

УПРАВЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ТРАВЛЬНОГО РАСТВОРА НЕПРЕРЫВНОГО ТРАВЛЬНОГО АГРЕГАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ LR-ИНТЕРВАЛОВ

Постановка проблемы. Пространственно-распределенные системы характеризуются пространственным или территориальным распределением, большим числом элементов, формирующих систему; иерархической структурой объекта управления и управляющей системы; наличием субъекта в контуре управления; сложностью математических моделей объектов и описания протекающих процессов в различных элементах системы; противоречивыми целями управления, влиянием на процессы случайных сложно-формализуемых факторов, а часто и невозможностью точных измерений параметров, что позволяет выделить их в отдельный класс систем.

К объектам пространственно-распределенных систем относятся и металлургические комплексы. Эти комплексы, их подсистемы, технологические процессы (ТП), происходящие в них, требуют применения средств достоверного, простого и наглядного отображения их состояния, всех их особенностей и свойств, что привело к необходимости последующего развития теории нечетких систем и практики моделирования, анализа и оценивания технического состояния таких процессов и объектов. Нечеткие системы основаны на правилах продукционного типа, но их преимуществом является то, что качестве посылок и заключения в правиле используются лингвистические переменные, что позволяет избежать ограничений, присущих классическим продукционным правилам.

Классическим примером является непрерывный травильный агрегат (НТА) сернокислотного травления углеродистого стального полосового проката на ММК им.Ильича. Разнообразие явлений, происходящих при окислении металлов при нагревании их в воздухе или в иной окислительной среде, отсутствие исчерпывающей теории механизма этого процесса, сложная взаимосвязь элементов НТА, переменных в функциях, описывающих поведение реагентов в системе, затрудняет формирование управляющих воздействий для поддержания необходимой концентрации раствора.

Целью статьи является разработка формализованного описания процесса принятия решений по изменению v – концентрации травильного раствора (КТР) при поддержании параметров системы в оптимальной области и минимизации расхода реагентов с использованием нечеткой логики.

ТП при соответствующей декомпозиции может быть разбит на логико-аналитические, расчетные и поисковые задачи.

Расчетные задачи, в нашем случае, могут быть сведены к решению типичной MRP-II (Manufacturing Resource Planning) задаче поддержания запаса КТР, потребляемого со скоростью U и пополняемого со скоростью V , с обязательным для реального процесса условием $V - U \geq 0$, где $v(t)H_2SO_4$ представляет собой функцию времени, описываемую предложенным в [1] уравнением, модифицированным к нашей задаче. Уравнение (1) всегда имеет одно единственное решение, причем повышение точности решения требует уменьшения Δt периода измерения концентрации кислоты (частоты пополнения запаса) и ведет к локальной асимптотической устойчивости динамической системы химических реагентов. Данная методика привела к предложению о минимизации запаса v до уровня a' , что и рекомендовано в [2] для данного класса задач. Также для ТП [3] была определена нижняя граница $v = b'$.

Поисковые задачи сводятся к реализации процедуры поиска информации о максимально близких по заданным метрикам технологических ситуаций в базах знаний и данных автоматизированной системы управления ТП.

Формализацию логико-аналитических задач процесса управления КТР будем осуществлять за счет интерпретации соответствующих текущих условий. При этом процесс интерпретации сведем к решению задачи распознавания в ее расширенном понимании. Суть такого распознавания заключается в отнесении распознаваемых событий к некоторому классу эталонных событий соответствующего алфавита, сформированного на этапе формального описания этого алфавита, и последующего определения количественных и качественных характеристик этих событий результатами измерений.

Комплекс, состоит из 4-х аналогичных по течению процессов ванн, наполненных растворами различной концентрации H_2SO_4 и постоянно подогреваемыми до определенных температур и пополняемыми травильным раствором, который движется противотоком навстречу сматываемой в конце агрегата стальной полосе.

