

СТАТЬЯ НОМЕРА  
MAIN FEATURE

УДК: 334.72

DOI: 10.18413/2409-1634-2019-5-3-0-1

Кантарджян С.Л.

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ЭКОНОМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ  
ОПТИМАЛЬНОСТИ НА ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ереванский государственный университет  
(г. Ереван, Республика Армения)

e-mail: intellekt13@rambler.ru

**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.

S. L. Kantarjian

AN ALGORITHM OF SELECTING ECONOMIC  
OPTIMALITY CRITERIA IN CHEMICAL PRODUCTION

Yerevan State University  
(Yerevan, Republic of Armenia)

e-mail: intellekt13@rambler.ru

**Abstract**

The article provides a comparative analysis of the criteria of optimality of many tonnage chemical-technological systems (CTS). In this case, the results of work on optimizing the technical and economic indicators of chemical reactors, which are the leading links in the operation of these systems, previously published by the author were used. The choice of the optimal operating mode of the reactor compartment was carried out using the algorithm for normalizing the optimality criteria developed for the case when the variation intervals of these criteria are known.

**Key words:** CTS optimization; normalization of heterogeneous performance indicators of the reactor compartment.

## 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 [Полянчева А.Г., 2005]. 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 [Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Ведерников Ю.В., Матросов В.В., Черныш А.Я., 2009]. Для нахождения оптимальных режимов в разное время использовались алгоритм случайного поиска с адаптацией [Кантарджян С.Л., 1980] и алгоритм векторной оптимизации, позволяющий выбрать компромиссное решение из эффективного мно-

жества решений [Кантарджян С.Л., Еганян Г.К., Хуршудян А.К., 1987]. Поскольку для выработки новинилацетилена (МВА) использовались два типа реакторов димеризации ацетилена (тангенциальный и прямой), нормализация критериев оптимальности осуществлялась для всего реакторного отделения [Коряков А.Г., 2013]. Подобное отделение в настоящее время находится в эксплуатации на китайском заводе по производству хлоропреновых каучуков и латексов в г. Шаньси.

В этой статье сделана попытка осуществить нормализацию возможных критериев оптимальности режимов работы реакторного отделения с использованием совокупности как экономических, так и технологических показателей. Нормализации были подвергнуты три возможных критерия [Денисов О.К., 2005], приведенные в таблице 1. В ней приведены те же обозначения, которые были заимствованы нами из описания алгоритма нормализации разнородных показателей качества [Экономика типовых процессов химической технологии, 1970].

Таблица 1

Таблица исходных данных

Table 1

Source Data Table

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, % образ-	[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

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

Необходимо отдать предпочтение одному из трех возможных режимов работы реакторного отделения (S1, S2, S3) с использованием трех возможных критериев оптимальности  $K_1(S_n)$ ,  $K_2(S_n)$ ,  $K_3(S_n)$ , зна-

чения которых заданы в интервальном виде. При этом должны выполняться следующие условия:

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

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

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

При  $n = 1$  выполняется режим  $S_1$ , 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.

**Основная часть**

В качестве теоретической базы для решения задачи использовалась интервальная ариф-

метика Каухера [Kaucher E., 1977]. 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  $l$ .

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

$$\mu K_1(S_1, S_2) = \frac{[330,360] - [350,370]}{550} = \frac{[\min\{330 - 350; 360 - 370\}; \max\{330 - 370; 360 - 370\}]}{550} = \frac{[-20; -10]}{550} = [-0.036; -0.018]$$

$$\mu K_1(S_1, S_3) = \frac{[330,360] - [370,510]}{550} = [-0.27; -0.07]$$

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

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

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

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

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

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

Таблица 2

Оценочная матрица  $\|\mu K_1(S_k, S_l)\|$

Table 2

Evaluation Matrix  $\|\mu K_1(S_k, S_l)\|$

Режимы работы (S <sub>i</sub> )	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Критерии K <sub>i</sub> (S <sub>k</sub> )			
K <sub>1</sub> (S <sub>1</sub> )	0	[-0.036; -0.12]	[-0.27; -0.07]
K <sub>1</sub> (S <sub>2</sub> )	[0,01; 0.02]	0	[-0.04; 0.02]
K <sub>1</sub> (S <sub>3</sub> )	[0,04; 0.07]	[0.04; 0.25]	0

Таблица 3

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

Table 3

Evaluation Matrix  $|| \mu^u K_2(S_k, S_l) ||$

Режимы работы (S <sub>l</sub> )	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Критерии K2(S <sub>k</sub> )			
K2 (S <sub>1</sub> )	0	[0.15;0.2]	[-01;0.45]
K2(S <sub>2</sub> )	[-0.2;-0.1]	0	[-0.3; 0.3]
K2 (S <sub>3</sub> )	[-0.026;-0.222]	[-0.01;-0.016]	0

