

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

САРКИС КАНТАРДЖЯН, ГАГИК ЕГАНЯН

Процессы производства в химической промышленности представляют собой сложные «человеко-машинные» системы, отличающиеся рядом специфических особенностей: сложной технологической схемой, сочетанием специализированного и типового оборудования, многоступенчатостью, прямыми и обратными материальными потоками, комплексным использованием сырья. В этих условиях значительно повышаются требования к качеству проектно-конструкторских и производственно-эксплуатационных решений, принимаемых при создании новых и эксплуатации уже существующих производств. Необходимо обеспечить получение продуктов с минимальной стоимостью и максимально эффективным использованием оборудования. Для достижения этой цели необходимо выбрать надлежащий метод производства, соответствующее промышленное оборудование, построить рациональную технологическую схему. Система управления подобными производствами должна базироваться на определенной системе экономико-математических моделей отдельных типовых процессов, типовых технологических схем участков, цехов и предприятий в целом, на средствах современной вычислительной техники и математических методах оптимизации.

Экономико-математические модели типовых процессов, применяемых в производстве хлоропреновых каучуков и латексов, подробно описаны в литературе¹.

Построение эффективных экономико-математических моделей практически всех классов, типов и назначений, в том числе применяемых в производстве хлоропреновых каучуков и латексов, возможно, по нашему глубокому убеждению, только на основе идей системного анализа². Необходимость системного подхода к моделированию химической технологии вытекает из того, что современное химическое производство является сложной динамической вероятностной системой, состоящей из большого числа взаимосвязанных типовых технологических стадий, участков и процессов. Системный анализ и его основной инструмент—математическое моделирование—позволяют более четко сформулировать проблему оптимального проектирования и эксплуатации химического производства.

логических процессов, М., 1980.

¹ С. Л. Кантарджян, Экономические проблемы оптимизации химико-техно-

² «Проблемы методологии системного исследования», М., 1970.

Каковы же общие основные этапы экономико-математического моделирования типовых процессов химической технологии?

Известно, что любое химическое производство можно представить состоящим из следующих основных технологических стадий: подготовка сырья; получение целевого продукта путем реакций химического взаимодействия исходных сырьевых материалов; выделение продукта из реакционной смеси. Все многообразие процессов химической технологии можно свести к пяти основным группам процессов: гидродинамические, тепловые, диффузионные или массообменные, механические и химические. Задача первого этапа экономико-математического моделирования—определить к какой из перечисленных выше групп относится моделируемый типовой процесс. На этом этапе предопределяется использование на стадии математического описания типового процесса законов гидродинамики, теплообмена, механики твердых тел и химических взаимодействий.

Второй этап начинается с получения формального математического описания. На этом этапе необходимо провести единый количественный и качественный анализ моделируемого процесса, установить необходимые условия, обеспечивающие его протекание, выявить определяющие факторы, организовать сбор и упорядочить исходные числовые данные, исследовать взаимное влияние параметров и факторов. Этот этап завершается созданием математической модели процесса.

Поскольку большинство процессов химической технологии отличается значительным количеством параметров, определяющих технологический процесс, учет всех этих факторов при составлении математической модели практически невозможен. Поэтому во время качественного анализа приходится схематизировать связи процессов, выделять главное, отвлекаться от второстепенного. Математические модели, таким образом, представляют собой некоторую абстракцию реальной действительности. При построении моделей химико-технологических процессов и при решении вопроса о степени их сложности (число уравнений, число переменных, их степени и т. д.) допускается некоторое «огрубление» в отражении действительности. Очевидно, что для успешного использования математической модели при решении задач оптимизации необходимо, чтобы модель достаточно верно описывала качественные и количественные свойства моделируемого объекта, т. е. она должна быть адекватна моделируемому объекту. Поэтому, прежде чем приступить к решению оптимизационной задачи, на этом этапе экономико-математического моделирования устанавливают адекватность модели изучаемому объекту. С одной стороны, такая проверка позволяет оценить точность уравнений математической модели и, следовательно, возможность их применения для целей оптимизации. С другой стороны, она может быть использована для устранения систематических ошибок в результатах моделирования. Эти ошибки обусловлены тем, что в уравнениях математического описания неточно заданы некоторые чис-

