

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОАССОРТИМЕНТНЫХ ХИМИЧЕСКИХ
ПРОИЗВОДСТВ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ**

Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко

Кафедра «Гибкие автоматизированные производственные системы», ТГТУ

Представлена членом редколлегии профессором Ю.Л. Муромцевым

Ключевые слова и фразы: многоассортиментные химические производства; проектируемые химико-технологические схемы; задача определения аппаратурного оформления схемы; изменение размеров партий продуктов; расчет длительностей выпуска продуктов; оценка эффективности проектных решений.

Аннотация: Представлена задача определения аппаратурного оформления химико-технологических схем многоассортиментных малотоннажных химических производств. Предложена математическая постановка и метод решения задачи в условиях возможности изменения размеров партий продуктов от стадии к стадии схемы. Дана сравнительная оценка проектных решений, полученных по существующей и предлагаемой методике решения задачи.

Обозначения

T_0 - заданный период выпуска продуктов в требуемых объемах, ч;

T_i - период выпуска i -го продукта, ч;

$T_{ци}$ - длительность цикла обработки партии i -го продукта, ч;

a_{ij} - удельная производительность аппаратов стадии $j \in J_s$ по i -му продукту, кг/м²·час, кг/м³·час, м³/м²·час;

E_{js} - множество номеров продуктов, партии которых обрабатываются в аппаратах стадии j ;

g_{ij} - основной материальный индекс стадии $j \in J_s$ (результат пересчета материального баланса процесса синтеза i -го продукта на 1т), кг/т или м³/т - в соответствии с размерностью a_{ij} ;

F_j - рабочая поверхность основного аппарата стадии $j \in J_s$, м²;

h_{ij} - доля основных операций от времени занятости аппаратов стадии $j \in J_s$ обработкой одной партии i -го продукта;

I - число продуктов, выпускаемых ХТС;

i - номер продукта;

J - число аппаратурных стадий ХТС;

J_b - множество номеров стадий, где основными являются емкостные аппараты;

J_s - множество номеров стадий, где основными аппаратами являются фильтры и сушилки;

J_f - множество номеров стадий, где основными аппаратами являются рамные или камерные фильтрпрессы, цель работы которых - получение осадка;

J_d - множество номеров стадий, где основными аппаратами являются сушилки периодического действия (роторная вакуумная);

j - номер стадии ХТС;

j_i - номер стадии обработки партий i -го продукта, предшествующей j ;

j_i - номер стадии обработки партий i -го продукта, следующей за j ;

m_{ij} - массовый материальный индекс стадии j по i -му продукту, кг/т;

n_j - число основных аппаратов на стадии j ;

n_{*ij} - число основных аппаратов стадии j , необходимое для обработки партий i -го продукта;

p_{ij} - показатель характера обработки партий i -го продукта на стадии j при $n_j > 1$:

$p_{ij}=0$ - обработка в аппаратах стадии целых партий со сдвигом по времени,

$p_{ij}=1$ - синхронная обработке в каждом аппарате $1/n_j$ доли партии;

Q_i - объем выпуска i -го продукта, т;
 q_{ii} - показатель необходимости коррекции длительности обработки партии i -го продукта на стадиях $l=j_i, j_i$ с учетом времени совместной работы их основных аппаратов с аппаратами стадии $j \in J_s$:

$q_{ii}=1$ - коррекция необходима,

$q_{ii}=0$ - коррекция не нужна;

R_{ij} - показатель кратности изменения размера партии i -го продукта на стадии j :

$R_{ij}=1$ - размер партии не меняется,

$R_{ij}=k, k > 1$ - дробление партии на k одинаковых порций и их последовательная обработка,

$R_{ij}=1/k, k > 1$ - объединение и совместная обработка k целых партий;

t_{ij} - минимально возможный период между выходом со стадии j двух последовательных партий i -го продукта, ч;

u_{ij} - коэффициент изменения размера партии i -го продукта на стадии j ;

V_j - рабочий объем основного аппарата стадии j , м³;

V_{S_j} - множество основных размеров стандартных аппаратов, пригодных для установки на стадии j ;

v_{ij} - объемный материальный индекс стадии j по i -му продукту, м³/т;

w_i - размер выпускаемой партии i -го продукта ("выход с операции"), т;

