

НОРМАЛИЗАЦИИ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье осуществлен сравнительный анализ критериев оптимальности много тоннажных химико-технологических систем (ХТС). При этом использовались ранее опубликованные автором результаты работ по оптимизации технико-экономических показателей химических реакторов, являющихся ведущими звеньями находящихся в эксплуатации этих систем. Выбор оптимального режима работы реакторного отделения осуществлялся с использованием алгоритма нормализации критериев оптимальности, разработанного для случая, когда известны интервалы варьирования этих критериев.

Ключевые слова: оптимизация ХТС, нормализация разнородных показателей качества работы реакторного отделения.

Введение

Проблема нахождения оптимальных режимов работы химических реакторов является одной из наиболее важных при разработке автоматизированных систем управления ХТС, так как от их эффективной работы зависит эффективность работы всей технологической цепочки. Попытка нахождения оптимальных режимов работы реакторов димеризации ацетилена, используемых в производстве хлоропреновых каучуков и латексов, была решена на основе экономико-математических моделей, разработанных путем статистической обработки исходных данных, собранных на действующем производстве [1, с.36]. Для нахождения оптимальных режимов в разное время использовались алгоритм случайного поиска с адаптацией [2, с.13] и алгоритм векторной оптимизации, позволяющий выбрать компромиссное решение из эффективного множества решений [3, с.89-99]. Поскольку для получения моновинилацетилена (МВА) использовались два типа реакторов димеризации ацетилена (тангенциальный и прямой), нормализация критериев оптимальности осуществлялась для всего реакторного отделения. Подобное отделение в настоящее время находится в эксплуатации на китайском заводе по производству хлоропреновых каучуков и латексов в г. Шаньси.

Гипотеза

В этой статье сделана попытка осуществить нормализацию ранее использованных возможных критериев оптимальности режимов работы реакторного отделения с использованием совокупности как экономических, так и технологических показателей. Так как основным назначением реакторного отделения является выработка МВА, к числу возможных критериев отнесены: ориентировочная технологическая себестоимость 1 т. МВА, ожидаемый выход МВА на прореагировавший ацетилен и ожидаемая часовая производительность по МВА.

Методы. Именно эти три возможных критерия оптимальности были подвергнуты нормализации. Они приведенные в Таблице 1, в которой использованы те же обозначения, которые были заимствованы нами из описания алгоритма нормализации разнородных показателей качества [4, с. 35-44].

В этой же таблице представлены возможные варианты режимов работы реакторного отделения, интервалы варьирования критериев оптимальности и ширина этих интервалов.

Таблица 1. Таблица исходных данных

| Критерии $K_i(S_n)$ | Режимы работы реакторного отделения | | | |
|---|-------------------------------------|------------|------------|-------|
| | S1 | S2 | S3 | m_i |
| $K_1(S_n)$ -ориентировочная технологическая себестоимость 1 т. МВА, руб./т. | [330; 360] | [350; 370] | [370; 510] | 550 |
| $K_2(S_n)$ - ожидаемый выход МВА на прореагировавший ацетилен, % (проц.) | [14; 19] | 110; 16J | [16;10] | 20 |
| $K_3(S_n)$ - ожидаемая часовая производительность по МВА, т./ч. | [1,02; 1,14] | [0,7;1,02] | [0,5; 0,7] | 1,5 |

Результаты и обсуждения

Необходимо отдать предпочтение одному из трех возможных режимов работы реакторного отделения (S1 , S2 , S3) с использованием трех возможных критериев оптимальности $K_1(S_n)$, $K_2(S_n)$, $K_3(S_n)$, значения которых заданы в интервальном виде. При этом должны выполняться следующие условия:

$$K_1(S_\alpha^*) = \min_{\alpha=1,3} [K_1(S_\alpha)];$$

$$K_2(S_\alpha^*) = \max_{\alpha=1,3} [K_2(S_\alpha)];$$

$$K_3(S_\alpha^*) = \max_{\alpha=1,3} [K_3(S_\alpha)].$$

При $n=1$ выполняется режим S1, обеспечивающий минимизацию технологической себестоимости одной тонны целевого продукта моновинилацетилена (МВА).