ленные параметры, величины которых нельзя задать достаточно точно исходя только из теоретических соображений или из предшествующего опыта.³

Если система (технологический процесс) с достаточной для исследования полнотой отражается моделью, то последняя содержит в себе всевозможное множество вариантов. Следовательно, есть необходимые условия для сравнения или просмотра всех вариантов на основе количественной оценки качества объекта моделирования, обычно называемого критерием оптимальности. Выбор критерия оптимальности (целевой функции) является задачей следующего этапа экономико-математического моделирования. В литературе отмечается, что наиболее общей постановкой оптимизационной задачи служит выражение критерия оптимальности в виде экономической оценки.⁴ Это связано, прежде всего, с созданием и эксплуатацией реальных процессов, для чего необходимы некоторые материальные затраты, от которых ожидается определенный экономический эффект, исчисляемый в зависимости от количественных и качественных характеристик выпускаемой продукции. Окончательному выбору конкретного критерия оптимальности должен соответствовать тщательный и всесторонний экономический анализ моделируемого объекта. Вид критерия оптимальности определяется конкретным содержанием решаемой задачи и оказывает существенное влияние на ход последнего этапа экономико-математического моделирования, состоящего в том, чтобы на основе экономико-математической модели дать полный анализ различных экономических явлений, неизбежных при ее практическом использовании. Для этого необходимо реализовать модель, т. е. решить ее как математическую задачу и найти значения переменных, удовлетворяющих уравнениям, неравенствам, а также требованиям, которые предъявляются к целевой функции.

Очень часто возникает необходимость в выборе не одного конкретного критерия, а ряда критериев. Это объясняется тем, что технологическим регламентом обычно задается область технологически допустимых изменений эксплуатационных параметров, существенно влияющих на величину материальных и энергетических затрат при проведении процессов. Как правило, изменение этих параметров приводит к одновременному изменению трех основных технико-экономических показателей процесса: количества продукции (производительности аппарата), ее качества и себестоимости, а улучшение одного из упомянутых показателей сопровождается нередко ухудшением других. Отсюда и возникает необходимость нахождения компромиссного режима, удовлетворяющего оптимальным значениям всех трех критериев.

³ А. И. Бояринов, В. А. Кафаров, Методы оптимизации химической технологии, М., 1969.

⁴ Там же.

Проиллюстрируем изложенные выше принципы моделирования и оптимизации химических производств на примере одного из основных типовых процессов, применяемых в производстве хлоропреновых каучуков и латексов — процесса ректификации моновинилацетилена. Выбор ректификационного устройства в качестве объекта экономико-математического моделирования не случаен. В основу его положены следующие соображения. Именно в ректификационных колоннах происходит окончательная очистка моновинилацетилена (МВА) — основного сырья, используемого для получения хлоропрена.

Математическая модель процесса ректификации МВА получена методами математической статистики, в частности многофакторным корреляционным анализом.⁵ Получены следующие уравнения множественной регрессии (в скобках указана величина множественного коэффициента корреляции):

$$y_1 = -40,67 + 0,44X_1 + 0,6X_2 + 0,31X_3 - 0,09X_4 + 0,61X_5 (0,860)$$

$$y_2 = 94,03 + 0,04X_1 + 0,05X_2 + 0,03X_3 - 0,007X_4 + 0,051X_5 (0,875)$$

$$y_3 = 169,96 + 0,414X_1 - 1,652X_2 + 1,11X_3 + 0,63X_4 + 1,241X_5 (0,865)$$

$$R = -0,49 + 0,01X_1 - 0,02X_2 + 0,006X_3 - 0,02X_4 + 0,014X_5 (0,900),$$

где y_1 — количество МВА на выходе из системы ректификации, т/смену;

y_2 — чистота МВА в %;

y_3 — технологические затраты на проведение процесса, руб./смену;

X_1 — количество смеси на входе в систему, т/смену;

X_2 — расход рассола на дефлегматор первичной ректификации, т/смену;

X_3 — расход рассола на дефлегматор повторной ректификации, т/смену;

X_4 — температура в кубе первичной ректификации, °С;

X_5 — температура в кубе повторной ректификации, °С;

R — флегмовое число, характеризующее эффективность проведения процесса;

Проверка степени адекватности полученных уравнений моделируемому процессу показала, что средние относительные ошибки, допускаемые при расчетах по каждому из этих уравнений, колеблются в пределах точности, необходимой для практических расчетов.

