

## Преимущества нечеткой логики при синхронном управлении двигателями

*Н.Д. Ложкин, Е.А. Рыжкова*

*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина*

**Аннотация:** В статье рассматриваются возможность управления двигателями в многодвигательной системе с помощью алгоритма нечеткой логики. Приводится пример команд для управления системой из нескольких двигателей.

**Ключевые слова:** нечеткая логика, автоматизация, моделирование процесса ПИД-регулирование, управление двигателями.

В современных производственных линиях большое значение для стабильной работы имеет способы управления двигателями. Обычно двигатели управляются с помощью внешнего источника или изначально имеют заданные характеристики вращения, которые не меняются во время работы линии.

Основные задачи преследуемые при управлении двигателями в системе, это повышение эффективности сопутствующих процессов и точное регулирование процессов, происходящих в системе [1, 2].

В основном управление двигателями производится с помощью частотных преобразователей с заранее заданными параметрами, либо с помощью программируемых логических контроллеров управление в которых происходит по сложной внутренней логике. Однако такие системы требуют точного моделирования и настройки, что снижает их адаптивность и требует вмешательства при изменении условий работы [3, 4].

Одним из перспективных способов модернизации является использование нечеткой логики для написания условий работы двигателей.

Для анализа возможности интеграции нечеткой логики будет рассмотрена на пример установки для апитации стеклонити, показанной на рисунке 1.

Принцип работы, данной линия заключается в следующем, стеклонить сматывается с бобин и перекручивается определённым образом, для достижения нужного количества скруток на единицу длины. Движение нити по линии

происходит с помощью двигателей 1, 2, 3, управление которыми происходит с помощью частотных преобразователей. Для отслеживания степени натяжения нити и обнаружения обрывов были установлены датчики натяжения нити 4,5,6. В блок для замасливания нити происходит нанесение замасливателя на скрученную нить. Сушка замасливателя происходит в блоке сушке, температура в котором должна поддерживаться постоянной, отслеживание температуры происходит с помощью термопреобразователя сопротивления 7.

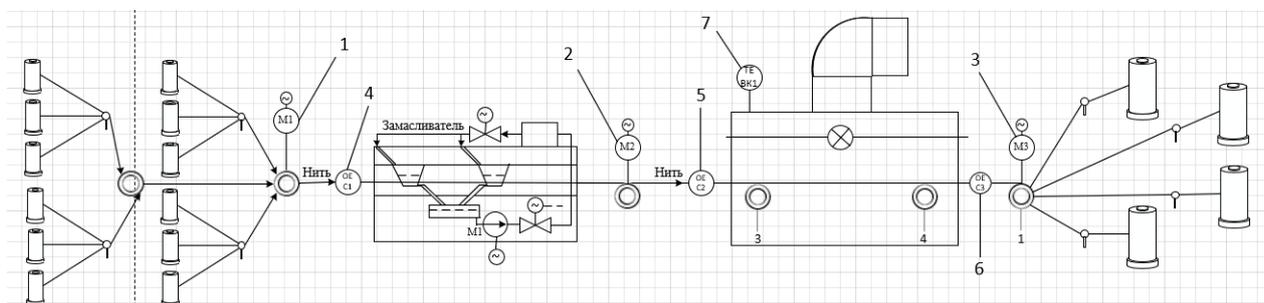


Рис. 1. Схема линии для апитации стеклонити.

В схеме управления данной установкой блоки замасливания и сушки нити изображены условно так как для их управления использованы отдельные ПИД регуляторы, влияние которых на управления двигателями движения нити незначительно.

Первоначально для управления двигателями была использована связка из 3 двигателей, которые работали независимо друг от друга. Такие системы управления двигателями относятся к классу адаптивных систем [5,6,7]. На рисунке 2 изображена схема ПИД регулирования для двигателя, управление двух других двигателей происходило аналогичным образом, расчет коэффициентов для каждого двигателя был произведен индивидуально и потом отредактирован на стадии ввода установки в эксплуатацию.

На данной схеме  $T$  – значение натяжения нити, поступающей с датчика, а  $V$  – скорость нити.

