

Применение нейронных сетей в системе управления электроприводами сушильных секций в бумагоделательной машине

А. М. Белов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

sana199706@mail.ru

М. П. Белов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

mpbelov@etu.ru

Аннотация. При изготовлении бумаги различных сортов на систему управления электроприводами воздействует большое количество как внутренних, так и внешних возмущающих воздействий, например, температура и давление в помещении, где стоит бумагоделательная машина (БДМ), давление и объем пара в сушильном цилиндре и др. В докладе рассматривается построение наблюдателя для контроля влажности бумажного полотна при сушке, а также регулирование скорости при перемещении бумажного полотна с использованием нейронных регуляторов.

Ключевые слова: система управления; нейронная сеть; электропривод; наблюдатель

1. ПРЕИМУЩЕСТВА ОТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ СУШИЛЬНЫХ СЕКЦИЙ БДМ

Роль сушильных секций в БДМ. Сушильные секции отвечают за удаление влаги из бумажного полотна после его формирования. Это один из самых энергоемких этапов производства, требующий точного контроля температуры, скорости движения полотна и других параметров. Неправильное управление может привести к дефектам бумаги (например, короблению, разрывам) и увеличению энергопотребления.

Нейронные сети и технологии искусственного интеллекта (ИИ) активно внедряются в различные отрасли промышленности, включая производство бумаги и работу бумагоделательных машин. Их применение позволяет оптимизировать процессы, повысить качество продукции и снизить затраты. Вот несколько примеров использования нейронных сетей в бумагоделательных машинах:

1. Контроль качества продукции

Нейронные сети могут анализировать данные с датчиков, установленных на бумагоделательных машинах, для мониторинга параметров бумаги, таких как толщина, плотность, влажность, гладкость и прочность.

С помощью компьютерного зрения и ИИ можно автоматически выявлять дефекты бумаги (например, разрывы, пятна, неровности) в реальном времени.

2. Оптимизация производственных процессов

Нейронные сети помогают оптимизировать настройки машины (скорость, давление, температуру) для достижения максимальной эффективности и минимизации отходов.

ИИ может прогнозировать возможные сбои в работе оборудования, что позволяет предотвращать простои и снижать затраты на ремонт.

3. Прогнозирование и планирование

Нейронные сети используются для прогнозирования спроса на продукцию, что помогает оптимизировать производственные планы и управлять запасами сырья.

ИИ может анализировать исторические данные для улучшения планирования технического обслуживания оборудования.

4. Энергосбережение

Нейронные сети помогают оптимизировать энергопотребление бумагоделательных машин, что снижает затраты на электроэнергию и уменьшает углеродный след.

5. Автоматизация управления

ИИ позволяет автоматизировать управление сложными процессами, такими как регулировка состава бумажной массы, контроль сушки и каландрирования.

Нейронные сети могут обучаться на основе данных, чтобы принимать решения в реальном времени, адаптируясь к изменяющимся условиям.

6. Анализ больших данных

Бумагоделательные машины генерируют огромные объемы данных. Нейронные сети могут анализировать эти данные для выявления скрытых закономерностей и улучшения процессов.

Конкурентоспособность за счет повышения качества продукции и снижения издержек.

Преимущества использования нейронных сетей:

- Повышение точности и стабильности производства.

- Снижение затрат на сырье и энергию.
- Уменьшение количества брака и отходов.
- Увеличение срока службы оборудования за счет прогнозирующего обслуживания.

Таким образом, нейронные сети и ИИ становятся важным инструментом для модернизации бумажной промышленности, делая производство более эффективным и экологически устойчивым.

Нейронные регуляторы в электроприводах сушильных секций бумагоделательных машин (БДМ) представляют собой современный подход к управлению сложными технологическими процессами. Они позволяют повысить точность, энергоэффективность и стабильность работы сушильных секций, что напрямую влияет на качество готовой бумаги. Рассмотрим их применение подробнее:

1. Адаптивное управление

Нейронные регуляторы могут динамически подстраивать параметры электроприводов (например, скорость вращения барабанов) в зависимости от текущих условий (влажность полотна, температура, нагрузка).

Это позволяет минимизировать отклонения от заданных параметров и повысить стабильность процесса.

2. Оптимизация энергопотребления

Нейронные сети анализируют данные с датчиков и оптимизируют работу электроприводов, снижая энергопотребление без ущерба для качества продукции.

Например, они могут регулировать скорость сушки в зависимости от влажности полотна, избегая избыточного нагрева.