Процесс травления листовой стали заключается в разрушении слоя окалина на поверхности листа в процессе происходящих химических реакций травильного раствора с оксидами железа, формирующими

слой окалины. Для травления листовой углеродистой стали на непрерывных травильных линиях (НТЛ) применяют растворы соляной или серной кислот. Подробно механизм взаимодействия травильного раствора с окалиной описан в [4].

Скорость травления зависит от двух групп технологических параметров: к первым относят характеристики стали, состав и структуру окалины, зависящих от процессов предшествующих травлению. Ко вторым относят температуру травильного раствора, его концентрацию и время пребывания проката в нем.

Благодаря внедренному автоматизированному комплексу технических средств, слабоуправляемые изменения переменной t р-ра были достигнуты в пределах Δt р-ра = $\pm 0,5^\circ\text{C}$, и влияние переменной t р-ра стало несущественно для ТП [5], изменение $M(\text{H}_2\text{O})$ стало управляемо технически. Таким образом, связав максимально возможное на практике количество свободных переменных, функцию скорости травления без потери информативной корректности системы, приняли:

$$v = f(M(\text{H}_2\text{SO}_4), M(\text{FeSO}_4)), \quad (1)$$

где M – массы реагентов в системе.

Незначительная толщина, хрупкость и высокая твердость составных частей окалины и прочное сцепление слоев сильно затрудняют исследование окалины. Количество и состав окалины, изменяются в зависимости от локализации по поверхности всей длины рулона, условий и времени его рулонирования и остывания является следующим фактором неопределенности ТП. Ниже приведено краткое описание результатов многочисленных исследований процесса окисления [4].

В диапазоне температур 250–350 °С в зависимости от времени нагрева пленка, состоящая из окиси железа, толщина пленки становится соизмеримой с длинами волн видимых цветов спектра, поэтому эту стадию окисления определяют как стадию образования цветов побежалости – каждому из них соответствует своя температура образования при охлаждении и толщина пленки [5].

При остывании от 200 °С до комнатной температуры железо всегда покрыто окисной пленкой, которая по достижении малой толщины значительно тормозит дальнейшее окисление и даже полностью его прекращает. Необходимо учитывать, что цвет пленки будет сохраняться при увеличении толщины ее в 2 и 3 раза по сравнению с указанными выше значениями.

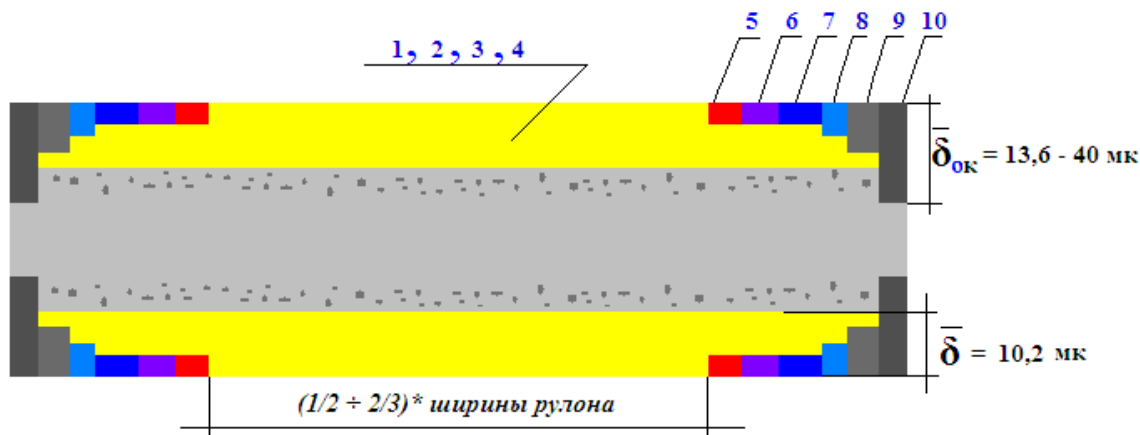


Рисунок 1 – Схема размещения окалины на горячекатаной полосе (срез)

Нумерация позиций на рис. 1 соответствует значениям n в таблице 1

Пограничный слой «железо-окалина», из которого уходят ионы железа, становится пористым, и контакт между слоями становится не сплошным, что собственно и делает возможным процесс травления. Навстречу железу внутрь окалины диффундируют атомы кислорода, которые образуют на границе с железом слои вюстита. Небольшое количество кислорода проникает в железо, образуя твердый раствор. Таким образом, окалина растет как наружу, так и внутрь от поверхности. Толщину слоя окалины и ее качественный состав, которые влияют на скорость травления, необходимо учитывать как фактор неопределенности в силу невозможности прямого измерения во время ТП, а только в стационарных условиях.