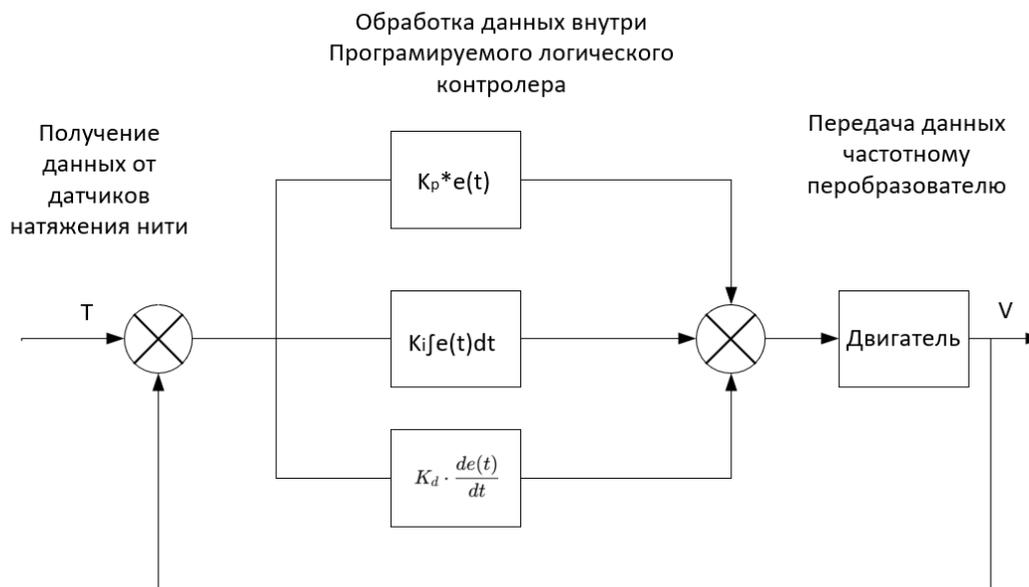


Рис. 2. Схема управления для одного двигателя.

Основная проблема возникшая при работе данной установке заключается в следующем: синхронизация двигателей, возникшая в следствии разницы диаметров нити в процессе намотки и скрутки соответственно, в следствии того что при скрутки, нить сматывается с 3 бобин и скручивается определенным образом, а при намотки на 1, при этом отличается диаметр нити и требуется синхронизация скорости нити в 2 пограничных состояниях для недопущения ошибок при работе установки. Так-ж данная проблема возникает в следствии того, что двигатели хоть и стремятся к одним показателям скорости и натяжения нити, но делают это не синхронно.

Для решения этой проблемы был составлен алгоритм для программируемого логического контролера, объединяющего 3 двигателя, отвечающих за движение нити, в единую систему.

Для начала обозначим взаимосвязи натяжений между первым вторым и третьим двигателями и изобразим данные взаимосвязи на Рисунке 3.

$T_{12}$ - зависимость натяжения на 2 датчике от натяжения создаваемого 1 двигателем и равна  $T_{12} = T_1 * k_1$ , где  $k_1$  это коэффициент изменения  $T_1$  в момент достижения нити 2 двигателя.

$T_{23}$ - зависимость натяжения на 2 датчике от натяжения, создаваемого 3 двигателем и равна  $T_{23} = T_2 * k_2$ , где  $k_2$  это коэффициент изменения  $T_2$  в момент достижения нити 3 двигателя.

