

УДК 66.011.001.57

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВ СИНТЕТИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ

© А.В. Майстренко, Н.В Майстренко, И.Л. Коробова

Ключевые слова: гибкая технологическая схема, интерактивное моделирование и проектирование, синтетические красители.

Анализируются подходы к интерактивному моделированию и проектированию технологических объектов, в которых все чаще используют методы структурно-параметрического синтеза для автоматического формирования математических моделей проектируемых объектов. Рассматривается работа информационной системы моделирования и проектирования химико-технологических процессов для автоматизированного проектирования принципиальных технологических схем.

Анализ и синтез современных химико-технологических схем, имеющих, как правило, рециклы и замкнутую структуру, повышение качества и сокращение сроков их проектирования невозможно выполнить без применения современных средств компьютерного моделирования и интерактивных программных систем.

Первый этап в развитии компьютерного моделирования был связан с расчетом материальных и тепловых балансов, использованием наиболее полных и совершенных модулей для расчета технологических аппаратов и банка физико-химических свойств, отвечающего последним достижениям в химической технологии [1]. Была выработана общая концепция универсальной моделирующей программы для расчета ХТС, состоящей из организующей программы, библиотеки модулей для расчета химико-технологических аппаратов, банка физико-химических свойств и библиотеки математических модулей. В результате длительного процесса (1960–1980 гг.) из общего числа разработанных программ выделились четыре универсальные моделирующие программы, которые заняли лидирующее положение в мире: ASPEN PLUS, HYSIS, CHEMCAD и PRO/II. Указанные программы обладают обширными библиотеками технологических модулей, объемными банками физико-химических свойств и удобным для пользователя интерфейсом, что позволяет их широко использовать при проектировании новых и реконструкции действующих ХТС. При этом следует отметить как общую тенденцию – стремление переходить на использование в расчетах все более сложных и, соответственно, более точных математических моделей химико-технологических аппаратов.

Начало второго этапа можно условно отнести ко второй половине 1980-х гг., когда в универсальные моделирующие программы были введены оптимизационные процедуры, и их стали применять не только для расчета материальных и тепловых балансов, но и для оптимизации стационарных режимов ХТС [1]. Однако их использование для оптимизации носило редкий, в основном, исследовательский характер. Причина здесь кроется в значительно большей математической труд-

ности оптимизационного расчета по сравнению с балансовым и в непривычности целевой функции оптимизации для разработчиков новых химических технологий и проектировщиков. Но главное принципиальное затруднение связано с наличием неопределенности в исходных данных, с которыми мы должны решать задачу оптимизации. Неопределенности практически всегда имеют место на этапе проектирования и часто – на этапе эксплуатации ХТС. Учет неопределенности информации требует как разработки новых математических постановок задач, так и новых подходов и методов их решения [1].

В настоящее время мы находимся в преддверии третьего этапа в развитии компьютерного моделирования, который отличается от первых двух тем, что при моделировании учитывается неполнота (неопределенность) информации о ХТС. Кроме того, на этом этапе приобретают решающее значение задачи автоматизации процесса подготовки, сбора и обработки больших объемов информации, в т. ч. графической, и максимального использования накопленных инженерных знаний при оптимизации и проектировании ХТС в условиях неопределенности. Решение этих задач требует создания компьютерной среды для формализации профессиональных знаний и инструментальных средств, облегчающих и ускоряющих исследователям и проектировщикам процессы подготовки, сбора и анализа исходных данных, а также интерактивного моделирования, оптимизации и проектирования ХТС. В традиционной схеме компьютерного моделирования компьютерная поддержка осуществляется только на стадии проведения вычислительного эксперимента, оставляя в стороне такие стадии, как построение математической модели функционирования ХТС, выбор экономичного алгоритма и составление программы, формализация и решение задач оптимизации, анализ и обработка результатов компьютерного моделирования и оптимизации ХТС, синтез технологических схем.

Одним из самых важных моментов при разработке принципиальных технологических схем химических производств является определение числа и типов реак-

торных систем, входящих в состав проектируемой установки. При этом размеры выбранных реакторных систем должны быть таковыми, чтобы обеспечивать требуемую производительность всей установки в целом.