Рассмотрим процесс формализации количественных и качественных признаков, поступающих от датчиков измерений. Оценку значений количественного признака с нестохастической неопределенностью можно представить в виде лингвистической переменной [7], которая задается набором из 3-х компонент:

$$\langle Id, X, R(Y, x) \rangle,$$

где Id – имя признака <цвет>, X – множество допустимых значений признака, $R(Y, x)$ – нечеткое множество, определенное на множестве X и представляющее собой нечеткое ограничение на числовую оценку значения признака x , обусловленное лингвистической характеристикой Y .

Таким образом, формализация знаний о закономерностях проявления значений количественных признаков может быть сведена к построению нечетких LR-интервалов множества допустимых значений признаков для каждого класса алфавитов. В реальности получение выборок измерений с точностью до Å непосредственно в ТП невозможно, а текущие количественные данные с нестохастической неопределенностью могут представлять собой понятия естественного языка об интервале значений количественного признака. Поэтому, учитывая опыт эксплуатации НТА операторами (экспертами), каждому i -му терму «ЦВЕТ» ($i = 1 \div 4$ –значашие для регулирования КТР $v(t)H_2SO_4$ термы) из табл. 1 поставим в соответствие нечеткое число δ_i толщины оксидной пленки.

Всю совокупность признаков объектов (процессов) можно разделить на количественные и качественные [8]. Под количественными понимаются признаки, для которых возможно введение метрики на множестве допустимых значений, позволяющих дать количественную оценку тому или иному значению признака. Под качественными понимаются признаки, определяющие семантическое описание свойств объектов, в нашем случае это цвет обрабатываемого листа проката.

В работах [8,9] для формального описания количественных признаков обосновано использование нечетких LR – интервалов.

Таблица 1 – Значения функции принадлежности

| n | Xm = Цвет | Тобр. ,°C | Толщина оксидной пленки $\delta_n = (Dn, cn), \text{Å}$ | | $\mu_n(xm)$ |
|---|---------------------|-----------|--|----|------------------------|
| | | | Dn | cn | |
| 1 | Соломенный | 220 | 425 | 35 | 0.73 |
| 2 | Золотистый | 230 | 495 | 25 | 0.85 |
| 3 | Коричневый | 240 | 500 | 30 | 0,86 |
| 4 | Красно-коричневый | 250 | 540 | 40 | 1.00 |
| 5 | Пурпурный | 260 | 595 | 35 | не оцени- ваются |
| 6 | Фиолетовый | 260 | 660 | 35 | |
| 7 | Синий (васильковый) | 300 | 690 | 40 | |

Графическая иллюстрация структуры функции принадлежности представлена на рис. 2.

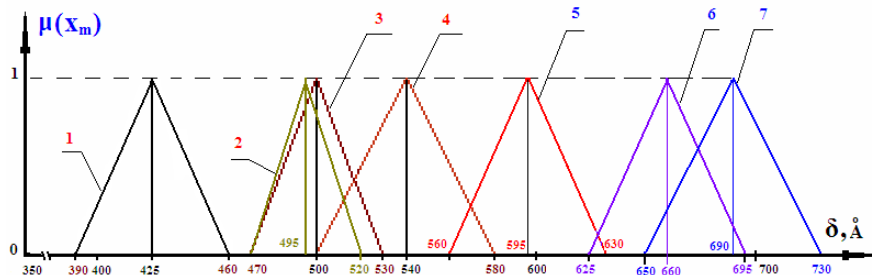


Рисунок 2 – Графическая иллюстрация к формальному представлению количественного признака толщины оксидной пленки с использованием нечетких LR-интервалов

В случаях подобных 2 и 3 (рис. 3) из-за слабой различимости классов событий необходимо либо объединять эти классы, либо увеличивать порог чувствительности эталона идентификации.