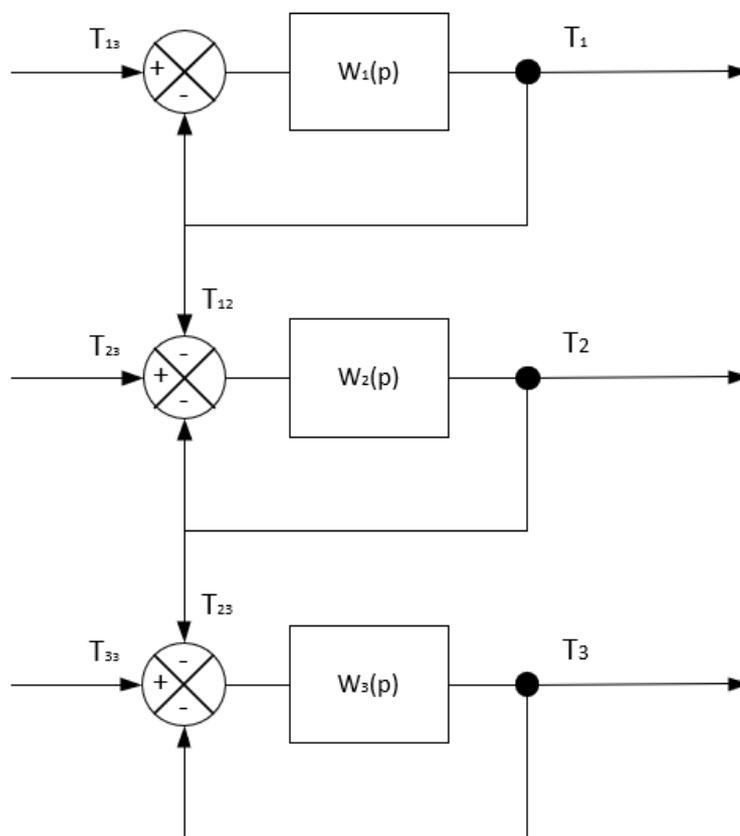


Рис. 3. Схема зависимостей для входных и выходных значений ПИД регулятора для управления 3 двигателями.

В данной схеме  $W$  обозначает ПИД регулятор для каждого из двигателя, и имеют уравнение:

---

$$W = K_p * e(t) + K_i * \int_0^t e(t) * dt + K_d * \frac{de(t)}{dt}, \quad \text{где} \quad e(t) = SP(t) - PV(t).$$

$T_{13}, T_{23}, T_{33}$  - это значения к которым должно стремиться натяжение нити.

Теперь составим алгоритм работы для программируемого логического контролера, приняв во внимание, что температура при которой замасливатель начинает затвердевать – 150 °С. Данный алгоритм представлен на рисунке 4.

Благодаря данному алгоритму и новой схеме ПИД регулирования стало возможным синхронное управление двигателями и выход на необходимые показатели скорости и натяжения нити. Но использование ПИД регулирования требует более точных настроек коэффициентов, что влечет за собой влечет наличие квалифицированных рабочих на линии. Выходом из данной ситуации является использование нечеткой логики. Отличие ПИД-регулятора с контроллером, основанным на нечеткой логике, от обычного заключается в том, что коэффициенты усиления в пропорциональной и интегрирующей цепях регулятора не являются статическими, т. е. зависят от состояния системы в текущий момент времени.[8,9]. Если использовать нечеткий регулятор для динамического изменения коэффициентов, то это позволит не только сохранить достоинства обычного ПИД-регулятора, но и добавить к ним адаптивность нечеткой логики, что в свою очередь позволит повысить эффективность и точность системы управления.[10].

Для перехода к использованию нечеткой логики надо ввести обозначения для регулированных параметров. Обозначим значения для V и T, для значений V крайне низкая(V--) /низкая (V-)/ в пределах допустимого (V) / высокая(V+)/ крайне высокая(V++) и T: большое провисание (T--)/ небольшое провисание(T-) / нормальное (T) / небольшое натяжение(T+) / большое натяжение (T++). Для значений V низкая, в пределах допустимого и высокая, и значений T небольшое провисание, нормальное и небольшое натяжение, работает ПИД регулятор, данные значения считаются нормальными так как, их изменение не требует

изменения показателей на других двигателях. Крайние значения  $V_{++}/V_{--}$  и  $T_{++}/T_{--}$  являются максимально допустимыми. Они высчитываются из технических показателей установки и физических нити. В случае выхода за эти пределы произойдет либо обрыв нити, при чрезмерном натяжении, либо спутывание нити, в случае чрезмерного провисания. Напишем некоторые правила нечеткой логики используя текущие обозначения и занесем данные в таблицу 1. В данной таблице не учитываются ситуации, когда значения с двух датчиков натяжения нити, вышли за пределы нормальных.