X_j - основной размер аппарата стадии $j \in J_s$:

$X_j=V_j$ или $X_j=F_j$ (в соответствии с размерностью a_{ij});

α_j, β_j - коэффициенты, определяющие зависимость стоимости аппаратов стадии j от их материала и основного размера;

δ_j - толщина слоя осадка в рамном или камерном фильтр-прессе, т.е. толщина рамы или камеры, м;

ϕ_j^*, ϕ_{*j} - максимальное и минимальное допустимые значения коэффициента заполнения рабочего объема аппарата стадии j ;

τ_{ij} - длительность обработки одной партии i -го продукта на стадии j , ч:

для $j \in J_b$ - заданы (τ_{ij}^0),

для $j \in J_s$ - подлежат определению;

τ_{ij}^* - максимально возможная продолжительность обработки партии i -го продукта на стадии $j \in J_s/J_b$, ч

Большинство химико-технологических схем (ХТС) многоассортиментных малотоннажных химических производств (ММХП) ориентированы на выпуск нескольких марок продукции, сходных по методу синтеза, причем в каждый момент времени осуществляется выработка единственного продукта. Примерами ММХП могут служить производства синтетических красителей и полупродуктов, кинофотоматериалов, химических реактивов. Режим работы ХТС ММХП в целом периодический, т.е. продукты выпускаются отдельными партиями, которые последовательно проходят все стадии обработки. Для реализации ряда стадий, обычно не связанных с химическими превращениями, могут быть использованы аппараты непрерывного действия, работающие в полунепрерывном режиме.

Задача определения аппаратурного оформления (АО) ХТС ММХП предусматривает определение количества стадий схемы, выбор для каждой из них числа и основных размеров аппаратов указанного типа, позволяющих выпустить продукты заданного ассортимента в требуемых объемах за отведенный промежуток времени и обеспечивающих минимум затрат на приобретение и обслуживание оборудования. Как правило, стадии ХТС ММХП оснащаются стандартными аппаратами, характеристики которых имеются в каталогах продукции предприятий химического машиностроения. Различные модификации постановки этой задачи и подходы к ее решению рассмотрены в ряде публикаций последнего двадцатилетия, например [4-6].

Главное отличие предлагаемого варианта постановки задачи от рассмотренных ранее – использование уточненной математической модели функционирования оборудования ХТС, учитывающей возможность изменения размеров партий продуктов на некоторых ее стадиях. При этом возможно как объединение партий продуктов для совместной обработки, так и их разделение на несколько одинаковых порций, обрабатываемых в одних и тех же аппаратах последовательно или в параллельных аппаратах синхронно. Такой подход позволяет более эффективно использовать рабочие объемы

и поверхности аппаратов стадий ХТС как при проектировании новых, так и при пере-
профилировании действующих производств.

Предлагаемая в данной работе постановка задачи является развитием варианта,
представленного в [8] и ориентированного на организацию выпуска нового продукта с
использованием оборудования действующего ММХП. Задача формулируется сле-
дующим образом: для заданного числа стадий ХТС и способа взаимодействия их ос-
новных аппаратов при выпуске каждого продукта найти такие значения $V_j, X_j, n_j, T_i, p_{ij},$
 $R_{ij}, i=1, \dots, I, j=1, \dots, J,$ при которых критерий

$$Z = \sum_{j=1}^J \alpha_j \cdot Y_j^{\beta_j} \cdot \left[n_j + \frac{1}{T_0} \cdot \sum_{i \in E_j} T_i \cdot n_{*ij} \cdot \left(\frac{t_{ij} \cdot S_{ij}}{\tau_{ij}} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

достигает минимума и выполняются условия:

1. Ограничения на рабочие размеры аппаратов стадий схемы:

$$Y_j = \begin{cases} V_j \in [V_j^*, V_j^*] \cap VS_j, & j \in J_b \\ X_j \in [X_j^*, X_j^*] \cap VS_j, & j \in J_s \end{cases}, \quad (2)$$

