

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«МИРЭА – Российский технологический университет»**

**РТУ МИРЭА**

Институт (филиал) ИКБСП направление 12.04.01 \_\_

Кафедра КБ-6 «Приборы и информационно-измерительные системы»

Дисциплина Правовые основы изобретательства

**Реферат по теме:**

«Разработка нейросети для интеллектуального датчика влажности»

Студент М.А. Троянов

подпись, дата инициалы и фамилия

Группа\_ БПМО-01-20 шифр 20Б0151

Работа защищена \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Руководитель работы \_\_\_\_\_\_\_ А.К. Куликов

подпись, дата инициалы и фамилия

МОСКВА 2022 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc94200495)

[1 ОБЗОР РАБОТ ПО РЕШАЕМОЙ ПРОБЛЕМЕ 4](#_Toc94200496)

[1.1 Сушильные установки 4](#_Toc94200497)

[1.2 Способы и средства измерения влажности 6](#_Toc94200498)

[1.3 Прямые способы 7](#_Toc94200499)

[1.4. Косвенные способы 10](#_Toc94200500)

[2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДАТЧИКА ВЛАЖНОСТИ 12](#_Toc94200501)

[3.1 Аналитическая модель определения влагосодержания материала 12](#_Toc94200502)

[3.2 Определение меры доверия к качеству материала 18](#_Toc94200503)

[Вывод 24](#_Toc94200504)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 25](#_Toc94200505)

[ПРИЛОЕЖИНИЕ А 26](#_Toc94200506)

ВВЕДЕНИЕ

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

3

Разраб.

Троянов М.А

Провер.

Куликов А,К,

Н. Контр.

Зав.каф.

*Разработка нейросети для интеллектуального датчика влажности*

Лит.

Листов

19

ИКБСП

БПМО-01-20

В настоящее время к синтетическим красителям предъявляются достаточно жесткие требования по качественным показателям это: высокая и стабильная концентрация целевого вещества, однородность дисперсного состава, чистота, цветность, термическая стойкость и светостойкость.

При производстве красителя большое влияние на качественные показатели оказывает стадия сушки красителя. На каждой стадии возможны изменения физических и химических свойств и химического строения вещества. Выбор режима сушильных установок является проблемой, потому что кинетика процесса сушки материалов изучена не в полной мере.

Данные параметры влияют на длительность процесса сушки и на качество материала. Задача создать условия использования такого режима сушки, чтобы при минимальных затратах времени и тепла получились наилучшие технологические свойства материала.

Целью данной работы являлось описание работы ПО для интеллектуального датчика влажности.

# 1 ОБЗОР РАБОТ ПО РЕШАЕМОЙ ПРОБЛЕМЕ

## **1.1 Сушильные установки**

Сушка широко распространенный энергоемкий процесс в химической промышленности, в частности в производстве полимерных материалов, минеральных удобрений, солей, органических веществ, синтетических красителей, химических волокон, тканей и др. Во многих случаях сушка является одной из важнейших операций, определяющих не только качество продукции, но и технико-экономические показатели производства в целом.

В химической промышленности, где технологические процессы протекают в основном в жидкой фазе, конечные продукты имеют вид либо паст, либо зерен, крошки, пыли. Это обуславливает выбор соответствующих методов сушки и сушильных установок.

Наиболее широко распространены в химической промышленности конвективный и контактный методы сушки. При конвективной сушке тепло передается от теплоносителя к поверхности высушиваемого материала. В качестве теплоносителей используют воздух, инертные и дымовые газы. [1] Конвективная сушка материалов в слое имеет ряд неоспоримых преимуществ:

1) осуществление более "мягких" условий ведения процесса;

2) значительно меньшее количество энергии, приходящееся на единицу продукта;

3) возможность создания оптимального временного профиля сушки. При контактной сушке тепло высушиваемому материалу передается через обогреваемую перегородку, соприкасающуюся с материалом. Несколько реже применяют радиационную сушку (инфракрасными лучами) и сушку электрическим током (высокой или промышленной частоты).

