

УДК 658.5:001.89

Алгоритм оптимизации ассортимента гибких производственных систем малотоннажной химии

Болдырев Вениамин Станиславович^{1(*)}

boldyrev.v.s@bmstu.ru

SPIN-код: 6459-7608

Меньшиков Владимир Викторович²

vm_uti@muctr.ru

SPIN-код: 5176-4200

Байбикова Вера Викторовна³

vera.baybikova@gmail.com

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия³ ООО «Системные решения», Москва, Россия

Аннотация. Показан эффективный алгоритм оптимизации ассортимента, выпускаемого на гибких химико-технологических системах. Описаны характеристики проведения группировки и выделение общей для всех признаков совокупности продуктов. Алгоритм позволяет упорядочить ассортимент так, чтобы найти минимальное время, необходимое для всего списка продуктов в соответствии с рассчитанными вариантами, а также предоставляется возможность изменить структуру производственной химико-технологической системы.

Ключевые слова: малотоннажная химия, инжиниринг, ассортимент, оптимизация, химико-технологическая система

Algorithm for optimizing the range of flexible manufacturing systems for Low-ton chemicals

Boldyrev Veniamin Stanislavovich^{1(*)}

boldyrev.v.s@bmstu.ru

SPIN-код: 6459-7608

Men'shikov Vladimir Viktorovich²

vm_uti@muctr.ru

SPIN-код: 5176-4200

Baybikova Vera Viktorovna³

vera.baybikova@gmail.com

¹ BMSTU, Moscow, Russia² MUCTR, Moscow, Russia³ LLC "System Solutions", Moscow, Russia

Abstract. An effective algorithm for optimizing the range of products manufactured on flexible chemical-technological systems is shown. The characteristics of grouping and identifying a set of products common to all features are described. The algorithm allows you to organize the range so as to find the minimum time required for the entire list of products in accordance with the calculated options, and also provides the ability to change the structure of the chemical-technological system.

Keywords: low-tonnage chemistry, engineering, range, optimization, chemical engineering system

Введение. Отсутствие продукции малотоннажной химии (МТХ) во многом сдерживает развитие средне- и крупнотоннажных производств, стоит отметить, что химическая промышленность является эффективным драйвером развития экономики РФ. Кроме того, развитие малотоннажной химии лежит в основе «зеленой химии», предполагающей практически безотходное производство [1, 2].

В развитых странах на малотоннажную химию приходится более 40 % от общего объема производства, тогда как в РФ — не более 10–15 %, следует из данных Минпромторга. Причем по многим продуктам зависимость малотоннажной химии от импорта доходит до 100 %, тогда как для средне- и крупнотоннажной химии доля импорта в РФ составляет 35 %.

Стоит отметить, что критическая зависимость от импорта в условиях ужесточающихся санкций создает новые риски. В Стратегии развития химической промышленности в перечень необходимых продуктов постоянно вносятся новые наименования по инициативе «снизу», от предприятий-потребителей. Программа субсидирования НИР и НИОКР по развитию МТХ не решает проблему.

Развитие малотоннажной химии является важной задачей для обеспечения национальной безопасности РФ.

МТХ имеет несколько ключевых отличий от средне- и крупнотоннажных производств:

- при незначительных количествах выпуск характерен большим ассортиментным предложением;
- спектр выпускаемых веществ постоянно обновляется;
- вновь открытые и синтезированные продукты в кратчайшие сроки вводятся в производство;
- значительная мобильность промышленных блочно-модульных мощностей и высокопрофессиональный инженерно-технический персонал.

При разработке и реализации стратегии коммерциализации продукции малотоннажной химии необходимо учитывать динамику изменения ситуации на рынке в виде спроса на продукцию конечным потребителем и в кратчайшие сроки перепрофилировать номенклатуру предприятия на более востребованную в данный момент времени.

Цель работы — разработка эффективного алгоритма оптимизации ассортимента гибких многоассортиментных химико-технологических систем (ХТС) производства продукции малотоннажной химии.

Материалы и методы. При синтезе гибких процессов производства (ГПП) малотоннажной химии для фиксированного ассортимента продуктов производится разбивка массивов продуктов на группы по характерным признакам (например, максимально требуемый для их производства объем аппаратов) [3, 4].

На основе гистограммы плотностей распределения продуктов по объемам аппаратов выбирается группа продуктов, являющихся основой для ГПП (рис. 1).