При $n=2$ выполняется режим, обеспечивающий максимизацию выхода МВА на прореагировавшее сырье, т.е ацетилен, %.

При $n=3$ выполняется режим, обеспечивающий максимизацию часовой производительности по МВА, т./ч.

В качестве теоретической базы для решения задачи использовалась интервальная арифметика Каухера [5, стр. 65-79]. Как видно из Таблицы 1 критерии оптимальности $K_1(S_n)$, $K_2(S_n)$, $K_3(S_n)$ являются разнородными, измеряемыми в интервальной шкале, с различными диапазонами их отклонений.

Ширина m_i интервалов оценок по i -му частному интервальному критерию оптимальности определяется предельно допустимыми значениями этого критерия.

При решении задачи использовалась следующая формула, определяющая элементы $\mu K_1(S_k, S_l)$ для всех k и l .

$$\mu^c K_1(S_k, S_l) = \frac{K_1(S_k) - K_1(S_l)}{m_i} = \frac{[K_1(S_k); \overline{K_1(S_k)}] - [K_1(S_l); \overline{K_1(S_l)}]}{m_i} = \frac{[\min\{[K_1(S_k) - K_1(S_l); \overline{K_1(S_k)} - \overline{K_1(S_k)}]\}; \max\{[K_1(S_k) - K_1(S_l); \overline{K_1(S_k)} - \overline{K_1(S_k)}]\}]}{m_i} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \mu K_1(S_1, S_2) &= \frac{[330,360] - [350,370]}{550} = \\ &= \frac{[\min\{330-350; 350-370\}; \max\{330-370; 360-370\}]}{550} = \frac{[-20, -10]}{550} = [-0.036; -0,018] \end{aligned}$$

$$\mu K_1(S_1, S_3) = \frac{[330,360] - [370,510]}{550} = [-0.27; -0,07]$$

$$\mu K_2(S_2, S_1) = \frac{[350,370] - [330,360]}{550} = [0.01; 0.02]$$

$$\mu K_1(S_2, S_3) = \frac{[350,370] - [330,360]}{550} = [-0.04; 0.02]$$

$$\mu K_1(S_3, S_1) = \frac{[370,510] - [330,360]}{550} = [0.04; 0.07]$$

УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

$$\mu_{K_1}(S_3, S_2) = \frac{[370,510] - [360,2370]}{30} = [0.04; 0.25]$$

Оценочная матрица $|| \mu^u K_1(S_k, S_l) ||$ приведена в Таблице 2.

Таблица 2. Оценочная матрица $|| \mu^u K_1(S_k, S_l) ||$

| Режимы работы (S _l) Критерии K _i (S _k) | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
|--|----------------|----------------|----------------|
| K1 (S ₁) | 0 | [-0.036;-0.12] | [-0.27;-0.07] |
| K1 (S ₂) | [0,01;0.02] | 0 | [-0.04;0.02] |
| K1 (S ₃) | [0,04; 0.07] | [0.04;0.25] | 0 |

Аналогично определяются значения $\mu^u K_2(S_k, S_l)$ и $\mu^u K_3(S_k, S_l)$. Полученные данные сведены в Таблицу 3 и Таблицу 4.

Таблица 3. Оценочная матрица $|| \mu^u K_2(S_k, S_l) ||$

| Режимы работы (S _l) Критерии K2(S _k) | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
|---|-----------------|----------------|----------------|
| K2 (S ₁) | 0 | [0.15;0.2] | [-0.1;0.45] |
| K2 (S ₂) | [-0.2;-0.1] | 0 | [-0.3; 0.3] |
| K2 (S ₃) | [-0.026;-0.222] | [-0.01;-0.016] | 0 |