3. Прогнозирование и предотвращение сбоев

Нейронные регуляторы способны прогнозировать возможные сбои в работе сушильных секций (например, перегрев, разрыв полотна) и заранее корректировать параметры электроприводов.

Это снижает риск простоев и повышает надежность оборудования.

4. Управление в нестационарных условиях

Процесс сушки бумаги часто сопровождается изменяющимися условиями (например, колебаниями влажности сырья или температуры окружающей среды). Нейронные регуляторы способны адаптироваться к таким изменениям, обеспечивая стабильное качество продукции.

5. Интеграция с другими системами

Нейронные регуляторы могут быть интегрированы с системами управления другими секциями БДМ (например, прессовой или каландровой), что позволяет оптимизировать весь процесс производства.

Преимущества нейронных регуляторов в сушильных секциях:

Повышение точности управления: снижение отклонений параметров сушки от заданных значений.

Энергоэффективность: снижение затрат на электроэнергию и тепло.

Снижение брака: минимизация дефектов бумаги, связанных с неправильной сушкой.

Адаптивность: возможность работы в изменяющихся условиях.

Увеличение срока службы оборудования: за счет предотвращения перегрузок и перегревов.

II. Коротко о технологии сушки бумажного полотна в БДМ

Система управления процессом сушки бумаги является сложной из-за большого количества контролируемых переменных и каскадной структуры. Контролируемыми переменными являются: скорость перемещения бумажного полотна, давление пара, уровень влажности, толщина бумаги, дифференциальное давление в группах пара и др. В сушильной части машины применяются устройства коррекции профиля влажности полотна [1–3].

Сушка бумаги происходит в результате контакта с поверхностью цилиндров, которые обогреваются изнутри паром давлением 0,2–0,5 Мпа и температурой 120–145 °С. Поверхность цилиндра имеет температуру на 15–20 °С ниже, чем пар внутри него.

Сушка полотна осуществляется не только на цилиндрах, но и в промежутках между ними (конвективная сушка). При конвективном цикле вода испаряется с обеих сторон полотна.

Основными факторами процесса сушки бумаги являются: давление поступающего пара; температура поверхности сушильных цилиндров; скорость бумажной машины; свойства окружающего воздуха и система вентиляции; чистота внутренних и наружных стенок сушильного цилиндра; наличие воздуха и конденсата в цилиндрах; начальная влажность бумаги; натяжение сушильных сеток и их состояние; композиция бумаги и степень помола бумажной массы.

Проведенный анализ технологии сушки бумажного полотна в сушильных секциях БДМ показал, что для качественной сушки необходимо управлять скоростью и соотношением скоростей между сушильными секциями. Регулирование скоростью электроприводов, также позволяет оптимизировать процесс их энергопотребления.

Поэтому кратко рассмотрим основные способы управления скоростью в таких машинах.

III. О СПОСОБАХ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ СУШИЛЬНЫХ СЕКЦИЙ БДМ

Для регулирования скорости электроприводов в сушильных секциях используются различные методы, включая традиционные и современные подходы.

1. Скалярное управление (U/f)

Принцип управления: поддержание постоянного соотношения между напряжением и частотой питания двигателя.

Преимущества: простота реализации, низкая стоимость.

Недостатки: низкая точность, ограниченная адаптивность к изменяющимся условиям.

Применение: в устаревших или менее требовательных системах.

2. Векторное управление

Принцип управления: раздельное управление магнитным потоком и моментом двигателя, что позволяет точно регулировать скорость и момент.

Преимущества: высокая точность, быстрый отклик на изменения нагрузки.

Недостатки: сложность реализации, более высокая стоимость.

Применение: в современных БДМ для точного регулирования скорости.

3. Прямое управление моментом (DTC)

Принцип управления: прямое управление моментом и магнитным потоком без использования датчиков скорости.

Преимущества: высокая динамика, простота реализации.

Недостатки: повышенные пульсации момента.

Применение: в системах, где требуется быстрый отклик.

4. Нейронные регуляторы и адаптивное управление

Принцип управления: использование искусственных нейронных сетей для адаптивного управления скоростью в зависимости от текущих условий (влажность полотна, температура, нагрузка).

Преимущества: высокая точность, адаптивность, возможность прогнозирования и предотвращения сбоев.

Недостатки: сложность настройки и внедрения.

Применение: в современных интеллектуальных системах управления.