На основе этого описания поставлена и решена следующая оптимизационная задача: в области допустимых изменений регулируемых параметров найти такое их сочетание, при котором достигается компромисс между величинами выпуска МВА из системы, чистотой МВА и технологическими затратами на проведение процесса, т. е.

найти $y_1 \rightarrow \max$, $y_2 \rightarrow \max$, $y_3 \rightarrow \min$, при

$$x_j^{\min} \leq x_j \leq x_j^{\max} \quad j = \overline{1, 5}, \quad R^{\min} \leq R \leq R^{\max}.$$

⁵ Я. И. Лужомский, Теория корреляции и ее применение к анализу производства, М., 1961.

Для решения сформулированной многокритериальной оптимизационной задачи использовался алгоритм, разработанный одним из авторов статьи.⁶

В таблице 1 приведены значения управляемых параметров, вычисленных как для оптимального компромиссного режима, так и для режима нормальной эксплуатации.

Таблица 1

Технико-экономические показатели проведения процесса	Режим нормальной эксплуатации	Оптимальный компромиссный режим
x_1 т/смену;	24,72	26,21
x_2 т/смену;	39,24	40,56
x_3 т/смену;	47,55	45,24
x_4 °C;	47,54	46,304
x_5 °C;	30,35	31
R	0,399	0,29
y_1 т/смену;	23,131	23,724
y_2 %;	99,59	99,72
y_3 руб./смену;	155,55	154,721

Как видно из приведенных данных, в компромиссном режиме производительность системы по выпуску МВА увеличилась на 0,593 т/смену, а чистота МВА повысилась на 0,13%. При этом одновременно снизились технологические затраты на 0,83 руб./смену.

ՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱՐԻՅՈՒՆԱՐԵՐՈՒԹՅԱՆ ՏՊԱՅԻՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԻ ՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻՈՒՄԸ

ՍԱՐԳՍՍ ՂԱՆԹԱՐՋՅԱՆ, ԳԱԳԻԿ ԵԳԱՆՅԱՆ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Քիմիական արդյունաբերության մեջ իրականացվող արտադրական պրոցեսները միմյանց հետ փոխադարձ բարդ կապերով կապակցված, բայց տեխնոլոգիական տեսանկյունից մասնագիտացված տիպային պրոցեսներ են: Վերջիններիս թվին է պատկանում նաև ռեկտիֆիկացիոն պրոցեսը, որը հնարավորություն է տալիս ստանալու բարձր մաքրության աստիճան ունեցող քիմիական նյութեր: Այդ պրոցեսն ընթանում է ռեկտիֆիկացիոն աշխատատարներում, որոնց կշիռը հասնում է հարյուրավոր տոննաների, իսկ արժեքը՝ հարյուր-հազարավոր ուրբինների: Վերջիններիս ինչպես տեղակայումը, այն-

⁶ Գ. Կ. Եգանյան, Алгоритм определения множества Парето в задачах векторной оптимизации (в сб. «Автоматизированные системы планирования и управления», Ереван, 1981, с. 154—162).

պես էլ շահագործման ընթացքում անհրաժեշտ տեխնոլոգիական ռեժիմների պահպանումը կապված է նյութական և էներգետիկ մեծ ծախսումների հետ։ Այդ պատճառով էլ ռեկտիֆիկացիոն պրոցեսի իրականացման համար տնտեսապես հիմնավորված լավագույն տարբերակների ընտրության խնդիրն ունի մեծ ժողովրդատնտեսական նշանակություն։ Նշված խնդրի լուծումը հնարավոր է միայն ռեկտիֆիկացիոն պրոցեսի համապատասխան տնտեսամաթեմատիկական մոդելի առկայության պայմաններում, որն արտահայտում է նրա ընթացքը բնութագրող հիմնական տեխնոլոգիական պարամետրերի և այդ պրոցեսի տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների միջև եղած կապը։