Таблица 4. Оценочная матрица $|| \mu^u K_3(S_k, S_l) ||$

| Режимы работы(S _l) Критерии K3 (S _k) | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
|---|-----------------|----------------|----------------|
| K3(S ₁) | 0 | [-0.21;-0.08] | [-0.32;-0, 29] |
| K3 (S ₂) | [-0.08;-0.21] | 0 | [-0.13;0.26] |
| K3 (S ₃) | [-0,35; -0, 29] | [-0.21;-0.13] | 0 |

С использованием следующей формулы определяются элементы $\mu_D^u K_i(S_k, S_l) (\forall k, l)$. Они приведены в Таблицах 5, 6, 7.

$$\mu_D^u K_i(S_k, S_l) = \mu_D^u K_i(S_k, S_l) - \mu_D^u K_i(S_l, S_k) = [\mu_D^u K_i(S_k, S_l); \overline{\mu_D^u K_i(S_k, S_l)}] - [\mu_D^u K_i(S_l, S_l); \overline{\mu_D^u K_i(S_l, S_k)}] = \quad (2)$$

$$= \frac{\min\{\underline{\mu_D^u K_i(S_k, S_l)} - \underline{\mu_D^u K_i(S_l, S_k)}; \overline{\mu_D^u K_i(S_k, S_l)} - \overline{\mu_D^u K_i(S_l, S_l)}\}}{\max\{\underline{\mu_D^u K_i(S_k, S_l)} - \underline{\mu_D^u K_i(S_l, S_k)}; \overline{\mu_D^u K_i(S_k, S_l)} - \overline{\mu_D^u K_i(S_l, S_l)}\}}$$

$$\mu_D^u K_i(S_1, S_2) = [0.36; 0,18] - [0.04; 0.02] = 0.32; -0.16$$

$$\mu_D^u K_i(S_1, S_3) = [-0.27; -0.07] - [0.04; 0.07] = 0.23; 0.0$$

Таблица 5. Оценочная матрица $|| \mu_D^u K_1(S_k, S_l) ||$

| Режимы работы (S _l) Критерии(S _k) | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
|--|----------------|----------------|----------------|
| K1 (S ₁) | 0 | -0.16 | 0 |
| K1 (S ₂) | 0.16 | 0 | -0,05 |

| | | | |
|----------------------|---|------|---|
| K1 (S ₃) | 0 | 0,05 | 0 |
|----------------------|---|------|---|

Таблица 6. Оценочная матрица $|| \mu_D^u K_2 (S_k, S_l) ||$

| Режимы работы (S _l) Критерии (S _k) | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
|---|----------------|----------------|----------------|
| K2(S ₁) | 0 | 0 | -0,547 |
| K2(S ₂) | 0 | 0 | -0,04 |
| K2(S ₃) | 0,547 | 0,04 | 0 |

Таблица 7. Оценочная матрица $|| \mu_D^u K_3 (S_k, S_l) ||$

| Режимы работы (S _l) Критерии(S _k) | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
|--|----------------|----------------|----------------|
| K3(S ₁) | 0 | 0 | 0 |
| K3(S ₂) | 0 | 0 | -0,21 |
| K3(S ₃) | 0 | 0,21 | 0 |

С использованием следующей формулы вычисляются значения $\mu_{ND} K_1 (S_k, S_l)$, $\mu_{ND} K_2 (S_k, S_l)$ и $\mu_{ND} K_3 (S_k, S_l)$. Полученные данные сведены в Таблицы 8,9,10.

$$\mu_{ND} K_i(S_k, S_l) = \begin{cases} 1, \text{ если } \mu_D^u K_i(S_k, S_l) < 0 \\ 1 - \mu_D^u K_i(S_k, S_l), \text{ если } \mu_D^u K_i(S_k, S_l) \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Таблица 8. Оценочная матрица $|| \mu_{ND} K_1 (S_k, S_l) ||$

| Режимы работы (S _l) Критерии (S _k) | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
|---|----------------|----------------|----------------|
| K1 (S ₁) | 1 | 1 | 1 |
| K1 (S ₂) | 0,84 | 1 | 0,95 |
| K1 (S ₃) | 1 | 0,95 | 1 |
| $\min \mu_{ND} K_1(S_k, S_l)$ | 0,84 | 0,95 | 0,95 |