IV. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ СУШИЛЬНОЙ СЕКЦИИ БДМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Кроме управления скоростью электроприводов в сушильной секции БДМ, также регулируются следующие технологические параметры: 1) натяжение полотна: регулируется для предотвращения разрывов и деформаций; 2) Температура суши: влияет на скорость испарения влаги, требует согласования со скоростью движения полотна; 3) Влажность полотна: измеряется датчиками и используется для корректировки скорости.

Работа секции суши основана на принципах тепломассообмена [4, 6]:

$$\Delta\varphi = -k(\varphi - \varphi_{eq}),$$

где φ – влажность бумаги (%); $k(T, v, u)$ – коэффициент скорости суши (зависит от температуры (T), скорости

перемещения бумажного полотна по сушильным цилиндрам (v), воздушного потока (u); φ_{eq} – равновесная влажность.

При разработке СУ основным весом и влажностью полотна бумаги необходимо учитывать следующие особенности ОУ: сильные взаимосвязи между контурами регулирования основного веса и влажности; наличие больших транспортных запаздываний в прямых и перекрестных каналах ОУ, что может приводить к их неустойчивой работе; динамические характеристики контуров регулирования основного веса и влажности постоянно меняются под влиянием таких факторов как вариация характеристики обезвоживания полотна в мокрой части, износ сушильных сеток, изменение свойств воздуха в сушильной части, смены сортов выпускаемой продукции [5–7].

Анализ научных работ [4–7] показал, что для построения СУ с учетом вышеперечисленных особенностей ОУ, в настоящее время применяют робастные СУ (робастные регуляторы), упреждающую коррекцию, метод Острёма, модальные цифровые алгоритмы управления и др.

В работе предлагается для целей контроля влажности и полного веса бумаги применить наблюдатель, построенный на основе применения РНС Элмана (рис. 1).

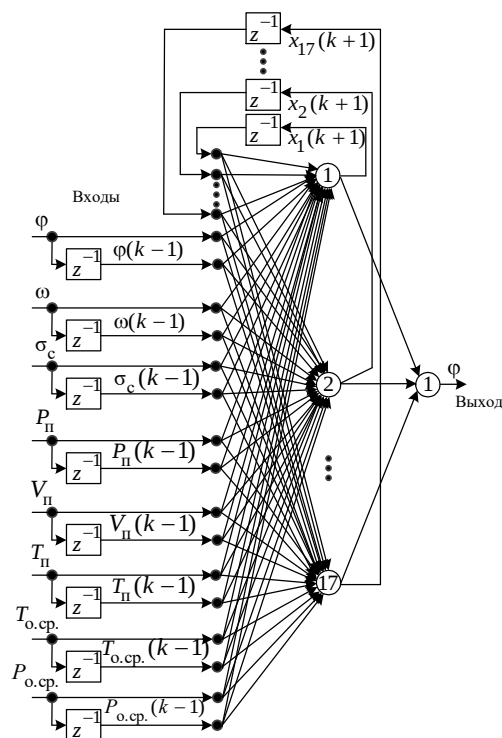


Рис. 1. Наблюдатель, построенный на основе применения РНС Элмана

При разработке наблюдателя использовались следующие параметры: влажность бумаги на входе сушильной части БДМ; поверхностная плотность бумажного полотна ρ_s (s – площадь) ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$); скорость БДМ (ω); натяжение сетки (σ_c); давление пара (P_n);

количество пара (V_{II}); температура пара (T_{II}). Выходным параметром наблюдателя является – влажность бумажного полотна (φ). В наблюдателе также учитывается действие внешних возмущающих воздействий: температура окружающей среды ($T_{o.c.p.}$); давление окружающей среды ($P_{o.c.p.}$).

На практике скорость полотна (v) часто включается в качестве фактора в эмпирические модели эффективности сушки [6, 7]:

$$k(v) = \frac{k_{0v}}{v^\alpha},$$

где α – подгоночная константа, зависящая от конструкции системы и свойств бумаги, k_{0v} – базовый коэффициент скорости сушки.

Общий коэффициент скорости сушки ($k(T, v, u)$) обычно моделируется как функция всех трех переменных [4, 6, 7]:

$$k(T, v, u) = k(T)k(u)k(v). \quad (1)$$

Таким образом, при разработке системы управления электроприводами сушильными секциями необходимо учитывать уравнение (1).

СУ электроприводами сушильной секции БДМ показана на рис. 2.

