

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ БИОСОРБЦИИ СЕРЕБРА

Новаковская А.О.

Донецкий национальный технический университет, кафедра прикладной математики и информатики

E-mail: my_anna@mail.ru

Аннотация

Новаковская А.О. Разработка системы принятия решений в процессах биосорбции серебра. Разработка системы принятия решений в процессах биосорбции серебра. Рассмотрены принципы принятия решений в трехуровневой системе управления участком извлечения серебра из вторичных растворов. Представлены принципы формирования управляемой нейросети, на основе которой осуществляется принятие решений по эффективному управлению процессами.

Введение

Традиционно, серебро из вторичных видов сырья извлекается с помощью специально приготовленных сорбентов – смол, стоимость которых составляет 2000-2500 у.е./тонну. В современных условиях применение смол обуславливает нерентабельность вторичного производства серебра. Альтернативой этому типу сорбентов являются плесневые отходы производства антибиотиков, которые получили название «биосорбенты». Целью данного исследования является разработка системы принятия решений в процессах биосорбции серебра. Разработка включает в себя создание математических моделей, постановку и формализацию задач управления, создание и численное исследование алгоритмов системы управления.

Физико-химические особенности извлечения серебра с помощью биосорбентов исследованы в работе [1]. Математические модели процессов биосорбции, восстановления и десорбции представлены в работах [2-4].

Основная часть

Разрабатываемая система принятия решений предназначена для управления участком извлечения серебра из вторичных растворов, содержащих около 200 мг/л серебра. Технология организована следующим образом. Раствор последовательно перетекает через 9 колонн, заполненных гранулами биосорбента, установленных с понижением уровня. В первой группе находятся три колонны, в трех последующих – по две колонны.

Подсистема принятия решений предусматривает реализацию управления на трех уровнях. На первом уровне осуществляется прогноз и управление кинетикой процессов, протекающих в каждой колонне. Исходя из физико-химических особенностей процесса, выделены режимы процесса биосорбции S, длящегося около 2 часов, после чего подача раствора через колонну прекращается и колонна переходит в режим восстановления технологических свойств сорбента (R), длящегося около 8 часов. В соответствии с этим выделенные режимы S-R составляют фазу функционирования колонны. В зависимости от типа плесневой культуры, различные типы сорбентов могут выдерживать 5-8 технологических фаз. Предусматривается чередование режимов и фаз в колоннах каждого уровня. При этом, колонны первых трех уровней извлекают основную массу серебра, колонны последних уровней предназначены для доочистки раствора от серебра, подчиненных санитарным нормам сливных растворов. Одновременно функционируют три последовательно соединенные колонны, каждая из которых работает в соответствующем

режиме (S или R). Разработана матрица смежности, определяющая порядок последовательности соединения колонн. При этом первые колонны в одном технологическом цикле работают 10 часов. Для каждого из указанных режимов разработаны и идентифицированы динамические модели прогноза текущего содержания серебра в растворе, расходования биосорбента и извлечения серебра из раствора. Конечные условия решения уравнений модели прогноза содержания серебра в растворе, проходящем через колонну, являются начальными условиями задачи Коши для последующей колонны. Таким образом, динамические модели режимов позволяют итерационно оценивать состояние объекта управления – колонны, как в режиме сорбции, так и в режиме восстановления. Согласно современной методологии, параметрические дифференциальные уравнения математической модели, позволяющей оценивать состояния объекта управления, могут быть представлены в виде слоя нейросети, имеющего несколько входов и выходов. Таким образом, девять технологических сорбционных колонн представлены в виде девятислойной нейросети, обучение которой осуществляется классическими методами идентификации параметров. Завершение режимов определяется по заданной точности итеративной оценки состояния биосорбента, характеризующей переход плесневой культуры в режим насыщения.

Завершение режима восстановления технологических свойств сорбентов подчинено логическому правилу (1)

$$\forall A_{ij} \forall k \exists G_{i+1,j}^{Ag}(k) : \left(G_{i+1,j}^{Ag}(k) = D_{i+1,j} \right) \vee \left(G_{i,j+1}^{Ag}(k) = D_{i,j+1}(k) \right), \quad (1)$$

где A_{ij} – колонна, i – номер уровня, j – номер колонны, k – шаг итерации, G_i^{Ag} – количество серебра, усвоенного сорбентом колонны A_{ij} , D_{ij} – динамическая обменная емкость биосорбента, прогнозируемая по математической модели.