Однако часто при проектировании аппаратного оформления химико-технологических процессов гораздо целесообразнее в процессе решения не находить конструктивные параметры реакторных систем тонкого органического синтеза, а, задаваясь геометрическими размерами соответствующих модулей реакторных систем, определять число модулей. При этом, формируя конфигурацию установки, следует помнить, что со-

вмещение технологического оборудования на стадиях синтеза допустимо лишь в тех случаях, когда оно не приводит к ухудшению качества целевого продукта. Выбор той или иной структуры установки во многом определяется и набором требований, предъявляемых к ней, и задачами, для решения которых она предназначена.

Для автоматизированной разработки принципиальной технологической схемы гибкого производства азопигментов нами использовалась разработанная автоматизированная информационная система принятия решений в производстве органических полупродуктов и красителей [2].

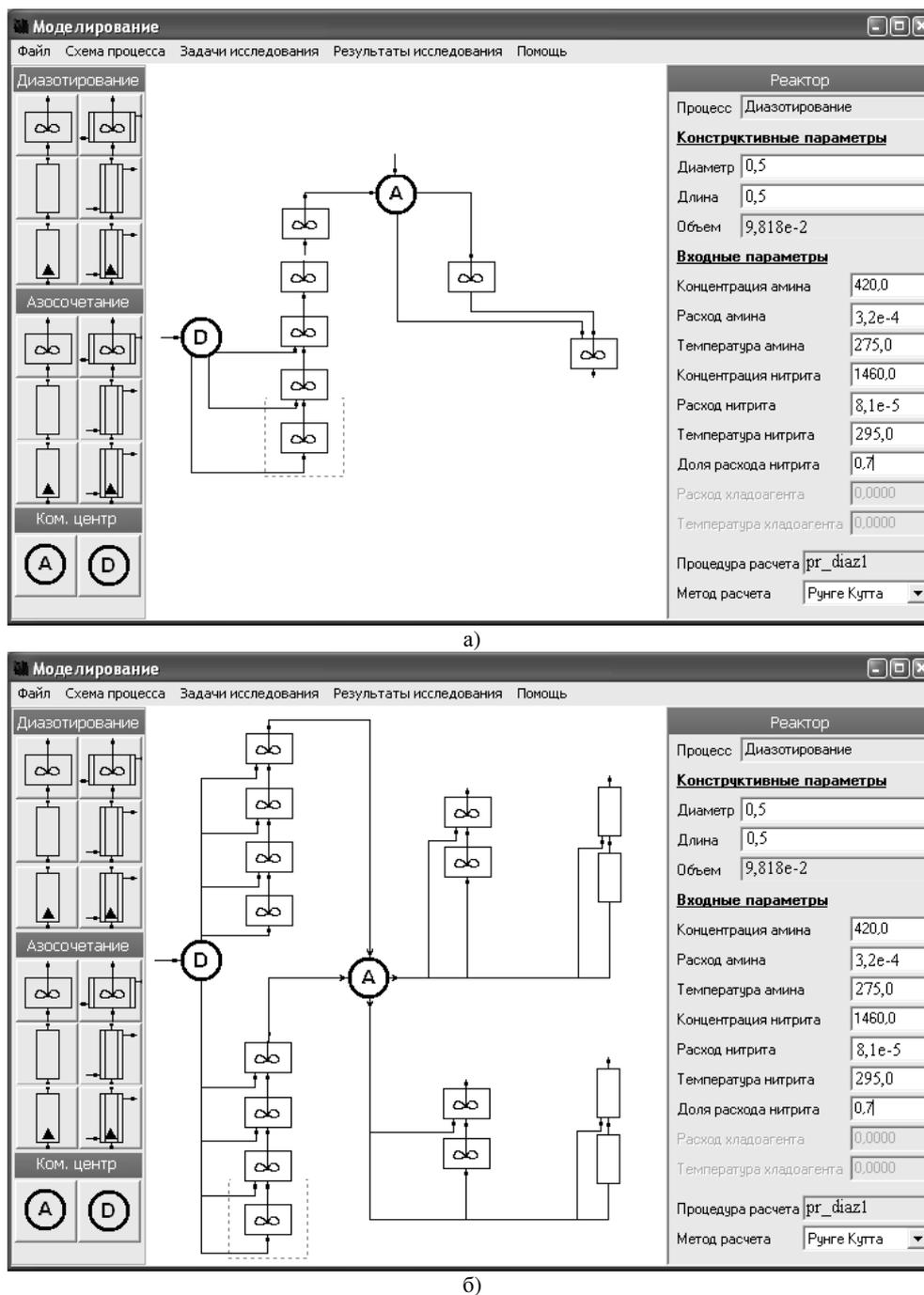


Рис. 1. Технологические схемы полупромышленной гибкой автоматизированной установки непрерывного синтеза азопигментов

