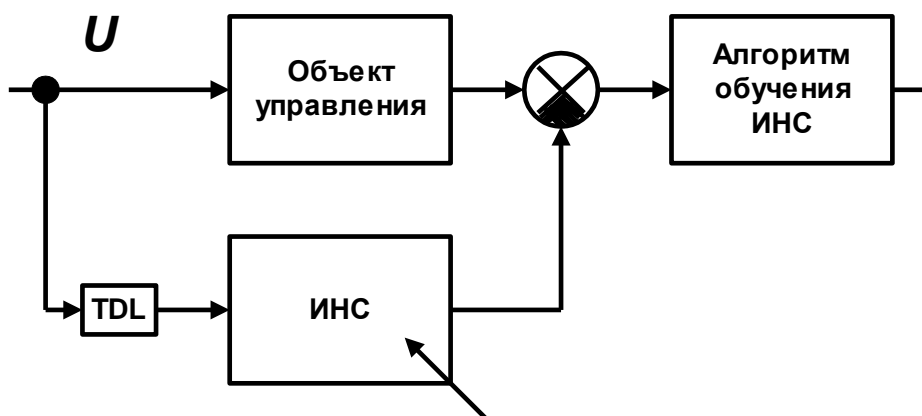


Рисунок 2.26 Схема обучения нейроэмулятора ОУ

Другой вариант построения системы управления, использующий нейроконтроллер и эталонную модель системы, представлен на рис. 2.27.

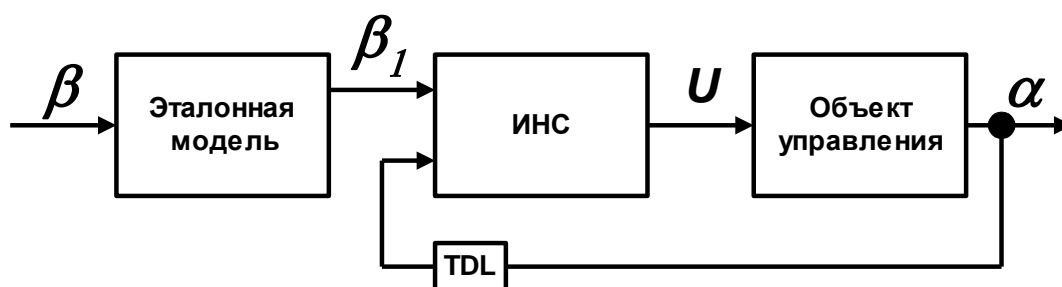


Рисунок 2.27. Структурная схема системы управления с эталонной моделью и нейроконтроллером

Особенность такой системы состоит в том, что эталонная модель включена последовательно с замкнутой следящей системой, построенной с использованием нейроконтроллера. Задающее воздействие β поступает на вход эталонной модели, а её выходная переменная β_1 играет роль управляющего воздействия, подаваемого на вход следящей системы. Таким образом, следящая система стремится с наименьшей погрешностью воспроизвести выходной сигнал эталонной модели.

Как правило, эталонная модель представляет собой линейную динамическую систему невысокого, например, второго порядка. Она постоянно используется в системе управления и при обучении нейроконтроллера, и при основной работе системы управления. В режиме обучения ИНС на основании выходных сигналов эталонной модели формируются обучающие выборки. Обучение нейроконтроллера выполняется таким образом, чтобы следящая система с наименьшей погрешностью воспроизводила поданные на её вход сигналы. В этом случае можно рассчитывать на то, что и в рабочем режиме регулируемая переменная си-

системы управления α с высокой точностью будет повторять выходной сигнал β_1 эталонной модели.

2.11.3 Гибридное нейроуправление

В случае применения гибридного нейроуправления в системе совместно действуют нейроконтроллер, построенный на основе искусственной нейронной сети, и обычные контроллеры, например, ПИД-регуляторы. Наиболее распространённым является *гибридное нейро-ПИД управление* (рис. 2.28).