Применяемые в химической промышленности виды сушилок можно классифицировать по технологическим признакам: давлению (атмосферные и вакуумные), периодичности процесса, способу подвода тепла (конвективные, контактные, радиационные, с нагревом токами высокой частоты), роду сушильного агента (воздушные, газовые, сушилки на перегретом паре), направлениям движения материала и сушильного агента (прямоточные и противоточные), способу обслуживания, схеме циркуляции сушильного агента, тепловой схеме и т. д.

При сушке пастообразных материалов часто используют сушилки вальце-ленточного типа (СВЛ), которые представляют собой коридор, разделенный на секции (рисунок 1.1), в котором размещены продуктовый пластинча­тый (1) и скребковый (2) конвейеры.

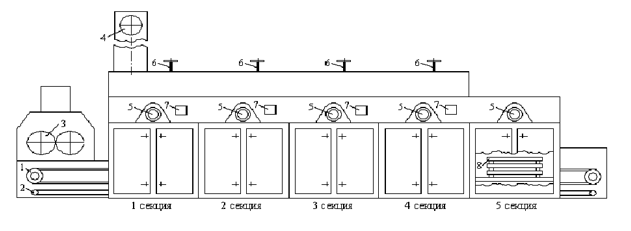


Рисунок 1.1 – Сушильная установка вальце-ленточного типа

(пятисекционная)

1 – продуктовый транспортер, 2 – скребковый транспортер,

3 – формовочные вальцы, 4 – вытяжной вентилятор,

5 – рециркуляционные вентиляторы, 6 – сбросные шибера,

7 – воздухозаборные окна, 8 – паровые калориферы.

Материал и сушильный агент (сушильным агентом является нагретый воздух) движутся в коридоре противоточно, а в каждой камере обеспечивается перекрестный ток за счет рециркуляционных вентиляторов (5). В каждой секции обеспечивается подогрев воздуха в паровом калорифере (8). Формовочные вальцы (3) отвечают за измельчение материала, подаваемого на продуктовый транспортер. При помощи воздухозаборных окон (7) регулируется приток сушильного агента в камеры СВЛ, а сбросные шибера (6) и вытяжной вентилятор (4) отвечают за отвод влажного воздуха из камер.

СВЛ как объекты управления представляют собой многомерные (MIMO) системы с распределенными параметрами, которые обладают следующими особенностями: необходимость регулирования влажности материала по косвенным параметрам; наличие нескольких независимых управляющих воздействий и типов энергоносителей (например, электрическая энергия и пар); сложность критерия оптимальности, который помимо минимизации затрат энергоресурсов должен обеспечивать требуемое качество конечного продукта и производительность сушильной установки.

На практике задачи повышения эффективности процессов сушки решаются в двух направлениях[1]:

1) разработка принципиально новых способов сушки, а также соответствующих конструкций аппаратов;

2) совершенствование существующих способов сушки за счет автоматизации и оптимизации процессов, внедрения современных систем оптимального управления.

## **1.2 Способы и средства измерения влажности**

Методы измерения влажности делятся на прямые и косвенные.

В измерителях влажности, которые применяют методы прямого измерения, материал разделяется на сухую и влажную составляющие. Во влагомерах, использующих косвенные методы, измеряется значение, которое функционально связано с содержанием влаги в материале.

Косвенные методы для использования требуют настройки (калибровки), чтобы установить связь между количеством влаги в объекте и измеренным значением

1.3 Прямые способы

Принцип работы измерителей влажности базирующихся на прямом способе измерения заключается в непрерывном определении массы пробы при высушивании. В этих приборах сушку заканчивают, если два последовательных взвешивания исследуемого образца дают одинаковые или весьма близкие результаты. Так как скорость сушки постепенно уменьшается, предполагается, что при этом удаляется почти вся влага, содержащаяся в образце.