После того, как данная плесневая культура, используемая в качестве биосорбента, отработала фиксированное для каждой культуры число технологических циклов, осуществляется перевод колонны на режим десорбции согласно логическому правилу (2):

$$\forall A_{ij} \forall k \exists G_{ij}^{Ag}(k) : G_{ij}^{Ag}(k) \leq 0,5G_{cp}^{Ag}, A_{ij} \notin k, \quad (2)$$

где $G_{гр}$ – предельное значение серебра, которое способен усвоить сорбент.

В результате чистое серебро извлекается из биосорбента и в данной колонне производят замену биосорбента, помещенного в сетку, на новую порцию.

Условия переключения колонн на различные режимы, фазы, циклы, осуществляется на втором уровне управления в подчинении приведенным логическим правилам и в соответствии с матрицей смежности, то есть управление осуществляется путем переключения нейронов между слоями нейросети.

Таким образом, на втором уровне осуществляется дискретное управление режимами переключения нейронов и слоев нейросети, то есть в системе применяется управляемая нейросеть. Динамический прогноз на втором уровне осуществляется с помощью математической модели, представленной системой параметрических дифференциальных уравнений следующего вида.

Уравнение прогноза скорости усвоения серебра сорбентом:

$$\frac{dG^{Ag}(A_{ij})}{dt} = \sum_{l=1}^k G_l^{Ag}(A_{ij}, T_{1,l}), \quad (3)$$

$$G_l^{Ag} (A_{ij}, T_{1,l}) = G_l^{RCOOAg} (A_{ij}, T_{1,l}) + G_l^{RSAg} (A_{ij}, T_{1,l}) + G_l^{RAgNO_3} (A_{ij}, T_{1,l}), \quad (4)$$

где l – номер цикла, $l = \overline{1, k}$, $T_{1,l}$ – длительность режима сорбции, G^{Ag} – количество серебра, усвоенного сорбентом за все циклы, G_l^{Ag} – количество серебра, усвоенного за один цикл, G_l^{RCOOAg} , G_l^{RSAg} , $G_l^{RAgNO_3}$ – количество серебра, усвоенного активными центрами сорбента RCOOH, RSH, R за один цикл, соответственно.

Уравнения скорости роста активных центров сорбента:

$$\frac{dG^{At} (A_{ij})}{dt} = \sum_{l=1}^k G_l^{At} (A_{ij}, T_{2,l}), \quad (5)$$

где G^{At} – общее количество активных центров сорбента, $T_{2,l}$ – длительность режима восстановления.

$$G_l^{At} (A_{ij}, T_{2,l}) = G_l^{RCOOH} (A_{ij}, T_{2,l}) + G_l^{RSH} (A_{ij}, T_{2,l}) + G_l^R (A_{ij}, T_{2,l}), \quad (6)$$

где G_l^{RCOOH} , G_l^{RSH} , G_l^R – количество активных центров сорбента RCOOH, RSH, R, восстановленных за один цикл, соответственно.

Назначение системы второго уровня – максимально использовать технологические свойства плесневой культуры до осуществления ее замены, что позволяет сокращать технологическую себестоимость производства.

На третьем уровне системы принятия решений рассматривается экономическая целесообразность закупки того или иного вида отходов производства антибиотиков, каждый из которых характеризуется своей ценой, сорбционной способностью, количеством технологических циклов использования этой культуры в качестве сорбента. Для прогноза принимаемых решений разработана статическая статистическая модель верхнего уровня управления.

Уравнение прогноза использования сорбентов различных типов:

$$y_1 = -1,97 + 0,39x_{11} + 0,22x_{12} + 0,11x_{13} + 0,13x_{14} + 0,08x_{15} + 0,07x_{16}, \quad (7)$$

где x_{ij} – тип сорбента, i – номер переменной, $i = \overline{1, 8}$, j – номер типа сорбента, $j = \overline{1, 6}$.

Уравнение прогноза стоимости закупки сорбента:

$$y_2 = 22,5 + 1,4x_{21}x_{31} + 1,2x_{22}x_{32} + 0,92x_{23}x_{33} + 0,84x_{24}x_{34} + 0,65x_{25}x_{35} + 0,47x_{26}x_{36}, \quad (8)$$

где x_{2j} – вес сорбента, x_{3j} – цена сорбента.

Уравнение прогноза предельных возможностей использования сорбента:

$$\begin{aligned} y_3 = & -153,8 + 0,51x_{41} + 0,42x_{42} + 0,18x_{43} + 0,21x_{44} + 0,16x_{45} + \\ & + 0,09x_{46} + 1,6x_{51} + 1,7x_{52} + 1,2x_{53} + 0,9x_{54} + 0,7x_{55} + 0,6x_{56} + \\ & + 0,32x_{41}x_{51} + 0,34x_{42}x_{52} + 0,24x_{43}x_{53} + 0,23x_{44}x_{54} + \\ & + 0,14x_{45}x_{55} + 0,11x_{46}x_{56} \end{aligned} \quad (9)$$

где x_{4j} – предельная допустимая обменная емкость сорбента (ПДОЕ), x_{5j} – количество циклов использования сорбента.