Таблица 9. Оценочная матрица $|| \mu_{ND} K_2 (S_k, S_l) ||$

| Режимы работы (S _l) Критерии(S _k) | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
|--|----------------|----------------|----------------|
| K2 (S ₁) | 1 | 1 | 0,453 |
| K2 (S ₂) | 1 | 1 | 0,95 |
| K2 (S ₃) | 0,453 | 0,95 | 1 |
| $\min \mu_{ND} K_2(S_k, S_l)$ | 0,453 | 0,95 | 0,453 |

Таблица 10. Оценочная матрица $|| \mu_{ND} K_3 (S_k, S_l) ||$

| Режимы работы (S _l) Критерии(S _k) | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
|--|----------------|----------------|----------------|
| K3 (S ₁) | 1 | 1 | 1 |
| K3 (S ₂) | 1 | 1 | 0,79 |
| K3 (S ₃) | 1 | 0,79 | 1 |
| $\min \mu_{ND} K_3(S_k, S_l)$ | 1 | 0,79 | 0,79 |

Значения функции принадлежности $\mu_D^* K_i(S_k)$ для каждого режима по критериям оптимальности K_1, K_2, K_3 вычисленные по следующей формуле сведены в Таблицу 11.

$$\mu_D^* K_i(S_k) = \min_{i=1,r} \mu_{ND} K_i(S_k, S_l) \quad (4)$$

Таблица 11. Значения функции принадлежности $\mu_D^* \mu_D^* K_i(S_k)$

| Режимы работы $\mu_D^* K_i(S_k)$ | $\mu_D^* K_1(S_k)$ | $\mu_D^* K_2(S_k)$ | $\mu_D^* K_3(S_k)$ |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Критерии (S_k) | | | |
| K1 (S_1) | 0,84 | 0,453 | 1 |
| K2 (S_2) | 0,95 | 0,96 | 0,76 |
| K3 (S_3) | 0,95 | 0,453 | 0,79 |

В результате проведенных преобразований интервальные значения режимов работы реакторного отделения приводятся к нормализованному виду и представляются в виде функций принадлежности $\mu_D^* K_i(S_k)$, которые показывают степень оптимальности соответствующих режимов S_i по рассматриваемому частному критерию оптимальности $K_i(S_k)$. Если $\mu_D^* K_i(S_k)=1$, то это означает, что режим S_k является наилучшим по i -тому частному критерию оптимальности, а если $\mu_D^* K_i(S_k)=0$ – наихудшим.

Как видно из Таблицы 11, в режиме, обеспечивающем минимальную технологическую себестоимость 1 тонны МВА, часовая производительность по целевому продукту достигает своей максимальной величины. Следует заметить, что подобный результат был получен и в 1987 году при решении задачи с использованием алгоритма векторной оптимизации, позволяющим выбрать компромиссное решение из эффективного множества решений [3, стр.99].

На наш взгляд описанный метод может найти широкое применение при решении прикладных задач оптимизации режимов работы химической аппаратуры различного назначения.

Список литературы

1. Экономика типовых процессов химической технологии. -Л:Химия, 1970, -136 с.
2. Кантарджян С.Л. Экономические проблемы оптимизации химико-технологических процессов - М., Химия., 1980, 152 стр.
3. Кантарджян С.Л., Еганян Г.К., Хуршудян А.К. Экономико-математическое моделирование химико-технологических систем – Л:Химия, 1987. -160 с.
4. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Ведерников Ю.В., Матросов В.В., Черныш А.Я. Модели и методы решения задач управления инновационными проектами., Монография. Изд. «Российская Таможенная Академия», 2009г., 90 с.
5. Kaucher E. Algebraische Erweiterungen der Intervallrechnung unter Erhaltung Ordnungs und Verbandsstrukturen. Computing Suppl. – 1977. – № 1. – P. 65–79