

УДК 662.613.128:628.544

Применение критериев экономической эффективности при оптимизации химико-технологических процессов

© М.А. Савина¹, С.В. Гунич², Е.В. Янчуковская¹¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет,

г. Иркутск, Российская Федерация

² АО «Инновационно-технологические системы»,

г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью выбора критериев эффективности для оптимизации процессов химической технологии. Показан пример оптимизации ректификационной установки непрерывного действия для разделения бинарной гомогенной смеси с целью получения товарных продуктов. В качестве критерия экономической эффективности предложена величина рентабельности. Разработан универсальный алгоритм технико-экономического расчета установки, позволяющий выбрать наилучший вариант конструкции колонны. Практическая реализация данного алгоритма позволяет обеспечить минимум затрат на проведение процесса, что дает возможность получить максимум прибыли от реализации конечных продуктов и максимум рентабельности технологии.

Ключевые слова: химико-технологический процесс, ректификация, критерий экономической эффективности, затраты, прибыль, рентабельность, алгоритм расчета, прикладные компьютерные программы, прогнозирование

Applying Cost-Effectiveness Criteria to Optimizing Chemical and Technological Processes

© Maria A. Savina¹, Sergey V. Gunich², Elena V. Yanchukovskaya¹¹ Irkutsk National Research Technical University,

Irkutsk, Russian Federation

² JSC «Innovation and technological systems»,

Moscow, Russian Federation

Abstract. The relevance of the article is due to the need to select efficiency criteria to optimize chemical technology processes. The article provides an example of optimizing a continuously working rectifying plant to separate binary homogeneous mixture in order to produce marketable products. The measure of cost-effectiveness is offered as a measure of profitability. A universal algorithm of feasibility study of the installation has been developed, allowing you to choose the best version of the column design. Practical implementation of this algorithm allows ensuring a minimum cost of the process, which makes it possible to get maximum profit from the sale of end products and maximum profitability of the technology.

Keywords: chemical-technological process, rectification, criterion of economic efficiency, costs, profit, profitability, calculation algorithm, applied computer programs, forecasting

Целью технико-экономического обоснования производственного процесса является определение прибыли от реализации конечной продукции, от величины эксплуатационных (текущих) затрат, от эффективности капиталовложений (капитальных затрат в основные фонды: материалы, арматуру, аппараты, оборудование сроком действия более 1 года) [1, 2, 3].

Традиционная научная школа в качестве критерия оптимальности химико-технологического процесса использует минимум суммарных (приведенных) капитальных и эксплуатационных затрат [4].

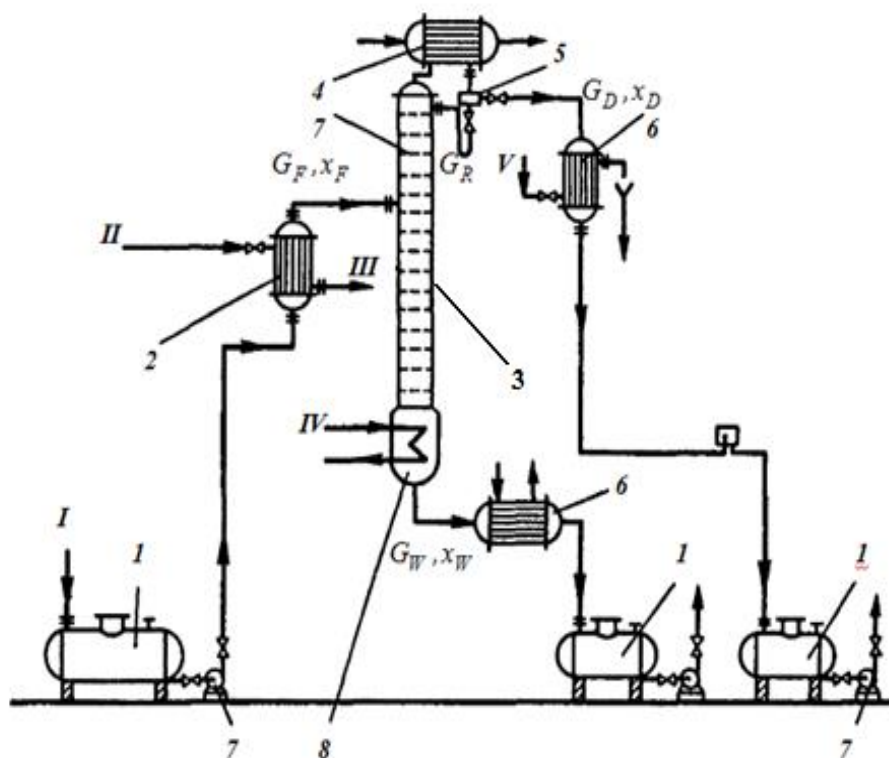
Рассмотрим случай типового химико-технологического процесса, а именно разделение гомогенной бинарной системы