Далее измеритель влажности сравнением массы пробы до и после высушивания определяет значение массовой доли влаги (или массы сухого вещества) в пробе. Длительность измерения этим способом составляет обычно от 0,5 часа до нескольких часов. В ускоренных вариантах, сушка ведется в течение определенного, значительно более короткого промежутка времени при повышенной температуре.

Обычно подобные измерители влажности выполняют в виде настольного прибора, состоящего из весового устройства, камеры галогенного или инфракрасного высушивания и электронного блока управления для регистрации и обработки результатов измерений.

Измерению влажности подобными приборами твердых и сыпучих материалов высушиванием присущи следующие методические погрешности приведенные в таблице 1:

Таблица 1 – Методические погрешности

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Процесс | Во время сушки | Прекращение сушки | Удаление связанной влаги | Сушка особых материалов |
| 1 | Потеря абсорбирующей  влаги | Не полное удаление  влаги | Разрушение коллоидных частиц | Образуется водостойкая корка мешающая |

Продолжение таблицы 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 |  |  | Невозможно достичь сушилкой | удалению влаги |
| 2 | Испарение летучих соединений | Равновесие между двумя давлениями водяного пара в материале и воздухе | — | — |
| 3 | Окисление | — | — | — |

Измерители влажности, реализующие прямой способ измерений, являются самими точными, а при измерениях остаточной влажности (менее 1%) им нет альтернативы. К недостаткам следует отнести их дороговизну, высокое время измерений и, самое главное, этот способ является разрушающим (например, чтобы измерить влажность деревянного изделия из него необходимо вырезать образец для измерений). Для примера рассмотрим измеритель влажности MA-45 германской фирмы Sartorius, который предназначен для измерения влажности твердых монолитных, листовых, сыпучих, пастообразных материалов, водных суспензий и неводных жидкостей.



Рисунок 1.2 - Измеритель влажности MA-45

Прибор объединяет себе три устрой­ства: взвешивающую систему, инфракрасный керамический излучатель с гомогенным тепловыделением и микропроцессор; принцип действия анализатора основан на высушивании образца (объекта измерений) инфракрасным излучением до постоянного веса с одновременным автоматическим взвешиванием и обеспечивает расчет и индикацию текущего значения массы или влажности.

В приборе имеется возможность выбора одного из трех вариантов окончания сушки:

* до постоянного веса (автоматический режим);
* окончание сушки при изменении массы от 1 до 20 мг за 24 секунды (полуавтоматический режим);
* по окончании заданного времени от 0,1 до 99 минут.

Основные технические характеристики:

|  |  |
| --- | --- |
| * диапазон измерений влажности от 0,05 до 99,95%; |  |
| * цена наименьшего разряда 0,001 в единицах массы; |  |
| * цена наименьшего разряда 0,01% в единицах влажности; |  |
| * максимальная масса пробы 45г; |  |
| * диапазон устанавливаемых температур сушки от 40 до 230 ºC; |  |
| * дискретность установки температуры сушки 1ºC; |  |
| * габаритные размеры: 213x320x181; |  |
| * масса 5,2 кг.; |  |
| * потребляемая мощность не более 700 В∙А; |  |
| * встроенный интерфейс RS232. |  |

Использование МА 45 в несколько раз сокращает продолжительность анализа, повышает оперативность измерения влажности при взаиморасчетах и контроле технологического процесса без потери точности при этом среднее время проведения анализа составляет от 5 до 10 минут.

1.4. Косвенные способы

Распространенным и дешевым вариантом, которые реализуют косвенные способы измерения влажности, являются кондуктометрические (или резистивные). Измерители влажности проводимости основаны на измерении электрической проводимости материала. Влагосодержащие материалы, будучи сухими диэлектриками, становятся проводящими в результате смачивания. Удельное сопротивление влажных материалов варьируется в зависимости от содержания влаги в чрезвычайно широком диапазоне и составляет 9-12 порядков.

