

3. Aircraft and operator approval for BASIC-RNP 1 operations. CA 91-006, 12/10/2009 – 28 p.
4. Performance-based Navigation (PBN) manual – Doc 9613. Third edition. ICAO, 2008 – 294 p.
5. GLONASS Interface Control Document. CSIC DD RF, 2002 – 60 p. [rus]
6. Calculation of the zones of visibility. GLONASS Center of Information and Analysis. URL – <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/GLONASS/CalculateVisibleZones.php>.

В. Б. Успенський, О. Д. Асютін

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ КОНТРОЛЯ ЦЕЛЕСНОСТИ ТА ПРОГНОЗУ ДОСТУПНОСТИ ГЛОБАЛЬНОЙ СУПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

Розглядаються питання побудови алгоритму контролю цілісності і прогнозу доступності глобальної супутникової радіонавігаційної системи (СРНС) на прикладі ГЛОНАСС. Було складено математичну модель руху навігаційних супутників, отримано алгоритм розрахунку зон досяжності супутників. Для отриманого алгоритму контролю цілісності СРНС було проведено оптимізацію, в результаті чого отримано дві його модифікації. Дані модифікації відрізняються за обчислювальною складністю та точністю роботи. Ефективність роботи всіх отриманих алгоритмів та адекватність всіх складених математичних моделей перевірена шляхом комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: глобальна супутникова навігаційна система, контроль цілісності, прогноз доступності.

V. B. Uspensky, A. D. Asiutin,

National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine

IMPLEMENTATION OF THE RECEIVER AUTONOMOUS INTEGRITY MONITORING AND PREDICTION FUNCTIONS FOR GLONASS GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

Questions about algorithm of autonomous integrity monitoring prognosis synthesis for global navigation satellite system (GNSS) GLONASS are viewed. The mathematical model of navigation satellite's motion, an algorithm for calculating the zones of visibility of satellites are developed. RAIM and PRAIM algorithms are developed. The resulted RAIM algorithm is optimized – two algorithm's modifications are obtained. The modifications differ by their computational complexity and accuracy. Performance of all obtained algorithms and adequacy of all developed mathematical models were verified by computer simulation.

Keywords: Global Satellite Navigation System, RAIM, PRAIM.

*Надійшла до редакції
23 вересня 2011 року*

УДК 66.015

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СОСТАВОВ ПАРОВОЙ И ЖИДКОЙ ФАЗ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ С УЧЕТОМ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

Мухитдинов Д. П., Каландаров П. И.

*Ташкентский Государственный технический университет,
г. Ташкент, Узбекистан*

Обсуждается метод для решения системы уравнений математического описания процесса ректификации многокомпонентной смеси, осложненной химической реакцией, опреде-

ляющей значения составов потоков паровой и жидкой фаз по ступеням разделения ректификационных колонн, с учетом допущения о том, что реакция протекает в гомогенной паровой среде над тарелкой с большой скоростью, в результате чего за время прохождения пара через межтарельчатое пространство достигается химическое равновесие.

Ключевые слова: алгоритм, равновесие между жидкостью и паром, моделирование, ректификация, химическая реакция, многокомпонентная смесь, материальный баланс, энергетический баланс.

Постановка проблемы

Любая задача, связанная с моделированием действующего производства при наличии экспериментальных данных, может быть успешно решена. Однако при проектировании производств или отдельных процессов приходится решать ряд вопросов, связанных с опытом эксплуатации, особенностями протекания процесса, механизм которых часто описывается эмпирически. Решение этих задач при минимуме экспериментальных данных возможно лишь при наличии достоверных математических моделей отдельных процессов и явлений.

Анализ предыдущих исследований

Обзор работ, посвященных методам математического моделирования парожидкостного равновесия и алгоритмизации расчета коэффициентов активности компонентов при разделении многокомпонентных смесей, позволяет сделать выводы, что методы расчёта фазовых равновесий прошли путь развития от графических и формально-математических способов представления данных до аналитических и численных методов, использующих результаты современных молекулярных теорий растворов.

Цель работы

Именно благодаря последним был достигнут значительный прогресс при расчётах равновесий для целей ректификационного разделения веществ. Однако, применение уравнений для определения коэффициентов активности требует информации о фазовом равновесии в бинарных парах многокомпонентных систем. При этом возникают проблемы, связанные с нахождением параметров уравнений, определяющих коэффициенты активности. По существу своему задача сводится к решению задачи оптимизации для выбранной целевой функции, характеризующей рассогласование между расчетными и экспериментальными данными. В этом случае необходимо принять специальные меры для преодоления трудностей, связанных с решением задачи нелинейного программирования.