на дистиллят и кубовый остаток методом непрерывной ректификации (рис.).

Минимум затрат на проведение процесса дает возможность получить максимальную прибыль от реализации конечных продуктов (дистиллята и кубового остатка) и обеспечивает максимальную рентабельность установки [5, 6].

Исходными данными технико-экономического расчета являются выходные величины гидравлических вычислений и эффективности тарелок различных конструкций [7, 8].

Расчет выполняется с применением прикладных компьютерных математических программ [9, 10].



Ректификационная установка непрерывного действия:
 1 – сборники, 2 – подогреватель, 3 – ректификационная колонна, 4 – дефлегматор, 5 – разделительный сосуд, 6 – холодильники, 7 – насосы, 8 – кипятильник.
 Потoki: I – исходная смесь, II – водяной пар, III – конденсат, IV – греющий пар, V – вода

Двумерный массив исходных данных сравнительного анализа

i (типы конструкций колонн)	j (значения переменных)	D_1 , м	H , м	M , кг	ΔP , Па
Насадочная колонна		$D_{1,ij}$	H_{ij}	M_{ij}	ΔP_{ij}
Барботажная колонна с ситчатыми тарелками		$D_{1,i+1}$	H_{i+1}	M_{i+1}	ΔP_{i+1}
Барботажная колонна с клапанными тарелками		$D_{1,i+2}$	H_{i+2}	M_{i+2}	ΔP_{i+2}
Барботажная колонна с колпачковыми тарелками		$D_{1,i+3}$	H_{i+3}	M_{i+3}	ΔP_{i+3}
Барботажная колонна с провальными тарелками		$D_{1,i+4}$	H_{i+4}	M_{i+4}	ΔP_{i+4}

Для создания циклических вычислений и поиска оптимального варианта конструкции колонны целесообразно представить результаты предыдущих вычислений в виде двумерного массива (матрицы) $A(i, j)$ с конечным числом строк i и столбцов j , который в общем виде отображён в таблице.

Также в алгоритм вводятся:

— диаметры D_1 , высоты H , массы M , гидравлические сопротивления ΔP рассчитанных конструкций (в виде двумерного массива);

— рыночные цены дистиллята P_1 , руб./кг; кубового остатка P_2 , руб./кг; электроэнергии P_3 , руб./(кВт·час); воды

P_4 , руб./кг; греющего пара P_5 , руб./кг; единицы массы металла P_6 , руб./кг;

— секундные массовые расходы дистиллята G_D , кг/с; кубового остатка G_W , кг/с;

— общие расходы греющего пара G_0 , кг/с и охлаждающей воды V_0 , м³/с, установки;

— средние массовые расходы паровой фазы в верхней $G(1)$, кг/с и нижней $G(2)$, кг/с части колонны;

— средние плотности паровой фазы в верхней $\rho_y(1)$, кг/м³ и нижней $\rho_y(2)$, кг/м³ части колонны.

Рыночные цены на перечисленные выше статьи доходов и расходов зависят от множества факторов и могут принимать значения в широком диапазоне. Выбор цен является субъективным случаем и должен осуществляться с учетом конъюнктуры рынка, региона, конкурентоспособности технологии и так далее.