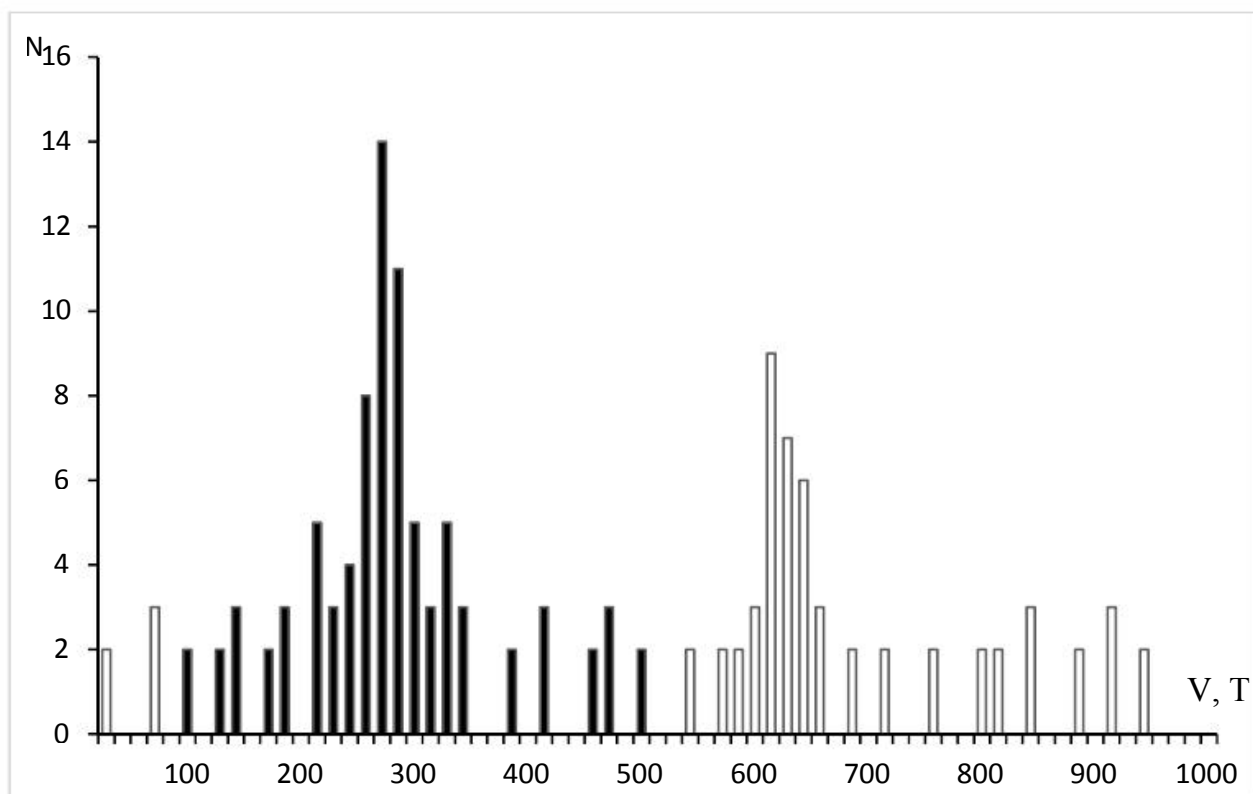


Рис. 1. Гистограмма плотности распределения продуктов

Если необходимо учитывать другие характеристики, по ним также проводится группировка и выделение общей для всех признаков совокупности продуктов. Определенная таким образом группа продуктов подвергается трехуровневой процедуре оптимизации (рис. 2):

- оптимизация расписания;
- оптимизация аппаратной структуры;
- оптимизация ассортимента.