Результаты проведенных исследований

Математическое описание процесса ректификации многокомпонентной смеси, осложненной химической реакцией, с учетом допущения о том, что реакция протекает в гомогенной паровой среде над тарелкой с большой скоростью, в результате чего за время прохождения пара через межтарельчатое пространство достигается химическое равновесие, [1] включает уравнения:

-общего материального баланса на тарелках колонны:

$$V_{n-1} + L_{n+1} + F_S - V_n - L_n - S_n = 0 \quad (1)$$

- покомпонентного материального баланса:

$$V_{n-1}Y_{i,n-1} + L_{n+1}X_{i,n+1} + F_S X_{Si} - V_n Y_{i,n} - L_n X_{i,n} - S_n Y_{i,n} = 0 \quad (2)$$

-теплового баланса:

$$V_{n-1}H_{n-1} + L_{n+1}h_{n+1} + F_S h_S - V_n H_n - L_n h_n - S_n H_n = 0, \quad (3)$$

где V, L, S, F – количество парового, жидкого, внешнего потоков, и исходного питания соответственно; X, Y, X_S – составы жидкости, пара и внешнего потока соответственно; индексы n-1, n, n+1 обозначают номер тарелки: предыдущей, расчетной и последующей соответственно. В уравнении (3) H и h –энтальпии пара и жидкости соответственно, определяющиеся следующими выражениями: фазового равновесия:

$$Y_{i,n}^* = K_{i,n} X_{i,n}, \quad (4)$$

а также стехиометрические соотношения:

$$\sum_{i=1}^M y_{in} = 1; \quad \sum_{i=1}^M x_{in} = 1; \quad (5)$$

$$H_{ij} = T_{ij}^{(V)} \sum_{j=1}^k c_{ij}^{(V)} y_{ij} + \sum_{j=1}^k r_{ij} y_{ij} \quad (6)$$

$$h_i = T_i \sum_{j=1}^k c_{ij}^{(L)} x_{ij} \quad (7)$$

Так как на тарелках колонны равновесие не достигается, то состав покидающего тарелку пара определяется через эффективность тарелки в виде:

$$(Y_n) = (Y_{n-1}) + [E_T] (Y^* - Y_{n-1}), \quad (8)$$

где (Y*) – вектор равновесных составов пара над n-ой тарелкой; [E_T] – матрица эффективностей тарелки.

При расчете равновесия жидкость-пар отклонение от идеальности жидкой фазы учитывается с помощью коэффициента активности γ [2].

Обобщенное уравнение реакции на тарелке можно представить в виде:



где a, b, c, d – стехиометрические коэффициенты. Поскольку на тарелке достигается химическое равновесие, то скорости обеих противоположно направленных реакций (между A и B и между C и D) равны:

$$V_1 = V_2 = k_1 C_A^a C_B^b = k_2 C_C^c C_D^d, \quad (10)$$

где k₁ и k₂ – константы скоростей реакций, а C_A, C_B, C_C, C_D – молярные концентрации, которые, будучи возведенными в соответствующие степени (ими являются стехиометрические коэффициенты), определяют скорости реакций V₁ и V₂.

Из уравнения (10) получаем формулу для расчета константы равновесия реакции:

$$K = \frac{k_2}{k_1} = \frac{C_A^a C_B^b}{C_C^c C_D^d}. \quad (11)$$

Из уравнения (11), зная значение константы равновесия химической реакции и концентрации исходных компонентов в смеси, можно рассчитать, какие концентрации всех веществ в паре над тарелкой будут соответствовать равновесию.

Константа равновесия химической реакции является функцией от мольных концентраций компонентов при равновесии. В то же время она зависит от температуры, при которой протекает химическая реакция, и напрямую связана с тепловым эффектом.

При решении системы уравнений, определяющей значения составов потоков паровой и жидкой фаз по ступеням разделения с учетом химической реакции, применен специальный метод [3, 4]. Данный метод может быть использован для решения системы линейных уравнений с трёхдиагональной матрицей коэффициентов. Именно к такой задаче сводится расчет составов пара и жидкости по ступеням разделения в колоннах ректификации совмещенных с химической реакцией.

Специфической особенностью таких систем является то, что два уравнения системы включают только по две неизвестных. Если исключить одно из этих уравнений, то оставшаяся система уравнений будет неопределенной, и в этом случае она будет иметь бесчисленное множество решений. Причем линейная комбинация любых двух решений такой системы также будет являться ее решением. На этой основе и создан метод, основной задачей которого является преодоление числовой неустойчивости решения, возникающей из-за конечной точности представления чисел в ПЭВМ [5].