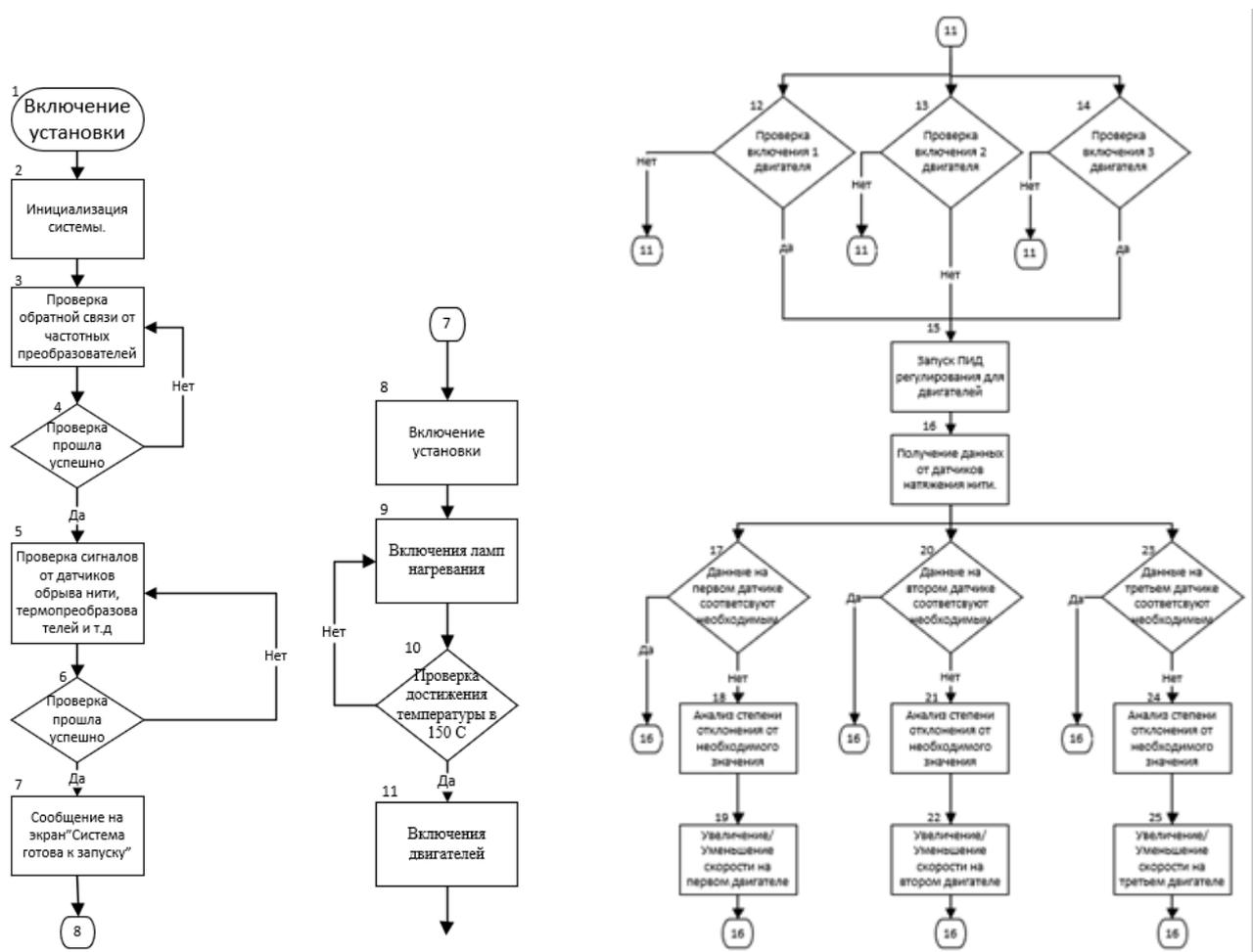


Рис. 4. Алгоритм работы установки с учетом ПИД регулятора.

Таблица 1. Таблица нечеткой логики для крайних значений натяжения

Значение T вышедшее крайнее значение.	Значение V для данного участка.	Проверка соседних значение V/T.	Действие, если проверка успешно. если прошла
T3--	V++	Вышло ли значение V2 и T2 за пределы.	Увеличиваем значения V2.
T3--	V--	Вышло ли значение V2 и T2 за пределы.	Уменьшаем значение V2.
T3++	V--	Вышло ли значение V2 и T2 за пределы.	Уменьшаем значение V2.
T3++	V++	Вышло ли значение V2 и T2 за пределы.	Уменьшаем значение V2.
T2--	V++	Смотрим какое значение T1 или T3 ближе к норме.	Если показатели T1 в норме, то тормозим V3. Если показатели T3 в норме, то тормозим V1. Если оба показателя в норме, то тормозим оба.
T2--	V--	Вышло ли значение T1 за пределы.	Уменьшаем V1.
T2++	V++	Вышло ли значение T1 за пределы.	Увеличиваем V1.
T2++	V--	Вышло ли значение T1 за пределы.	Уменьшаем V1.
T1++	V++	Вышло ли значение T2 за пределы.	Увеличиваем V2.
T1++	V--	Вышло ли значение T2 за пределы.	Уменьшаем V2.
T1--	V++	Вышло ли значение T2 за пределы.	Увеличиваем V2.
T1--	V--	Вышло ли значение T2 за пределы.	Увеличиваем V2.