С целью упрощения расчетов примем следующие допущения.

Предположим, что в данном технологическом процессе товарную ценность представляют оба продукта разделения, поэтому дистиллят и кубовый остаток полностью подлежат последующей реализации за установленные цены P_1 и P_2 .

Частью расходов и капиталовложений, не связанных с изменениями в принимаемых к расчету конструкциях (условно-постоянные эксплуатационные затраты, эксплуатация периферийного и теплообменного оборудования, отчисления и годовой фонд оплаты труда работников), при вычислении рентабельности можно пренебречь.

1. Капитальные затраты K в общем случае определяются исходя из массы M (металлоемкости оборудования с учетом рыночной стоимости приобретения единицы массы металла и транспортно-монтажных затрат (последние принимаются в размере 10 % от общей стоимости оборудования):

$$K = 1,1 \cdot M \cdot P_6, \text{руб.}$$

2. С учетом допущений эксплуатационные затраты E складываются из энергетических затрат на теплоносители E_1 и на преодоление гидравлического сопротивления движению пара в колонне E_2 , из накладных расходов на содержание оборудования E_3 , амортизационных отчислений E_4 :

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4, \text{руб./год.}$$

3. При этом годовые материальные затраты (с пересчетом секундных расходов в годовые) составляют:

$$E_1 = 31536000 \cdot (G_0 \cdot P_5 + V_0 \cdot P_4), \text{руб./год.}$$

4. Годовые затраты электроэнергии насосов на перекачивание паров в колонне:

$$N = 0,5 \cdot \left(\frac{G(1)}{\rho_y(1)} + \frac{G(2)}{\rho_y(2)} \right) \cdot \Delta P + H, \text{Вт/с;} \\ E_2 = 31536 \cdot N \cdot P_3, \text{руб./год.}$$

5. Годовые расходы на содержание, эксплуатацию и текущий ремонт колонны (накладные расходы) ориентировочно принимаются в размере 15 % от величины капиталовложений:

$$E_3 = K \cdot 0,15, \text{руб./год.}$$

6. Амортизация основных фондов зависит от нормативного срока службы моделируемой установки. Примем срок службы $T = 15$ лет. Тогда годовые амортизационные отчисления (в пересчете на начальный период работы колонны) будут:

$$E_4 = K \cdot T^{-1}, \text{руб./год.}$$

7. Годовая валовая выручка Pr_1 , которая может быть получена от реализации товарного дистиллята и кубового остатка, вычисляется по формуле (включая пересчет секундных расходов):

$$Pr_1 = 31536000 \cdot (G_D \cdot P_1 + G_W \cdot P_2), \text{руб./год.}$$

8. Чистая годовая прибыль Pr_2 учитывает эксплуатационные затраты процесса и различные финансовые отчисления по налогам и сборам.

В данном случае налоговые сборы являются постоянной величиной и в сравнительном анализе вариантов установки особого значения не имеют (при условии, что рыночные цены были введены в алгоритм без ставки налога на добавочную стоимость):

$$Pr_2 = Pr_1 - E, \text{руб./год.}$$

9. Рентабельность PI характеризует эффективность капиталовложений и величину текущих затрат и является выбранным критерием оптимальности процесса ректификации:

$$PI = \frac{Pr_2}{K} \cdot 100, \%$$

10. Строгих мировых регламентов величины рентабельности нет, она может изменяться в широких пределах. Общепринято, что при значении $PI > 30$ % технология считается эффективной. В неко-

торых случаях в зависимости от назначения технологии в производственном процессе могут приниматься к реализации технологические схемы, имеющие $PI < 30\%$ (в частности, технологии защиты окружающей среды).

В данном примере целью реализации процесса является в конечном итоге получение прибыли, поэтому наилучшим вариантом конструкции колонны будет та, для которой значение рентабельности будет максимально (соответственно, величины затрат будут минимальны).

11. На основе расчетов по вышеуказанным формулам формируется массив значений рентабельности $PI(i)$ для каждого варианта конструкции колонны.