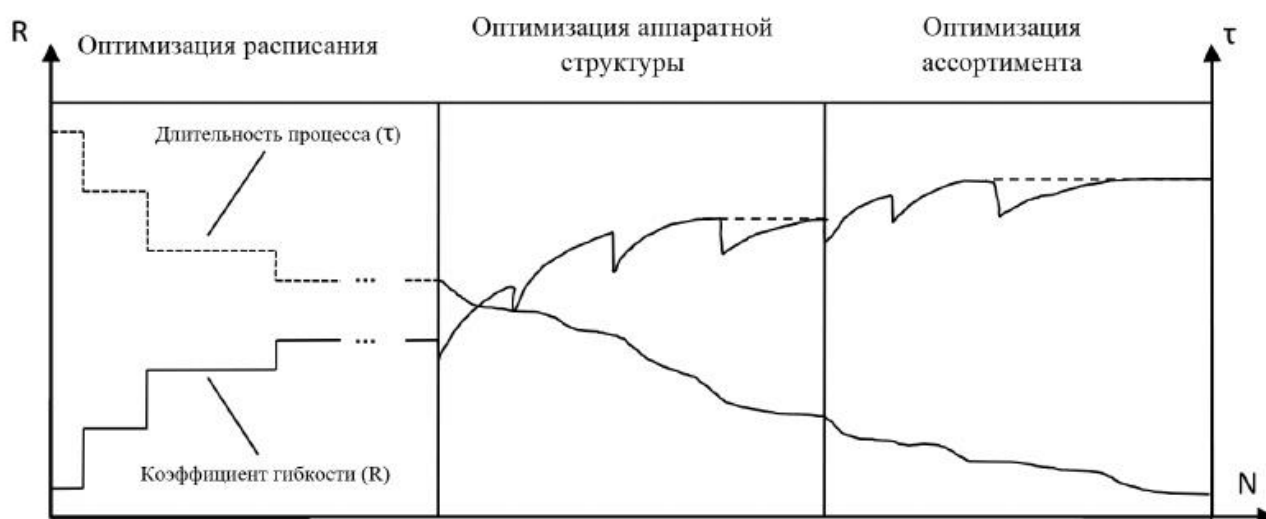


Рис. 2. Обобщенная структура трехуровневой оптимизации ГПП

Основным критерием оптимизации является коэффициент гибкости R , который связывает такие конкурирующие свойства, как максимальный ассортимент с минимумом капитальных затрат:

$$R = \max \left\{ \sum_i \left(\frac{G_i S_i}{\tau_0} \right) / \left[\sum_i \sum_j (L_1 N_{ij} S_{ij} + L_2 N_{ij} F_{ij}) \right] \right\},$$

где G_i , S_i — объем выпуска и цена i -того продукта; τ_0 — длительность полного цикла по выбранному ассортименту продукции; N_{ij} , S_{ij} — число параллельных j -тых аппаратов и их стоимость; F_{ij} — площадь j -того аппарата; L_1 , L_2 — амортизационные отчисления и арендная плата.

При оптимизации структуры, а именно, буферизации (установка буферных емкостей) или распараллеливании (введение дополнительных аппаратов одного и того же типа) применяется дополнительный критерий — максимальное суммарное время простоя аппарата. Причем выбирается не максимально простаивающий аппарат, а аппарат, из-за которого простой установки максимален.

При оптимизации ассортимента происходит «исключение» наихудших продуктов по дополнительному комбинированному критерию η_i :

$$\eta_i = \max \sum_{j=1}^N \frac{\tau_{ij}}{R_i},$$

где τ_{ij} — длительность j -той стадии по i -тому продукту, R_i — коэффициент гибкости по i -тому продукту.

Математическая модель, лежащая в основе оптимизации ассортимента — многоуровневая агрегативная система. Конструирование элементов модели сводится к заданию параметров соответствующих модулей и схемы сопряжения элементов. Структура модели, состоящей из программных модулей (аппарат, мультиплексор стадии и диспетчер), изображен на рис. 3.

Результаты. Моделирующая система позволяет упорядочить ассортимент так, чтобы найти минимальное время, необходимое для всего списка продуктов в соответствии с рассчитанными вариантами. Кроме того, предоставляется возможность изменить структуру ХТС, выпускающей заданный список, с помощью распараллеливания или буферизации.

Обсуждение. Основу автоматизированной системы синтеза ГПП составляет информационная база данных (БД) многофункциональных специализированных аппаратов. БД включает одновременно несколько единиц технологического оборудования, которые сами по себе являются сложными и многовариантными объектами. С этим связано наличие большого числа параметров отдельных аппаратов, среди которых необходимо выделить один или группу параметров, общих для всех аппаратов. Указанные параметры необходимы как для систематизации, так и для реализации оперативного поиска информации. Такими параметрами могут быть химико-технологические

процессы в аппаратах; материал реактора; вид перемешивающего устройства или энергетического воздействия и др.