Таблица 1

Расчет технологической схемы, изображенной на рис. 1а

<b>Реакторная система диазотирования</b>		
<i>Входные данные для расчета</i>		
Наименование величины	Значение	Размерность
1	2	3
Заданная производительность по сухому пигменту		
	1000	т/год
Число модулей	5	шт.
Объем модуля	0,098	м <sup>3</sup>
Температуры на входе в реакторную систему:		
суспензии амина	275	К
раствора нитрита натрия	295	К
Концентрации компонентов на входе:		
суспензии амина	420,0	моль/м <sup>3</sup>
раствора нитрита натрия	1460,0	моль/м <sup>3</sup>
Расходы на входе в реакторную систему:		
суспензии амина	3,168·10 <sup>-4</sup>	м <sup>3</sup> /с
раствора нитрита натрия	8,132·10 <sup>-5</sup>	м <sup>3</sup> /с
общий расход смеси	3,981·10 <sup>-5</sup>	м <sup>3</sup> /с
Распределение нитрита по модулям:		
1-й	0,71	доли
2-й	0,25	доли
3-й	0,04	доли
4-й	0,0	доли
5-й	0,0	доли
<i>Результаты расчета</i>		
Концентрации основных компонентов в смеси:		
амина твердого	2,274	моль/м <sup>3</sup>
амина жидкого	0,015	моль/м <sup>3</sup>
диазосоединения	319,6	моль/м <sup>3</sup>
диазосмол 1 (от разложения диазосоединения)	0,98	моль/м <sup>3</sup>
диазосмол 2 (от разложения диаз. и азотистой кислоты)	0,64	моль/м <sup>3</sup>
нитрозных газов	0,018	моль/м <sup>3</sup>
Расчетная производительность по сухому пигменту	1001,2	т/год
Выход диазосоединения	98,2	%
Проскок амина	0,81	%
Содержание диазосмол	0,49	%
Содержание нитрозных газов	0,73	%
<b>Реакторная система азосочетания</b>		
<i>Входные данные для расчета</i>		
Число модулей	2	шт.
Объем модуля	0,581	м <sup>3</sup>
Концентрации компонентов на входе:		
диазосоединения	319,6	моль/м <sup>3</sup>
азосоставляющей	310,0	моль/м <sup>3</sup>
Расходы на входе в реакторную систему:		
диазосоединения	3,981·10 <sup>-4</sup>	м <sup>3</sup> /с
азосоставляющей	4,150·10 <sup>-4</sup>	м <sup>3</sup> /с
общий расход в реакторную систему	1,660·10 <sup>-3</sup>	м <sup>3</sup> /с
Распределение диазосоединения по секциям:		
1-я	0,853	доли
2-я	0,147	доли
Кислотность среды в секциях:		
pH1	7,28	ед. pH
pH2	7,41	ед. pH
<i>Результаты расчета</i>		
Концентрации компонентов в смеси:		
азопигмента	79,80	моль/м <sup>3</sup>
азосоставляющей	3,84	моль/м <sup>3</sup>
диазосоединения	0,042	моль/м <sup>3</sup>
диазосмол	0,705	моль/м <sup>3</sup>
Выход азопигмента	99,12	%
Содержание диазосмол	0,86	%
Физико-колористические показатели:		
Основной тон	7,35	ед. сист. Рихтера
Насыщенность	3,4	ед. сист. Рихтера
Красящая способность	2,3	К/С
Укрывистость	24,4	г/м <sup>2</sup>
Прозрачность, коэффициент контрастности	82,9	%
Маслоемкость	75,6	г/100 г
Текучесть	17,9	мм
Растворимость	0,19	кг/м <sup>3</sup>

Так, на стадии отработки непрерывных технологических процессов диазотирования и азосочетания может использоваться автоматизированная установка получения азопигментов общей производительностью 1000 т/год (рис. 1а). Диазотирование в этой установке проводится непрерывно в 5-модульной реакторной системе диазотирования типа «царга-тарелка», куда подается предварительно охлажденная солянокислая суспензия амина. Из реакторной системы диазотирования диазосоединение самотеком поступает в каскад реакторов азосочетания. Для более качественного проведения процесса сочетания осуществляется распределенная подача диазосоединения между реакторами азосочетания.