Уравнение прогноза кинетики j -го сорбента:

$$\begin{aligned} y_4 = & -209,6 + 0,63x_{41} + 0,61x_{42} + 0,57x_{43} + 0,51x_{44} + 0,42x_{45} + 0,35x_{46} + \\ & + 3,1x_{61} + 2,7x_{62} + 1,3x_{63} + 1,2x_{64} + 1,1x_{65} + 1,2x_{66} + 0,8x_{41}x_{61} + 0,9x_{42}x_{62} + \\ & + 0,6x_{43}x_{63} + 0,5x_{44}x_{64} + 0,4x_{45}x_{65} + 0,3x_{46}x_{66} \end{aligned} \quad (10)$$

где x_{6j} – время насыщения j -го сорбента.

Уравнение прогноза количества серебра, извлекаемого сорбентом:

$$\begin{aligned} y_5 = & -160,64 + 0,71x_{41} + 0,69x_{42} + 0,65x_{43} + 0,57x_{44} + 0,43x_{45} + 0,31x_{46} + \\ & + 0,081x_{71} + 0,079x_{72} + 0,071x_{73} + 0,064x_{74} + 0,061x_{75} + 0,057x_{76} + \\ & + 0,0061x_{41}x_{71} + 0,0048x_{42}x_{72} + 0,0043x_{43}x_{73} + 0,0039x_{44}x_{74} + \\ & + 0,0028x_{45}x_{75} + 0,0023x_{46}x_{76} \end{aligned} \quad (11)$$

где x_{7j} – количество извлекаемого серебра из j -го сорбента.

Уравнение прогноза длительности использования сорбента:

$$\begin{aligned} y_6 = & 65,6 + 0,49x_{41} + 0,52x_{42} + 0,38x_{43} + 0,36x_{44} + 0,29x_{45} + 0,21x_{46} + \\ & + 0,041x_{81} + 0,049x_{82} + 0,032x_{83} + 0,022x_{84} + 0,021x_{85} + 0,015x_{86} + \\ & + 0,0031x_{41}x_{81} + 0,0035x_{42}x_{82} + 0,0024x_{43}x_{83} + 0,0027x_{44}x_{84} + \\ & + 0,0021x_{45}x_{85} + 0,0017x_{46}x_{86} \end{aligned} \quad (12)$$

где x_{8j} – длительность использования сорбента.

Уравнение прогноза технико-экономических показателей сорбента:

$$y_7 = 63,8 + 1,23y_1 + 0,051y_2 + 0,029y_3 + 0,023y_4 + 0,031y_5 \quad (13)$$

Приведенные уравнения второго и третьего уровней позволяют прогнозировать состояние технологических агрегатов участка биосорбции и принимать решения по управлению режимами (второй уровень) и закупке сорбента (третий уровень).

Уравнение (13) используется в качестве функционала цели, оптимальные значения которого позволяют принимать решения о количестве и цене закупки сорбентов различных типов.

Выводы

В научном исследовании создана математическая модель и алгоритм трехуровневой системы принятия решений, практическая значимость которых позволяет использовать отходы производства антибиотиков стоимостью около 30 у.е./тонна, что делает рентабельным процесс извлечения серебра из вторичных растворов. Научная новизна работы представлена разработанными динамическими моделями первого и второго уровней, статического моделью третьего уровня, управляемой девятислойной нейросетью оценки состояний объекта управления и циклического переключения технологических агрегатов.

Литература

1. Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов / Л.С. Стрижко. - М.: МИСиС, 2001.- 336с.
2. Криводубский О.А. Прогнозирование процессов биосорбции серебра / О.А. Криводубский, А.О. Новаковская // Системи обробки інформації: сб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. – Вып. 2 (76). – Х., 2009. – С. 113 – 117.
3. Криводубский О.А. Математическая модель восстановления активных свойств сорбента / О.А. Криводубский, А.О. Новаковская // Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка: сб. наук. пр. Донецького нац. технічного ун-ту. – Вып. 10 (153). – Д., 2009. – С. 251 – 254.
4. Криводубский О.А. Прогнозирование процесса десорбции серебра / О.А. Криводубский, А.О. Новаковская // Радіоелектронні і комп'ютерні системи: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». - Вып. 1 (35). – Х., 2009. – С. 93 – 99.