Такой широкий диапазон может отрицательно повлиять на точность этих измерителей, особенно кондуктометрическим измерителям влажности особенно трудно контролировать материалы при низкой влажности, когда электрическое сопротивление очень велико и мешающие факторы вносят в него большую погрешность. Итак, наиболее распространенным контрольным материалом для игольчатых влагомеров является древесина. В диапазоне 5 ... 15%, что наиболее важно для управления, его электрическое сопротивление превышает 100 МОм.

На основе точных измерений сопротивлений получение точного значения влажности с учетом влияния на электропроводность структуры материала, формы пор, размера, распределения влаги, наличие поверхностной влаги и любых загрязнений на измеряемом материале.

Принцип действия диэлектрических измерителей влажности основан на зависимости диэлектрической проницаемости материала от его влажности (поскольку диэлектрическая проницаемость воды во много раз выше, чем у большинства материалов, способных поглощать влагу, диэлектрическая проницаемость влажного материала дает достоверную информацию о его влажности). Таким образом, измеряется емкость датчика, заполненного испытуемым материалом (для сыпучих материалов), или емкость датчика, размещенного на измеряемой поверхности (для твердых материалов). Измеренная емкость является функцией диэлектрической проницаемости и, соответственно, влажности контролируемого материала. Эти датчики состоят из специальной пленки с напыленным с обеих сторон слоем золота [3]. Таким образом, пленка служит диэлектриком плоского конденсатора. Используя соответствующую измерительную цепь, это изменение емкости можно преобразовать в постоянное напряжение. В зависимости от применяемых материалов в производстве датчиков они обладают своими достоинствами и недостатками. Используемые материалы влияют на точность измерения, стабильность работы, условия эксплуатации, на время преобразования.

# 2 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДАТЧИКА ВЛАЖНОСТИ

## **3.1 Аналитическая модель определения влагосодержания материала**

Для создания продукта нужного уровня качества вводятся некоторые ограничения:

* ограничения качества
* изменение влагосодержания материала на выходе лимитирующих секций
* ограничение на конечное влагосодержание материала

В таких рамках получение модели, для решения технической задачи управления процессами сушки.

Исходя из особенностей СВЛ, для организации непосредственного измерения влагосодержания материала в секциях, требуются большие финансовые затраты для закупки дорогостоящих анализаторов, обеспечивающих требуемую точностью, работающих в реальном времени.

Для решения данной проблемы предлагается использование искусственных нейронных сетей для создания модели которая будет являться подходящей для решения задач связанными управления процессами сушки в СВЛ.

Искусственная нейронная сеть - это сеть с конечным числом слоев из однотипных элементов - нейронов с различными типамисвязей между слоями [2]. При этом число нейронов в слоях выбирается исходя из не­обходимости обеспечения заданного качества решения задачи, а число слоев нейронов - как можно меньшее для сокращения времени решения задачи. Таким образом, будучи построенной из очень большого числа простых элементов искусственная нейронная сеть способна решать чрезвычайно сложные задачи.

Для получения нейронных сетей НС1 и НС2, рассчитывающих влагосодержание материала в камерах №2 и №3 соответственно, необходимо выполнить следующие этапы [2]:

1) сбор экспериментальных данных (значения компонентов векторов () для обучения нейронных сетей НС1 и НС2.

Набор данных для обучения должен удовлетворять нескольким критериям:

* репрезентативность – данные должны иллюстрировать истинное положение вещей в предметной области;
* непротиворечивость – противоречивые данные в обучающей выборке приведут к плохому качеству сети;
* объем – число записей в выборке должно быть достаточно большим, чтобы сеть смогла выполнить обобщение.
  1. подготовка обучающей выборки и тестовой - , а также приведение данных к нужной нормальной форме

Данные мы приводим до такой нормальной формы( от 0 до 9 ) в котором наша искусственная нейронная сеть сможет их обработать, затем данные делятся на части:

* выбора для обучения
* тесты

Разделение на множества(группы) может быть случайным. Привод к нужной нормальной форме выполняется, когда на входы подаются данные разной размерности. При нормировании размерности всех входных и выходных данных сводятся в один диапазон [2].