Таблица 4

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

Table 4

Evaluation Matrix  $|| \mu^u K_3(S_k, S_l) ||$

Режимы работы(S <sub>l</sub> )	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Критерии K3 (S <sub>k</sub> )			
K3(S <sub>1</sub> )	0	[-0.21;-0.08]	[-0.32;-0.29]
K3 (S <sub>2</sub> )	[-0.08;-0.21]	0	[-0.13;0.26]
K3 (S <sub>3</sub> )	[-0.35; -0.29]	[-0.21;-0.13]	0

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

$$\mu^u K_i(S_k, S_l) = \mu^u K_i(S_k, S_l) - \mu^u K_i(S_l, S_k) =$$

$$\left[ \mu^u K_i(S_k, S_l); \mu^u K_i(S_k, S_l) \right] - \left[ \mu^u K_i(S_l, S_l); \mu^u K_i(S_l, S_k) \right] =$$

$$\min \left\{ \left[ \mu^u K_i(S_k, S_l) - \mu^u K_i(S_l, S_k); \mu^u K_i(S_k, S_l) - \mu^u K_i(S_l, S_l) \right] \right\}$$

$$= \max \left\{ \left[ \mu^u K_i(S_k, S_l) - \mu^u K_i(S_l, S_k); \mu^u K_i(S_k, S_l) - \mu^u K_i(S_l, S_l) \right] \right\}$$

$$\mu^u K_i(S_1, S_2) = [0.36; 0.18] - [0.04; 0.02] = 0.32; -0.16$$

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

Таблица 5

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

Table 5

Evaluation Matrix  $|| \mu^u K_1(S_k, S_l) ||$

Режимы работы (S <sub>l</sub> )	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Критерии(S <sub>k</sub> )			
K1 (S <sub>1</sub> )	0	-0.16	0
K1 (S <sub>2</sub> )	0.16	0	-0,05
K1 (S <sub>3</sub> )	0	0,05	0

Таблица 6

Оценочная матрица  $\|\mu_{ND}^2 K_2(S_k, S_l)\|$

Table 6

Evaluation Matrix  $\|\mu_{ND}^2 K_2(S_k, S_l)\|$

Критерии (S <sub>k</sub> ) \ Режимы работы (S <sub>l</sub> )	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
K2(S <sub>1</sub> )	0	0	-0,547
K2(S <sub>2</sub> )	0	0	-0,04
K2(S <sub>3</sub> )	0,547	0,04	0

Таблица 7

Оценочная матрица  $\|\mu_{ND}^3 K_3(S_k, S_l)\|$

Table 7

Evaluation Matrix  $\|\mu_{ND}^3 K_3(S_k, S_l)\|$

Критерии(S <sub>k</sub> ) \ Режимы работы (S <sub>l</sub> )	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
K3(S <sub>1</sub> )	0	0	0
K3(S <sub>2</sub> )	0	0	-0,21
K3(S <sub>3</sub> )	0	0,21	0

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

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

Таблица 8

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

Table 8

Evaluation Matrix  $\|\mu_{ND} K_1(S_k, S_l)\|$

Критерии (S <sub>k</sub> ) \ Режимы работы (S <sub>l</sub> )	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
K1(S <sub>1</sub> )	1	1	1
K1(S <sub>2</sub> )	0,84	1	0,95
K1(S <sub>3</sub> )	1	0,95	1
$\min \mu_{ND} K_1(S_k, S_l)$	0,84	0,95	0,95



Таблица 9

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

Table 9

Evaluation Matrix  $\|\mu_{ND}K_2(S_k, S_l)\|$

Критерии( $S_k$ ) \ Режимы работы ( $S_l$ )	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$K_2(S_1)$	1	1	0,453
$K_2(S_2)$	1	1	0,95
$K_2(S_3)$	0,453	0,95	1
$\min \mu_{ND}K_2(S_k, S_l)$	0,453	0,95	0,453

Таблица 10

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

Table 10

Evaluation Matrix  $\|\mu_{ND}K_3(S_k, S_l)\|$

Критерии( $S_k$ ) \ Режимы работы ( $S_l$ )	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$K_3(S_1)$	1	1	1
$K_3(S_2)$	1	1	0,79
$K_3(S_3)$	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.