Как показывают расчеты, разработанная при помощи автоматизированной информационной системы принятия решений технологическая схема производства азопигментов (рис. 1а) обладает достаточной эффективностью и обеспечивает приемлемый для реального производства выход и качество целевого продукта.

Такая установка синтеза азопигментов позволяет получать не только различные марки азокрасителей, но и осуществлять все важнейшие реакции тонкого органического синтеза, встречающихся в производстве синтетических красителей, химикатов-добавок для полимерных материалов и др.

Обладая высокой степенью гибкости в смысле варьирования колористических параметров азопигментов, рассмотренная установка, тем не менее, позволяет получать азопигмент только одной цветовой гаммы. В этом отношении выгодно отличается гибкая установка непрерывного синтеза азопигментов, представленная на рис. 1б. В состав установки входят две модульные реакторные системы диазотирования типа «царга-тарелка» и четыре модульные реакторные системы азосочетания емкостного и трубного типов. Установка такой структуры позволяет одновременно набирать несколько марок азопигментов, различающихся по цвету.

Однако структура гибкой установки непрерывного синтеза азопигментов, изображенная на рис. 1б, хотя и позволяет набирать несколько различных по цвету марок азокрасителей, обладает рядом недостатков. Один из них, наиболее существенный, заключается в сложности трубопроводных коммуникаций. Это сдерживает расширение производства за счет увеличения номенклатуры выпускаемой продукции, т. к. необходимость ввода новых реакторных систем повлечет за собой еще большую сложность и запутанность технологических коммуникаций.

Тем не менее, автоматизированная информационная система принятия решений в производстве органических полупродуктов и красителей позволяет синтезировать структуры реакторных установок производства органических полупродуктов и красителей любой сложности и рассчитать номинальный режим полученной технологической схемы.

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты расчета номинального режима для технологической схемы, изображенной на рис. 1а.

Анализируя данные табл. 1, можно заметить, что разработанная при помощи графической базы данных технологическая схема производства азопигментов (рис. 1а) обладает достаточной эффективностью и обеспечивает приемлемый для реального производства выход и качество целевого продукта, что позволяет ее рекомендовать для промышленной реализации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Волин Ю.М., Островский Г.М.* Три этапа компьютерного моделирования химико-технологических систем // ТОХТ. 2006. Т. 40. № 3. С. 302–312.
2. *Майстренко А.В., Игнатьева Н.В.* Интеллектуальная система моделирования, оптимизации и проектирования процессов и аппаратов // Математические методы в технике и технологиях: тез. докл. 15 Междунар. конф. Тамбов, 2002. Т. 9. С. 14–15.

Поступила в редакцию 5 сентября 2008 г.

Maystrenko A.V., Maystrenko N. V., Korobova I.L. Computer aided design of principle technological schemes of flexible production of synthetic dye staffs. The approaches to interactive modeling and designing of technological objects, which include structure-parametric syntheses methods for automatic mathematical models creating, are analyzed. Functioning of the information system of modeling and designing of chemical-technological processes for computer aided design of principle technological schemes is considered.

Key words: flexible technological scheme, interactive modeling and designing, synthetic dyes.

#### LITERATURE

1. *Volin Y.M., Ostrovsky G.M.* Three stages of computer modelling of chemical-technological systems // TOKHT. 2006. Vol. 40. # 3. P. 302-312.
2. *Maystrenko A.V., Ignatyeva N.V.* Intellectual system of modelling, optimization and designing of processes and devices // Theses of Reports of 15 International Conference «Mathematical Methods in Technics and Technologies». Tambov, 2002. Vol. 9. P. 14-15.