Далее производится определение максимального значения элемента массива $PI(max)$ в циклическом блоке и вывод того ряда параметров $D_1, H, M, \Delta P$ рассчитанных конструкций, которому соответствует элемент $PI(max)$.

В описанный выше алгоритм можно вводить и другие данные, варьировать число конструкций колонн, подлежащих экономическому обоснованию и оптимизации, принимать другие критерии оптимального выбора ректификационной уста-

новки (минимальные приведенные затраты, чистую денежную доходность технологии, наименьший объем аппарата, наибольшую скорость паров и прочее), рассчитывать критерий оптимальности по более полному технико-экономическому обоснованию и так далее, изменяя при этом последовательность расчетных зависимостей.

Практическая реализация программного продукта, созданного на основе данного алгоритма, позволит модернизировать расчетные методики, используемые в проектных организациях, технологических и исследовательских центрах производственных компаний.

Кроме того, алгоритм с определением производственных функций (зависимость экономических издержек от объема производства товарного продукта) для ряда значений производительности технологических установок позволит прогнозировать эффект масштаба технологии при переходе от лабораторных исследований к промышленному проектированию, а также позволит оценивать изменение средних издержек на предпроектной стадии коммерциализации химико-технологических разработок.

Библиографический список

1. Лисицын Н.В. Оптимизация нефтеперерабатывающего производства. СПб.: Химиздат, 2003. 184 с.
2. Зиятдинов Н.Н. Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов и систем // Теоретические основы химической технологии. 2017. Т. 51. № 6. С. 613–617.
3. Сомов В.Е., Садчиков И.А., Шершун В.Г. Стратегические приоритеты российских нефтеперерабатывающих предприятий. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2002. 292 с.
4. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. М.: Химия, 1975. 576 с.
5. Кореляков Л.В., Шершун В.Г. Российская нефтепереработка // Нефть и капитал. 2002. № 12. С. 18–24.
6. Садчиков И.А., Сомов В.Е., Колесов М.Л. Экономика химической отрасли. СПб.: Химиздат, 2000. 384 с.
7. Лисицын Н.В., Кривоспицкий А.И., Кузичкин Н.В. Оптимальное управление установкой первичной переработки нефти // Теоретические основы химической технологии. 2002. Т. 36. № 3. С. 303–308.
8. Лисицын Н.В. Организация управления нефтеперерабатывающим предприятием // Нефтепереработка и нефтехимия. 2002. № 9. С. 11–15.
9. Советин Ф.С., Гартман Т.Н., Шакина Э.А. Алгоритм разработки компьютерных моделей сложных химических производств с применением комплексов моделирующих программ // Химическая промышленность сегодня. 2018. № 2. С. 49–56.
10. Советин Ф.С., Гартман Т.Н., Иванова А.Н. Разработка компьютерной модели крупнотоннажной технологической схемы получения стирола // Химическая техника. 2018. № 10. С. 30–34.

Сведения об авторах / Information about the Authors

Савина Мария Андреевна,
студентка группы ХТОБп-16-2,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Российская Федерация,
e-mail: masha060991@mail.ru

Maria A. Savina,
Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation,
e-mail: masha060991@mail.ru

Гунич Сергей Васильевич,
директор,
АО «Инновационно-технологические системы»,
107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, 9,
Российская Федерация,
e-mail: e.t.systems@mail.ru

Янчуковская Елена Владимировна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры химической технологии,
Институт высоких технологий,
Иркутский национальный исследовательский техни-
ческий университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Российская
Федерация,
e-mail: lenyan@istu.edu

Sergey V. Gunich,
Director,
JSC «Innovation and Technological Systems»,
9 Verkhnyaya Krasnoselskaya Str., Moscow, 107140,
Russian Federation,
e-mail: e.t.systems@mail.ru

Elena V. Yanchukovskaya,
Cand. Sci. (Technics),
Associate Professor, Department of Chemical Technol-
ogy,
Institute of High Technologies,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federa-
tion,
e-mail: lenyan@istu.edu