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

Таблица 11

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

Table 11

Evaluation Matrix  $\mu_D^* \mu_D^* K_i(S_k)$

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

### Заключение

В результате проведенных преобразований интервальные значения режимов работы реакторного отделения приводятся к нормализованному виду и представляются в виде функций принадлежности  $\mu_D^* K_i(S_k)$ , ко-

торые 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-ому частному критерию оптимальности, а если  $\mu_D^* K_i(S_k) = 0$  –наихудшим.

Как видно из таблицы 11, наибольшие значения критерия оптимальности достигаются в режиме, обеспечивающем минимальную технологическую себестоимость 1 тонны МВА. Следует заметить, сто подобный результат был получен и в 1987 году при решении задачи с использованием алгоритма векторной оптимизации, позволяющим выбрать компромиссное решение из эффективного множества решений [Кантарджян С.Л., Еганян Г.К., Хуршудян А.К., 1987].

#### Список литературы

1. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Ведерников Ю.В., Матросов В.В., Черныш А.Я., 2009. Модели и методы решения задач управления инновационными проектами. Монография. – М.: Российская Таможенная Академия. 2009: 90.
2. Денисов О.К., 2005. Тенденции развития мировой химической промышленности в современное промышленное. М., 2005,(4): 30-37.
3. Кантарджян С.Л., 1980. Экономические проблемы оптимизации химико-технологических процессов. – М., Химия, 1980: 152.
4. Кантарджян С.Л., Еганян Г.К., Хуршудян А.К., 1987. Экономико-математическое моделирование химико-технологических систем – Л.: Химия, 1987:160.
5. Коряков А.Г., 2013. Исследование подходов к созданию механизма государственного стимулирования устойчивого развития химических предприятий / Теория и практика общественного развития 2013, (5): 277-281.
6. Полянцева А.Г., 2005. Исследование факторов, оказывающих влияние на научно-технологическое развитие предприятий химической промышленности // Современные аспекты экономики. 2005. – 26(93): 50 – 59.
7. Посохов О.В., Иванов А.В., Булычева О.С., 2016. Современный взгляд на проблему обеспечения безопасности химических производств // Международный студенческий научный вестник. – 2016. 4-2; URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=16138> (дата обращения: 15.09.2019).
8. Экономика типовых процессов химической технологии. – Л.: "Химия", 1970: 136.
9. Kaucher E., 1977. Algebraische Erweiterungen der Intervallrechnungunter Erhaltung Ordnung und Verbandsstrukturen. Computing Suppl. – 1977. – № 1. – P. 65–79.

#### References

1. Isimov V.G., Anishimov E.G., Vedernikov Yu.V., Matrosov V.V., Chernish A.J., 2009. Models and methods for managing innovative projects. Moscow: Russian Customs Academy, 2009: 90. (In Russian)
2. Denisov, O. K., 2005. Trends in the development of the global chemical industry in the modern industry. M., 2005, (4): 30-37. (In Russian)
3. Kantarjian S.L., 1980. Economic problems of optimization of chemical-technological processes. M., Chemistry, 1980: 152. (In Russian)
4. Kantarjian S.L., Yeganyan G.K., Hurshudyan A.K., 1987. Economic and mathematical modeling of chemical-technological systems. L., Chemistry, 1987: 160. (In Russian)
5. Koryakov A. G., 2013. Research of approaches to creation of the mechanism of state stimulation of sustainable development of chemical enterprises / Theory and practice of social development 2013, (5): 277-281. (In Russian)
6. Polyantsev A. G., 2005. Research of the factors influencing scientific and technological development of the enterprises of the chemical industry // Modern aspects of economy. 2005. – 26(93): 50-59.
7. Posokhov O. V., Ivanov A.V., Bulycheva O. S., 2016. Modern view on the problem of safety of chemical production // international student scientific Bulletin. 2016. 4-2.; URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=16138> (Accessed 15 September 2019). (In Russian)
8. Economics of standard processes of chemical technology, 1970.L. Chemistry, 1970, 136. (In Russian)
9. Kaucher E. Algebraische Erweiterungen der Intervallrechnungunter Erhaltung Ordnung und Verbandsstrukturen. Computing Suppl. 1977. № 1. P. 65-79.

**Информация о конфликте интересов:** авторы не имеют конфликта интересов для декларации.

**Conflicts of Interest:** the author has no conflict of interest to declare.

**Кантарджян С.Л.**, профессор кафедры экономики инноваций, факультета экономики и менеджмента Ереванский государственный университет (г. Ереван, Республика Армения)

**Kantarjian S. L.**, Professor, Department of Innovation Economics, Faculty of Economics and Management, Yerevan State University (Yerevan, Republic of Armenia)