где
$$V_j^* = \max_{i \in E_j} \left\{ u_{ij} \cdot \frac{v_{ij} \cdot w_i}{\phi_j^*} \right\}, \quad j \in J_b \cup J_d, \quad (3)$$

$$V_j^* = \min_{i \in E_j} \left\{ u_{ij} \cdot \frac{v_{ij} \cdot w_i}{\phi_j^*} \right\}, \quad j \in J_b, \quad (4)$$

$$X_{j^*} = F_{j^*} = \max_{i \in E_j} \left\{ u_{ij} \cdot \frac{v_{ij} \cdot w_i}{\delta_j} \right\}, \quad j \in J_f, \quad (5)$$

$$X_{j^*} = \max_{i \in E_j} \left\{ \frac{g_{ij} \cdot w_i}{a_{ij} \cdot \tau_{ij}} \right\}, \quad j \in J_s / J_f, \quad (6)$$

$$X_j^* = \max \{ X_j \mid X_j \in VS_j \}, \quad j \in J_s. \quad (7)$$

2. Ограничение на сумму продолжительностей выпуска продуктов:

$$\sum_{i=1}^I T_i \leq T_0, \quad (8)$$

где
$$T_i = \frac{Q_i \cdot T_{\cup i}}{w_i}, \quad i=1, \dots, I, \quad (9)$$

$$T_{\cup i} = \max_{j=1, \dots, J} \{ t_{ij} \}, \quad i=1, \dots, I, \quad (10)$$

$$t_{ij} = \frac{R_{ij}}{S_{ij}} \cdot \left(\frac{\tau_{ij}}{r_{ij}} + \max_{\substack{k < j, \\ R_k > R_j}} \left\{ \left(\frac{1}{R_{ij}} - \frac{1}{R_{i,j_i}} \right) \cdot t_{ik} \right\} + \max_{\substack{k > j, \\ R_k > R_j}} \left\{ \left(\frac{1}{R_{ij}} - \frac{1}{R_{i,j_i}} \right) \cdot t_{ik} \right\} \right), \quad j=1, \dots, J, \quad i \in E_j. \quad (11)$$

Здесь $s_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j \in J_b \cup J_f \text{ и } p_{ij} = 1 \\ n_j & \text{если } j \in J_s / J_f \text{ или } p_{ij} = 0 \end{cases}$ и $r_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } j \in J_b \cup J_f \\ R_{ij} & \text{если } j \in J_s / J_f \end{cases}$.

3. Соотношения для определения характеристик режима обработки партий про-
дуктов на стадиях схемы:

$$n_{*ij} = \frac{t_{ij}}{T_{\cup i}} \cdot [p_{ij} + (1 - p_{ij}) \cdot n_j] \quad \text{и} \quad j = 1..J, \quad i \in E_j, \quad (12)$$

$$u_{ij} = \frac{p_{ij} + (1 - p_{ij}) \cdot n_j}{n_j} \cdot \frac{1}{R_{ij}}, \quad j=1, \dots, J, \quad i \in E_j, \quad (13)$$

$$\tau_{ij}^* = \min \left\{ T_{\Pi i} \text{ и } \min_{k=j_i \text{ и } i} \left\{ \frac{T_{\Pi i} - q_{ik} \cdot \tau_{ik}^0}{h_{ij}} \cdot [q_{ik} + (1 - q_{ik}) \cdot h_{ij}] \cdot [p_{ij} + (1 - p_{ij}) \cdot n_j] \right\} \right\} \text{ и } (14)$$

$$j \in J_s / J_f, \quad i \in E_j$$

$$\tau_{ij} = \frac{m_{ij} \cdot \delta_j}{v_{ij} \cdot a_{ij}}, \quad j \in J_f, \quad i \in E_j, \quad (15)$$

$$\tau_{ij} = \frac{g_{ij} \cdot w_i}{a_{ij} \cdot X_j}, \quad j \in J_s / J_f, \quad i \in E_j, \quad (16)$$

$$\tau_{il} = \tau_{il}^0 + q_{il} \cdot \tau_{ij} \cdot h_{ij} \text{ и } j \in J_s; \quad l = j_i \text{ и } j_i''; \quad i \in E_j. \quad (17)$$

Число аппаратных стадий ХТС J и маршруты обработки партий продуктов ассортимента I определяются выбранным способом совмещения стадий синтеза продуктов. Чаще всего эта операция выполняется с привлечением эксперта (опытного технолога). Можно также использовать процедуру оценки степени подобия технологических и конструктивных признаков стадий синтеза различных продуктов, предложенную в [6]. Способы взаимодействия основных аппаратов периодического и непрерывного действия, установленных на различных стадиях ХТС, подробно рассмотрены в [7].