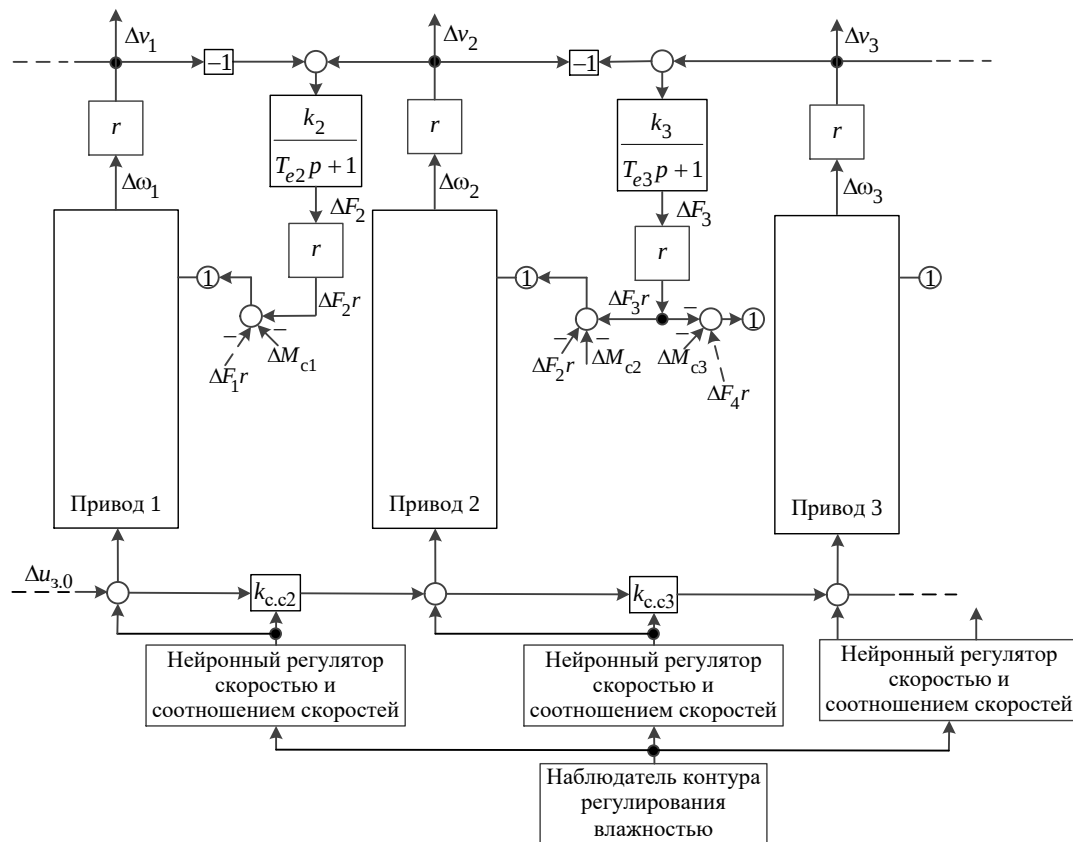


Рис. 2. СУ электроприводами сушильной секции БДМ с нейронной сетью

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдатели на основе нейронных сетей и нейронные регуляторы представляют собой мощный инструмент для повышения эффективности и надежности электроприводов в бумагоделательных машинах. Они позволяют не только улучшить контроль над процессами, но и значительно снизить риски, связанные с эксплуатацией оборудования. Внедрение таких технологий в промышленность открывает новые горизонты для оптимизации производственных процессов и повышения качества продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Штейн Ф.М., Пивоваров В.Г., Лотвинов М.Д. Регулирование профиля влажности полотна в сушильной части бумаго- и

картоноделательных машин: Обзорн. информ. М.: ВНИПИЭ Илеспром, 1986. 36 с.

- [2] Charbonneau K.E. Moisture Profile Management //TAPPI Journal. 2000. Vol. 83, № 7. July. p. 79-82.
- [3] Troubleshooting Moisture Profile Problems In The Cross-Machine Direction//TAPPI Journal. 1997. Vol. 80, № 11. November. p. 48-51.
- [4] Фляте Д.М. Свойства бумаги. М.: Лесн. промышленность, 2012. 680 с.
- [5] Александров А.В., Алашкевич Ю.Д. Оборудование ЦБП. Ч.2. Бумагоделательные машины. Санкт-Петербург: СПбГУПТД, 2018. 98 с.
- [6] Иванов С.Н. Технология бумаги. Изд-во: Инфра-Инженерия, 2022. 696 с.
- [7] Справочник по автоматизации целлюлозно-бумажных предприятий / Э.В. Цешковский, Н.С. Пиргач, Г.Д. Ерашкин и др. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1999. 368 с.