Учитывая принятый подход к определению классов событий, целесообразно ввести некоторую функцию, характеризующую информативность признаков. В качестве такой функции для количественных признаков выберем функцию принадлежности $\mu_n^r(x_m)$ с областью определения на интервале $[0,1]$ и характеризующую закономерности проявления значений признака x_m при описании n -го класса r -го алфавита событий и вариантов течения ТП [8,10] (для нас алфавит цветов один и $r = 1$)

$$\mu_n(xm) = \langle Dn-cn, Dn+cn \rangle, \tag{2}$$

где $D_n - c_n$, $D_n + c_n$ – соответственно левый и правый коэффициенты нечеткости (наименьшее и наибольшее значения признака) нечеткого LR – интервала, индексация соответствует значениям n в табл. 1.

Как видно из рис. 2 LR – интервалы вырождены до стандартных Λ – функций принадлежности (или нечетких треугольных чисел [10]). Это практически обосновано, т.к. разрешающая способность современных цифровых фотоаппаратов массового выпуска достигает 16 Мрпх на знакоместо и цветовое различие свыше 1 млн.цветов (www.nikon.com).

Аналитически функцию $\mu_n(x_m)$ можно записать в виде:

$$\mu_n(X_m) = \begin{cases} 0, & \text{если } E_m \notin D_m - d_m; \\ \frac{E_m - D_m + d_m}{d_m}, & \text{если } E_m < D_m; \\ 1, & \text{если } E_m = D_m; \\ -\frac{E_m - D_m - d_m}{d_m}, & \text{если } D_m < E_m; \\ 0, & \text{если } E_m \geq D_m + d_m, \end{cases} \quad (3)$$

где E_m – оценка значения признака X_m .

Учитывая, что задача поддержания запаса (уровня КТР) традиционно решалась по критерию MIN, мы формируем лингвистическое правило управления ЛПУ (нечеткого вывода) максимального пополнения уровня концентрации $v(t)H_2SO_4$ для решения ситуации $X_m = \text{цвет проката на входе в НТА}$:

$$v(X_m = \text{Цвет})H_2SO_4 = \text{MAX} - \text{«ИСТИННО»}. \quad (4)$$

Для упрощения примем $\mu(X_m = \text{красно-коричневый}) = 1$, т.е. зададим MAX оценку истинности высказывания $X_m = \text{красно-коричневый}$. Для чего, применяя метод весов [10], т.е. пронормировав медианы D_i по сумме $(D_4 + d_4)$, получим логическое дополнение оценки высказывания $X_m = \text{«красно-коричневый»}$ на множестве рабочих термов X_m :

$$\mu_i(X_m) = D_i * 1 / (D_4 + d_4). \quad (5)$$

Можно сформировать логическое правило управления (ЛПУ) концентрацией травильного раствора:

ЕСЛИ(Цвет = X_m) & (Концентрация раствора < необходимой для X_m),
ТО (увеличиваем концентрацию раствора до необходимой для X_m).

Дефазифицируя ЛПУ, получим:

$$\text{ЕСЛИ } (X_m(t) \text{ \& } v(t) < a' - v(t) * \mu(X_m(t))) \text{ ТО } [v(t') = v(t) + \mu(X_m(t)) * (a' - v(t))]. \quad (6)$$

Таким образом, в момент времени t возникновения ситуации $X_m(t)$ при концентрации травильного раствора $v(t)$ с соответствующей оценкой $\mu(X_m(t))$, формируется управляющее воздействие пополнения запаса (внепланового повышения концентрации травильного раствора в период T за время срабатывания дозатора системы долива Δt $\partial = t' - t$), что видно из рис. 3

$$\Delta a(t) = (1 - \mu_i(X_m(t))) * (a' - v(t)). \quad (7)$$

Разработано нечеткое логическое правило определения классов событий ТП и истинности признаковой информации, которая является исходной посылкой для организации нечеткого вывода заключений о количественных и качественных характеристиках этих событий с целью формирования управляющих воздействий для изменения концентрации травильного раствора НТА. При обучении регулятора, разработке экспериментально-измерительной базы знаний, предлагается использовать высокоточные эталоны цветовой палитры для разграничения классов событий (например, числовые значения смещений RGB, контраста, яркости).