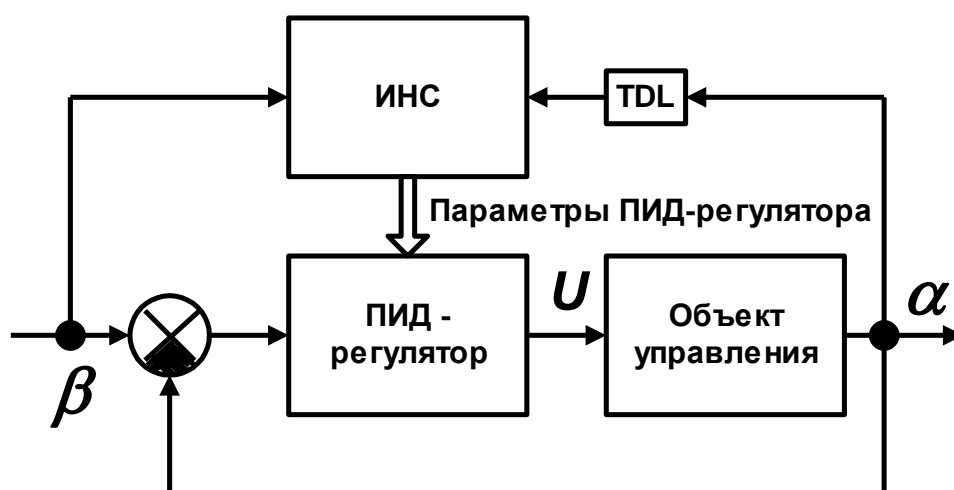


Рисунок 2.28 Схема гибридного нейро-ПИД-управления

Ядро управляющей части основного контура системы представлено ПИД-регулятором. Его задача состоит в том, чтобы устранить рассогласование между задающим воздействием и регулируемой переменной системы. Но особенность применяемого ПИД-регулятора состоит в возможности изменения значений параметров при подаче на его дополнительные входы управляю-

щих воздействий, формируемых нейроконтроллером. Преимущество такого вида управления состоит в оперативной корректировке динамических свойств ПИД-регулятора в процессе функционирования системы управления. Это оказывается важным для повышения качества управления нелинейными объектами и при наличии возмущающих воздействий.

Обучение нейронной сети происходит в реальном времени с учётом текущего значения ошибки системы. Обученная ИНС обрабатывает поступающие на её вход задающее воздействие и регулируемую переменную и выдаёт на выход значения трёх коэффициентов ПИД-регулятора. Это коэффициенты усиления пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих регулирования. ПИД-регулятор совместно с подстраивающей его искусственной нейронной сетью образует нелинейный динамический регулятор. Обученная сеть функционирует таким образом, что в текущий момент времени и при сложившейся ситуации значения этих коэффициентов являются оптимальными в смысле минимума рассогласования системы управления. В этом случае качество системы управления возрастает, она становится адаптивной и это особенно заметно, если объект управления обладает нелинейными характеристиками.

Другой вид структуры системы управления с гибридным нейро-ПИД-управлением показан на рис. 2.29. Здесь нейронная сеть включена последовательно с ядром ПИД-регулятора, формирующим отдельно три сигнала пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих закона регулирования. ИНС служит для оперативной подстройки коэффициентов, на которые умножаются эти сигналы перед суммированием для получения управляющего воздействия на объект управления.

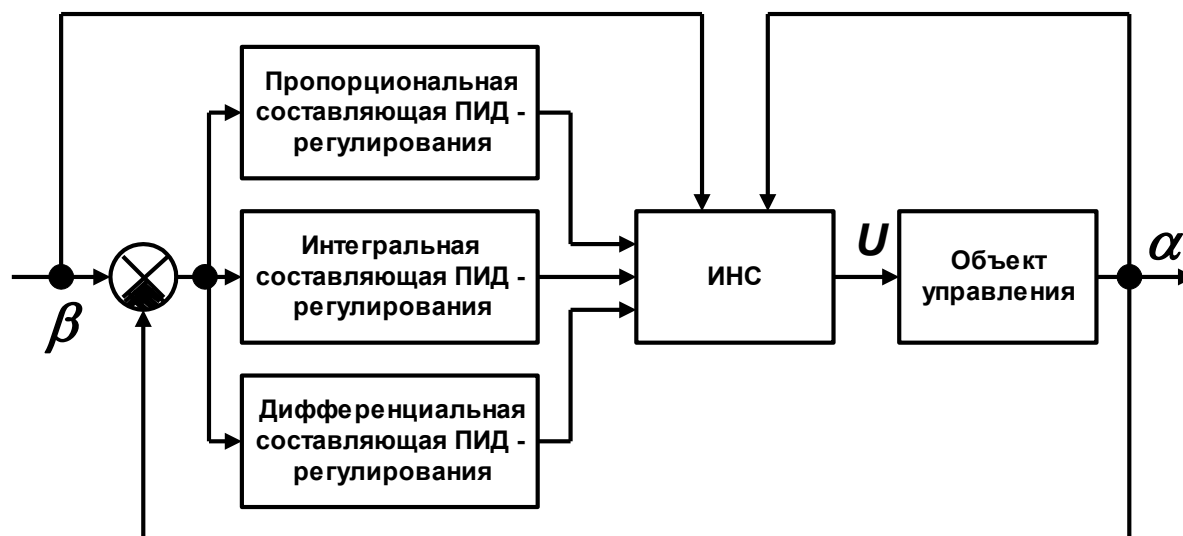


Рисунок 2.29 Структурная схема системы управления с гибридным нейро-ПИД-управлением

Следует отметить, что оба рассмотренных варианта гибридного нейро-ПИД управления имеют важное преимущество по сравнению с другими возможными вариантами построения систем с нейроконтроллерами. Оно состоит в том, что *в ряде случаев можно отказаться от предварительной настройки параметров ПИД-регулятора*, поскольку эта операция может выполняться искусственной нейронной сетью в автоматическом режиме.