Для реализации этого метода расчет составов по ступеням разделения ведётся параллельно для двух значений концентраций определяемого компонента в кубе установки. Эти значения выбираются так, чтобы одно из них было заведомо меньше искомого, а другое заведомо больше.

Тем самым гарантируется, что искомое решение будет находиться между этими решениями. Расчет ведется от первой ступени (куба) до последней (дефлегматора).

Исключенное уравнение используется затем для расчета коэффициента суперпозиции Z , определяющего решение, при котором это уравнение также будет выполняться. Расчет коэффициента суперпозиции Z выполняется по соотношению:

$$Z = U_2 / (U_1 - U_2) \quad (12)$$

где U_2 - невязка контролируемого уравнения для решения с избытком, а U_1 - невязка этого же уравнения для решения с недостатком.

Исключаемое уравнение фактически представляет собой общий материальный баланс колонны по компоненту:

$$U_Z = V_{N+1} \cdot y_j^{(N+1)} - W_F \cdot x_j^{(F)} + L_0 \cdot x_j^{(0)} + R_j^{(i)} + W_B \cdot x_j^{(B)}, \quad (13)$$

где $V_{N+1} \cdot y_j^{(N+1)}$ - количество j -го компонента в потоке, уходящем с конденсатора;

$W_F \cdot x_j^{(F)}$ - количество J-го компонента в питании, подаваемом в колонну;
 $L_0 \cdot x_j^{(0)}$ - количество J-го компонента в потоке, отбираемом с куба колонны; $R_j^{(i)}$ - скорость образования J-го компонента в колонне за счет химической реакции;
 $W_B \cdot x_j^{(B)}$ - количество J-го компонента в потоке бокового отбора.

Искомое решение далее определяется по формуле:

$$x_j^{(i)} = (1 + Z) \cdot x_j^{(i)} - Z \cdot x_j^{(i)} \quad (14)$$

где $x_j^{(i)}$, $x_j^{(i)}$ - составляющие решения соответственно с недостатком и избытком.

Аналогичное соотношение справедливо и для концентрации в паровой фазе:

$$y_j^{(i)} = (1 + Z) \cdot y_j^{(i)} - Z \cdot y_j^{(i)} \quad (15)$$

В качестве начальных значений концентрации в кубе для получения решения с недостатком и решения с избытком принимаются значения соответствующие нулевому отбору из куба для решения с недостатком

$$x_j^{(i)} = 0 \quad (16)$$

и полному отбору из куба для решения с избытком

$$x_j^{(i)} = \frac{W_f \cdot x_j^{(f)} + R_j^{(i)} - W_b \cdot x_j^{(b)}}{L_0} \quad (17)$$

Для каждой тарелки производится контроль полученных значений $x_j^{(i)}$ и $x_j^{(i)}$. Если на некоторой p -ой тарелке значение $x_j^{(p)}$ или $x_j^{(p)}$ превысят по модулю некоторую заданную величину, то расчет ступени прерывается и соответствующая последовательность $x_j^{(i)}$ ($i = 0, 1, \dots, p$) корректируется по соотношениям (15) и (17), причем коэффициент суперпозиции Z для решения с недостатком определяется по формуле:

$$Z = \frac{x_j^{(p)}}{x_j^{(p)} - x_j^{(p)}}, \quad (18)$$

для решения с избытком:

$$Z = \frac{x_j^{(p)} - 1}{x_j^{(p)} - x_j^{(p)}}. \quad (19)$$

При наличии химической реакции на ступенях разделения в уравнения, определяющие распределение концентраций по ступеням разделения, вводятся скорости образования компонентов на ступенях.

Поскольку скорости образования компонентов являются нелинейными функциями концентраций [2], для точного расчета составов по ступеням разделения требуется итерационная процедура решения этой системы уравнений. Общее число итераций в этой процедуре может оказаться достаточно большим, что может существенно увеличить общее время расчета колонны. Расчетная проверка показала, что в действительности на каждой общей итерации достаточно ограничиться 2-3 итерациями, уточняющими значения скоростей образования компонентов при расчете составов по ступеням разделения. В процессе сходимости общего решения задачи скорости образования компонентов на ступенях разделения будут также уточняться, и число итераций на прокрутке может понижаться.

Важной особенностью расчета составов по ступеням разделения при наличии химической реакции является возможность получения отрицательных значений концентраций на ступенях разделения. Эти значения, не имеющие физического смысла, могут существенно затруднить или даже сделать невозможной общую сходимость решения. В связи с этим была использована форсирующая процедура, ограничивающая скорости образования компонентов в случае возникновения отрицательных значений концентраций.