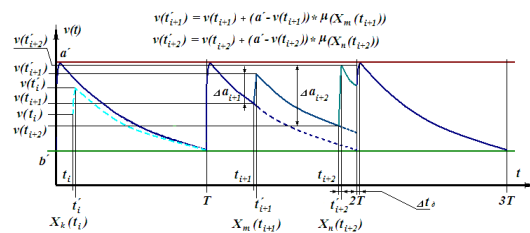


Рисунок 3 – Управление концентрацией раствора на нечетком выводе

Література

1. Gines M.J.L., Benitez G.I., Perez T., Merli E., Firpo M.A., Egli W. Study of the Picklability of 1,8 mm Hot-Rolled Steel Streeep in Hydrochloric Acid.Latin American Applied Research.CINI-FUDETEC.June, 2002, p. 281–288.
2. Питеркин С.В., Оладов Н.А., Исаев С.Н. Практика применения EPR-систем. – Альпина Паблишер – 2003 – 368 с.
3. Капустенко П.О., Ілюнін О.О., Перевертайленко О.Ю., Самер Лага. До питання автоматизації процесу безперервного травлення листової вуглецевої сталі за умов невизначеності.– Міжвузівський збірник «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво»,Луцьк,2011,вип.5,с. 100–107.
4. Hasler F., Stone N. The Whys and Hows of Hydrochloric Acid Pickling: chemical and operating data for effluent free pickling.Esco Engineering,Kingsville,Ontario:October 1997,63 pp.
5. Капустенко П.А., Ілюнін О.О., Перевертайленко А.Ю., Самер Лага. Моделирование процесса непрерывного травления листовой углеродистой стали в условиях неопределенности. – Інтегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – №2, с. 35–44.
6. Ледков В.Г. Непрерывные травильные линии.– М:Металлургиздат, 1961, 158 с.
7. Васильев В.В., Кузьмук В.В. Сети Петри Параллельные алгоритмы и модели мультипроцессорных систем. – К.: Наукова думка. – 1990. – 216 с.
8. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
9. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике: Пер. с фр. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
10. Прикладные нечеткие системы: Перевод с япон./ К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993. – 366 с.

УДК 681.518.2

Ілюнін О.О., Капустенко П.О., Перевертайленко О.Ю., Тимофеев В.О.

КЕРУВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЄЮ ТРАВІЛЬНОГО РОЗЧИНУ В БЕЗПЕРЕРВНОМУ ТРАВІЛЬНОМУ АГРЕГАТІ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ LR- ІНТЕРВАЛІВ

Запропоновано спосіб нечіткого оцінювання товщини окисної плівки вуглецевого сталюого прокату за допомогою ідентифікації її кольору, кожному з яких відповідає нечіткий LR-інтервал товщини плівки. Наведено логічне правило керування концентрацією сірчаної кислоти в процесі безперервного травління, що інтерпретується як задача поповнення травільного розчину сірчаної кислоти до рівня який визначає функція належності, що формується на підставі обробки LR-інтервалу.

Ilunin O.O., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Yu., Tymofeyev V.O.

THE CONTROLLING OF PICKLING LIQUOR CONCENTRATION IN PICKLING UNIT WITH USE OF UNCERTAIN LR-INTERVALS

The method of uncertain estimation for oxide film thickness on continuous carbon steel strip is pickling proposed with use of color identification of this film. Each color corresponds to appropriate uncertain LR-interval of film thickness. The logic rule of sulfuric acid concentration controlling is considered. The problem is interpreted as necessary resupply problem for pickling liquor to the level defined by function that is forming on the base of LR-interval treatment.