3) выбор топологий нейронных сетей.

Выбирать тип сети следует исходя из постановки задачи и имеющихся данных для обучения. В нашем случае экспертная оценка уже содержится в исходных данных и может быть выделена при их обработке. Поэтому для получения модели определения влагосодержания в секциях сушильной установки будем использовать многослойный персептрон. обучение нейронных сетей при помощи выборки экспериментальных данных ;

В процессе обучения сеть в определенном порядке просматривает обучающую выборку (см. приложение. исх. данные). Порядок просмотра может быть последовательным, случайным и т.д. При обучении с учителем, сеть просматривает выборку множество раз, при этом один проход по выборке называется эпохой обучения.

* проверка результатов обучения с помощью тестовой выборки данных .

Нормализация входных данных производится по формуле [2]:

, (2.1)

где – число входов нейронной сети (в нашем случае нейронные сети для определения влагосодержания во второй и третьей секциях имеют 10 и 9 входов соответственно); - -й нормированный и не нормированный входы нейронной сети соответственно; – амплитудный и офсетный коэффициенты нормализации.

Каждый синапс имеет вес, который определяет, насколько соответствующий вход нейрона влияет на его состояние. Состояние нейрона определяется по формуле []:

(2.2)

где число нейронов промежуточного слоя сети; – вес -го синапса – - го нейрона промежуточного слоя (см. приложение, параметры моделей);

 , (2.3)

Значение выхода нейрона определяется по формуле:

(2.4)

где - некоторая функция, которая называется активационной. В нашем случае в качестве активационной функции используется сигмоид, который имеет следующий вид:

(2.5)

где – параметры сигмоидальной активационной функции нейрона – угол наклона и сдвиг соответственно.

На рис. 2.5 представлены графики сигмоидальных функций для различных значений . При малых величинах график функции достаточно пологий (представляя собой прямую на уровне 0,5 при ), по мере роста значения крутизна графика увеличивается. При сигмоидальная функция представляет собой функцию ступенчатого типа.



Рис. 2.1. График сигмоидальной функции при различных значениях

Выходной сигнал нейронной сети денормализуется по формуле []:

(2.6)

где – амплитудный и офсетный коэффициенты денормализации.

Важнейшая особенность сети, свидетельствующая о возможности ее использования в виртуальном датчике влагосодержания, состоит в параллельной обработке информации всеми звеньями. При громадном количестве межнейронных связей это позволяет значительно ускорить процесс обработки информации, а также сеть приобретает устойчивость к ошибкам, возникающим на некоторых линиях, функции поврежденных связей берут на себя исправные линии, в результате чего деятельность сети не претерпевает существенных возмущений. Одно из важнейших особенности сети – это способность к обучению и структурированию данных. Натренированная на массиве данных сеть способна структурировать полученную информацию и показывать отличные результаты на данных из выборки что не использовавшихся в процессе обучения.

Полученные с помощью нейронных сетей аналитические модели можно записать следующим образом

 (2.7)

 (2.8)

где - выходные переменные модели определения влагосодержания материала;  - параметры модели.

Аналитические модели (2.7), (2.8) построены на основе нейронных сетей обратного распространения ошибки, каждая содержит в себе 3 слоя – входной, скрытый и выходной. В массив параметров модели входят: - весовые коэффициенты связей нейронов скрытого и выходного слоев нейронной сети НС1, - число нейронов в скрытом слое сети НС1, (в нашем случае ); - весовые коэффициенты связей нейронов скрытого и выходного слоев нейронной сети НС1, - число нейронов в скрытом слое сети НС2, (в нашем случае ); - углы наклона и сдвиги сигмоидальных активационных функций нейронов скрытого и выходного слоев нейронной сети НС1; - углы наклона и сдвиги сигмоидальных активационных функций нейронов скрытого и выходного слоев нейронной сети НС2.