Для реализации этой процедуры введен специальный множитель для скоростей образования компонентов по ступеням разделений C_R . При точном решении общей системы уравнений математического описания величина этого множителя должна быть равна единице [4].

Если на очередной итерации, в особенности на начальных итерациях, получаются отрицательные значения концентраций, величина этого множителя i автоматически уменьшается до такого значения, когда расчет по ступеням разделения дает только положительные значения концентраций по всем компонентам смеси. По мере сходимости общего итерационного процесса к решению величина этого множителя приближается к единице и на последних итерациях тождественно равна 1.

Выводы

Предложенный алгоритм решения модели, построенной с учетом химических реакций, которые отражаются в уравнениях материальных балансов через скорости образования компонентов, обеспечивает надежную сходимость вычислений при моделировании технологического процесса разделения спиртовых смесей на брагоректификационных установках. Экспериментальными приемами получено подтверждение адекватности модельных расчетов фактическим данным, полученным на производстве.

Литература

1. Був Д. Л. Разработка энергосберегающих схем ректификации, содержащих сложные колонны: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата техн. наук. – М.: МИТХТ, 2002. – 24 с.
2. Кафаров В. В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1986. – 496 с.

3. Перельгин В. М. Моделирование процесса эпурации этилового спирта. Хранение и переработка сельхоз сырья. – М.: Изд-во «Пищевая промышленность», 2003. – № 5. – С. 29-31.
4. Мухитдинов Д. П. Математическое моделирование многокомпонентной ректификации с учётом химической реакции // Химическая технология. Контроль и управление. – 2005. – № 5. – С. 25-30.
5. Маннанов У. В. Интенсификация сложных тепло- и массообменных реакционно-разделительных процессов и систем дисс. док. техн. наук. – Т.: ТГТУ, 2000.

References

1. Buev D. L. Development of energy saving schemes rectification column containing complex. – Dissertation for the degree of candidate of technical. of Sciences. – М.: МПНТ, 2002. – 24 p. [rus]
2. Kafarov V. V. Fundamentals of mass transfer. – М.: Graduate School, 1986. – 496 p. [rus]
3. Perelygin V. M. Modelling of epyuration ethanol // Storage and processing of agricultural products. – М.: Pischevaya promyshlennost, 2003. – № 5. – P. 29-31. [rus]
4. Mukhitdinov D. Mathematical modeling of multicomponent distillation with chemical reactions // Journal Chemical Technology and Management Control. – 2005. – № 5. – P. 25-30. [rus]
5. Mannanov W. Intensification of complex heat-reactive dividing processes and systems. diss. doc. tech. of Sciences. – Т.: TSTU, 2000. [rus]

Д. П. Мухітдінов, П. І. Каландаров

Ташкентський державний технічний університет, м. Ташкент, Узбекистан

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ СКЛАДІВ ПАРОВОЇ ТА РІДИННОЇ ФАЗ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ РЕКТИФІКАЦІЇ З ВРАХУВАННЯМ ХІМІЧНОЇ РЕАКЦІЇ

Обговорюється метод для розв'язку системи рівнянь математичного опису процесу ректифікації багатокомпонентної суміші, ускладненої хімічною реакцією, що визначає значення складів потоків парової та рідинної фаз за ступенями розділу ректифікаційних колон, із врахуванням припущення про те, що реакція відбувається у гомогенному паровому середовищі над тарілкою з великою швидкістю, внаслідок чого досягається хімічна рівновага за час проходження пари крізь міжтарельчастий простір.

Ключові слова: алгоритм, рівновага між рідиною та паром, моделювання, ректифікація, хімічна реакція, багатокомпонентна суміш, матеріальний баланс, енергетичний баланс.

D. Mukhitdinov, P. Kalandarov

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

ALGORITHM FOR CALCULATING THE COMPOSITION OF THE VAPOR AND LIQUID PHASES IN THE MODELING OF MULTICOMPONENT RECTIFICATION IN VIEW OF CHEMICAL REACTIONS

A method for solving systems of equations of the mathematical description of the process of rectification of multicomponent mixtures, complicated chemical reaction, which determines the values of the compositions of flows of gas and liquid phases of the steps of the separation distillation column, taking into account the assumption that the reaction proceeds in a homogeneous medium steam over the plate at high speed, as a result of the passage of steam through between the plates chemical equilibrium is reached.

Keywords: algorithm, the equilibrium between liquid and vapor, modeling, distillation, chemical reaction, multi-component mixture, the material balance, energy balance.

*Надійшла до редакції
27 жовтня 2011 року*