Таким образом, внедрение нечеткой логики в систему управления многодвигательной линией аппретирования стеклонити позволило устранить проблему асинхронной работы приводов, добиться стабильного натяжения нити

и повысить обобщённую точность регулирования. За счёт адаптивной корректировки управляющих параметров в реальном времени система стала более устойчивой к внешним воздействиям и менее зависимой от точности исходной настройки.

### Литература

1. Фрасын П.Г., Рыжкова Е.А., Масанов Д.В. Повышение качества управления в автоматизации технологических процессов за счет внедрения интеллектуальных методов управления электрическими машинами // Материалы докладов 56-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. В двух томах. Витебск, 2023. Том 2. С. 35-37.
2. Гинис Л.А. Развитие инструментария когнитивного моделирования для исследования сложных систем // Инженерный вестник Дона. 2013. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1806](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1806)
3. Терещенко К.В., Капустин А.Г. Нечеткий адаптивный контур для управления электродвигателем // Big Data and Advanced Analytics. 2020. № 6-2. С. 246-266.
4. Максимова Н.А., Черный С.П., Сухоруков С.И. Особенности моделирования развитых нечётких систем с алгоритмом вывода мамдани для управления электроприводами постоянного тока // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 1 (49). С. 37-50.
5. Сидорова А.А. Анализ эффективности алгоритмов автоматической настройки адаптивных промышленных ПИД-регуляторов / Сидорова А.А., Малышенко А.М. // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 318. № 5. С. 110-115.
6. Глущенко А.И. О методе определения скорости обучения нейронной сети для задачи оперативной настройки линейных регуляторов при управлении

нелинейными объектами // Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», (Старый Оскол). 2018. №72. С. 52-107

7. Королев Д.О., Масанов Д.В., Рыжкова Е.А. Системы управления асинхронного двигателя, основанные на применении метода нечеткой логики. Сравнительный анализ различных подходов автоматизации // Материалы докладов всероссийской научно-практической конференции им. Я.В. Мильмана. Материалы докладов. Москва, 2024. С. 203-210

8. Kuznetsov B.I., Nikitina T.B., Bovdvi I.V., Voloshko O.V., Kolomiets V.V., Kobylanskyi B.B. The method of multi objective synthesis of nonlinear robust control by multimass electromechanical systems // Electrical engineering & electromechanics. 2022. № 4. pp. 12-20.

9. Zeynalabdiyeva I.S. Fuzzy output control of the movement of the cassette conveyor in the production of mechanical processing // Scientific News. Series for Natural and Technology Sciences. 2021. V. 21. № 3. pp. 79-85.

10. Григорьева С.В., Бородянский И.А. Современные средства, используемые при формировании интеллектуальных систем управления // Инженерный вестник Дона. 2025. №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2025/9788](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2025/9788).

### References

1. Frasy`n P.G., Ry`zhkova E.A., Masanov D.V. Materialy` dokladov 56-j mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii преподавателей i studentov. V dvux tomax. Vitebsk, 2023.V. 2. pp. 35-37.

2. Ginis L.A. Inzhenerny`j vestnik Dona. 2013. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1806](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1806)

3. Tereshhenko K.V., Kapustin A.G. Big Data and Advanced Analytics. 2020. № 6-2. pp. 246-266.



4. Maksimova N.A., Cherny`j S.P., Suxorukov S.I. Ucheny`e zapiski Komsomol`skogo-na-Amure gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2021. № 1 (49). pp. 37-50.
5. Sidorova A.A., Maly`shenko A.M. Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. 2011. T. 318. № 5. pp. 110-115.
6. Glushhenko A.I. Starooskol`skij texnologicheskij institut im. A.A. Ugarova (filial) FGAOU VO NITU «MISiS», (Stary`j Oskol). 2018. №72. pp. 52-107.
7. Korolev D.O., Masanov D.V., Ry`zhkova E.A. Materialy` dokladov vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii im. Ya.V. Mil`mana. Materialy` dokladov. Moskva, 2024. pp. 203-210.
8. Kuznetsov B.I., Nikitina T.B., Bovdui I.V., Voloshko O.V., Kolomiets V.V., Kobyljanskyi B.B. Electircal engineering & electromechanics. 2022. № 4. pp. 12-20.
9. Zeynalabdiyeva I.S. Scientific News. Series for Natural and Technology Sciences. 2021. T. 21. № 3. pp. 79-85.
10. Grigor`eva S.V., Borodyanskij I.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. №1  
URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2025/9788](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2025/9788)

**Дата поступления: 8.07.2025**

**Дата публикации: 25.08.2025**