Для определения адекватности полученных моделей на рис. 2.6, 2.7 показаны зависимости влагосодержания рассчитанного по модели и от определенного экспериментально и для второй и третьей секций сушилки соответственно в виде корреляционных диаграмм.



Рис. 2.2. Корреляционная диаграмма влагосодержания материала во второй секции сушилки



Рис. 2.3. Корреляционная диаграмма влагосодержания материала в третьей секции сушилки

Относительная погрешность определения влагосодержания с использованием полученных моделей (2.7), (2.8) не превышает 2%.

Анализ аналитической модели для пятой секции сушильной установки показал ее недостаточную точность вследствие малого значения влагосодержания материала . Поэтому целесообразно использовать итерационную процедуру определения меры доверия к достижению требуемого влагосодержания материала на выходе сушильной установки в зависимости от значений влагосодержания материала во второй и третьей секциях СВЛ.

## **3.2 Определение меры доверия к качеству материала**

Определение меры доверия к требуемому влагосодержанию материала на выходе сушилки предлагается осуществлять по методу Демпстера-Шафера, на основе полученных значений влагосодержания во второй и третьей секциях , используя накопленный опыт экспертов в виде числовых оценок.

В основе метода Демпстера-Шафера лежат две идеи [2]:

– первая - возможность получения степени доверия для решаемой задачи из субъективных свидетельств о связанных с ней проблемах (в нашем случае будут использоваться различные оценки экспертов в зависимости от значений влагосодержания во второй и третьей секциях СВЛ);

– вторая - использование правила объединения свидетельств, если они основаны на независимых высказываниях.

Функция вероятности приписывается каждому подмножеству таким образом, чтобы сумма (полная вероятность) или мера доверия равнялась 1, а вероятность, приписываемая пустому множеству, есть 0, т.е. [1]. Такое базовое приписывание вероятностей предполагает, что меры доверия заключены в интервале от нуля до единицы.

Свидетельства в виде подмножеств и комбинируются по правилу Демпстера [ ]

(2.9)

(2.10)

где – константа нормализации.

Если , то ортогональная сумма (2.9) не существует, и меры и называют полностью взаимоисключающими.

Для двух свидетельств и , где – подмножество гипотез, базирующихся на значении влагосодержания материала на выходе второй секции сушилки, – подмножество гипотез, основанных на значении влагосодержания на выходе третьей секции СВЛ, определяется новая вера в подмножество гипотез , т.е. , которое поддерживается значениями влагосодержания материала на выходе второй и третьей секций сушильной установки, определяется как сумма произведений мер, приписанных подмножествам и , пересечение которых есть , деленное на фактор нормализации, равный 1 минус сумма произведений мер подмножеств и , пересечение которых есть пустое множество, т.е.

(2.11)

В нашем случае высказывания экспертов представляют собой следующее.

Влагосодержание материала в каждой лимитирующей секции (вторая и третья) разбито на 3 диапазона. По каждому диапазону эксперты высказывались по следующим четырем пунктам:

* мера доверия к тому, что процесс сушки завершится хорошо , т.е. на выходе мы получим материал с влагосодержанием не более 0,5%, ;
* мера доверия к тому, что процесс сушки завершится удовлетворительно , т.е. на выходе мы получим материал с влагосодержанием от 0,5% до 1%, ;
* мера доверия к тому, что процесс сушки завершится плохо , т.е. на выходе мы получим материал с влагосодержанием более 1%, ;
* мера доверия к остальным возможным ситуациям .