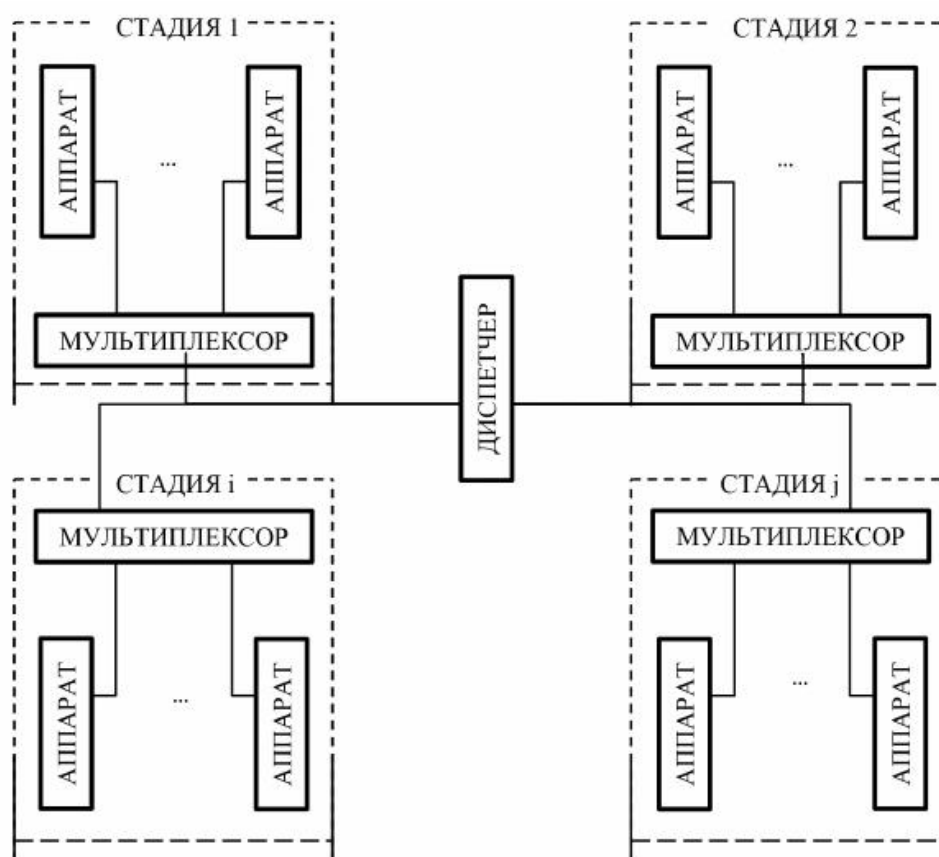


Рис. 3. Структура агрегативной моделирующей системы

БД данных является составной частью автоматизированной системы синтеза малотоннажных многоассортиментных производств, а также может применяться самостоятельно для оперативного и качественного анализа аппаратного оформления в технологии химических реактивов, особо чистых веществ, химико-фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности. БД позволяет проводить алгоритмизированный синтез аппаратного оформления гибких многоассортиментных ХТС малотоннажной химии.

Заключение. Представленный подход предназначен быстрой оптимизации номенклатурного ряда, выпускаемого продукт на базе блочно-модульного оборудования. При реализации описанного алгоритма проектант получает так же информацию по возможным вариантам интеграции перспективных технологических процессов получения готового продукта в действующую ХТС предприятия.

Описанный подход применяется при выполнении НИОКР по разработке гибких производственных ХТС на предприятиях ООО «S.V.K.» (г. Москва) и ООО «НПО «Лакокраспокрытие» (г. Хотьково, Московская область), а также при выполнении проектов технологическим отделом ООО «Системные решения» (г. Москва).

Список источников

- [1] Мешалкин В.П., Ходченко С.М. Сущность и виды инжиниринга энергоресурсосберегающих химико-технологических систем. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 2017, № 6, с. 2–10.
- [2] Болдырев В.С., Кузнецов С.В., Меньшиков В.В. *Инновационное развитие малотоннажных научно-производственных предприятий лакокрасочной отрасли*. Москва, Пэйнт-Медиа, 2021.
- [3] Болдырев В.С. Критерий пригодности оборудования и принцип гибкости технологической схемы при проектировании производственных химико-технологических систем. *Наука и бизнес: пути развития*, 2021, № 11, с. 77–79.
- [4] Болдырев В.С., Тишкин В.В., Меньшиков В.В., Дорохов И.Н. Алгоритм анализа, синтеза и интенсификации оптимальных химико-технологических систем. *Наука и бизнес: пути развития*, 2024, № 8, с. 63–68.