Численные значения по каждой секции представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Оценки профессионалов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Диапазон влажности, % | Сушка завершится хорошо | Сушка завершится удовлетворительно | Сушка завершится плохо | Остальные возможные ситуации | |
| Секция №2 | | | | | |
| < 40 | 0,65 | 0,27 | 0,07 | 0,01 | |
| от 40 до 50 | 0,4 | 0,43 | 0,15 | 0,02 | |
| >50 | 0,15 | 0,32 | 0,5 | 0,03 | |
| Секция №3 | | | | | |
| < 14 | 0,85 | 0,1 | 0,04 | | 0,01 |
| от 14 до 18 | 0,3 | 0,54 | 0,14 | | 0,02 |
| >18 | 0,05 | 0,22 | 0,7 | | 0,03 |

Для примера рассмотрим случай когда, влагосодержание материала во второй секции 41%, а в третьей 8,7%. Тогда в расчете меры доверия к требуемой влажности материала на выходе сушильной установки будут участвовать следующие свидетельства

и

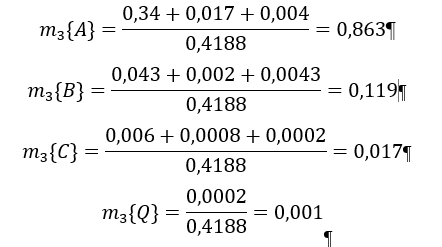
Объединение свидетельств  и  по второй и третьей секциям без учета коэффициента нормализации приведено в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Объединение свидетельств **** и ****

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

Так как знаменатель в формуле (2.10) равен

то меры доверия, полученные по результатам объединения двух свидетельств, имеют следующие значения:



Получили следующие результаты:

* мера доверия тому, что процесс сушки завершится хорошо - 0,863;
* мера доверия тому, что процесс сушки завершится удовлетворительно - 0,119;
* мера доверия тому, что процесс сушки завершится плохо - 0,017;
* мера доверия к возникновению остальных возможных ситуаций - 0,001.

Достоверность получаемых по методу Демпстера – Шафера данных, подтверждается приведенной на рис. 2.8 зависимостью меры доверия к требуемому конечному влагосодеожанию материала от экспериментально измеренного влагосоднржания на выходе сушильной установки.

(2.11)

где - алгоритм метода Демпстера-Шафера.

Полученная процедурно-аналитическая модель определения влагосодержания (2.7) – (2.9) позволяет определять влагосодержание материала в лимитирующих секциях в зависимости от значений управляющих и возмущающих воздействий и рассчитывать меру доверия к требуемой влажности на выходе сушилки. А также, модель учитывает следующие основные параметры процесса: влагосодержание материала на входе в сушильную установку(начальное влагосодержание); температуру и влажность окружающего воздуха; температуру и влажность сушильного агента во второй и третьей секциях СВЛ; положение ворошителя на входе второй секции; скорость движения ленты транспортера; положение воздухозаборных окон и сбросных шиберов второй и третьей секций; время работы вытяжного вентилятора.





Рис. 2.8. Зависимость меры доверия от влагосодержания материала

Вывод

В данной работе было изучена предметная область методов сушки в следствии чего мы пришли к выводу что «Интеллектуальный датчик влажности» для информационной системы, управляющей процессами сушки пастообразных материалов, должен для определения влажности использовать алгоритм нейронной сети.

Так же мы изучили метод Демпстера-Шафера который позволит нам узнать влажность материала в 4 и 5 камере сушильных установок.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Измерители влажности. Классификация по методам измерений. / [интернет-ресурс] http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004239000/rsl01004239604/rsl01004239604.pdf. ( дата обращения 02.05.2020).

2. Нейронная сеть [интернет-ресурс] <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/osnovy-nejronnyh-setej-algoritmy-obuchaenie-funkcii-aktivacii-i-poteri/> (дата обращения 02.05.20)

3. Группа EKATO – лидер на рынке технологий перемешивания [интернет-ресурс] https://www.ekato.com/ru/ (дата обращения 05.05.20)

4. Labotek сушка пластиковых материалов [интернет-ресурс] https://www.ekato.com/ru/ (дата обращения 05.05.20)

5. Сушильное оборудование Conair [интернет-ресурс] https://www.conairgroup.com/products/drying/ (дата обращения 05.05.20)

6. Артемова С.В., Артемов А.А., Каменская М.А. Методология проектирования интеллектуальной информационно-управляющей системы тепло-технологическими аппаратами. ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017

ПРИЛОЕЖИНИЕ А

В отдельном exel файле