Критерий (1) позволяет оценивать эффективность вариантов АО ХТС, удовлетворяющих условиям (2)-(17), с точки зрения капитальных затрат на оборудование и, в какой-то мере, затрат на его обслуживание. Первая составляющая критерия

$\sum_{j=1}^J \alpha_j \cdot Y_j^{\beta_j} \cdot n_j$ представляет собой оценку стоимости основных аппаратов стадий ХТС,

а вторая $\sum_{j=1}^J \alpha_j \cdot Y_j^{\beta_j} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot \sum_{i \in E_j} T_i \cdot n_{*ij} \cdot \left(\frac{t_{ij} \cdot s_{ij}}{\tau_{ij}} - 1 \right)$ – это штраф за усложнение обслужи-

вания оборудования стадий при изменении размеров партий продуктов на отдельных стадиях. С помощью второй составляющей учитывается возможность увеличения продолжительностей обработки партий продуктов в аппаратах ряда стадий ХТС по причине дробления/укрупнения партий от стадии к стадии, а также его отрицательное влияние на качество продукции.

В работе [7], (рис. 4) показано, что при $R_{ij} > 1$, т.е. при дроблении партии на R_{ij} равных долей, длительность ее обработки может увеличиться в R_{ij} раз. При этом аппараты соседних стадий некоторое время находятся в состоянии "заполненного простоя": аппараты предыдущей стадии недогружены, а аппараты следующей – недогружены. Ситуация "заполненного простоя" возникает также при объединении и совместной обработке на стадии нескольких партий какого-либо продукта. Значения $(t_{ij} \cdot s_{ij} / \tau_{ij} - 1)$ характеризуют относительное увеличение значений t_{ij} по сравнению с τ_{ij} / s_{ij} при $R_{ij} \neq 1, p_{ij} \neq 0, j \in (1, \dots, J), i \in E_j$. Значение n_{*ij} показывает, какое количество аппаратов действительно необходимо для обработки партий i -го продукта на стадии j ХТС. Для большинства стадий оно является дробным и характеризует долю рабочего времени, в течение которой аппараты стадии заняты обработкой партий продукта. Произведения $n_{*ij} \cdot (t_{ij} \cdot s_{ij} / \tau_{ij} - 1), j=1, \dots, J, i \in E_j$, усредненные с учетом продолжительностей выпуска продуктов, позволяют оценить, насколько увеличивается число основных аппаратов стадии j ХТС при выпуске i -го продукта из-за изменений размера его партии от стадии к стадии схемы.

Математическая модель определения АО проектируемой ХТС ММХП (2)-(17) отличается от предложенной в [8] прежде всего тем, что ориентирована на многопродукто-

вую ХТС, выпускающую за время T_0 несколько продуктов в объемах $Q_i, i=1, \dots, I$. Поэтому величины, характеризующие процессы обработки партий продуктов на стадиях ХТС, получили дополнительный индекс i принадлежности к одному из продуктов заданного ассортимента и в состав модели включено ограничение (8) на сумму продолжительностей выпуска продуктов. Введение в модель множеств $E_j, j=1, \dots, J$ номеров продуктов, партии которых обрабатываются в аппаратах стадий ХТС, а также номеров j_i, j_i'' стадий обработки партий i -го продукта, предшествующей и следующей за стадией j , позволяет учесть возможность неполного совпадения процессов синтеза продуктов заданного ассортимента.

Выражение (11) и порядок его применения подробно описаны в [7]. При расчете значения $T_{wi}, i \in (1, \dots, I)$ для ХТС с разветвленной структурой, см. [6], это выражение последовательно применяется ко всем линейным цепочкам стадий обработки партий i -го продукта, причем значения t_{ij} по стадиям определяются в порядке убывания значений R_{ij} . Если стадия j входит в несколько цепочек, то из найденных для нее значений t_{ij} выбирается наибольшее.

Задача (1)-(17) относится к классу задач частично-целочисленного нелинейного программирования. Главной проблемой ее решения является разделение заданного периода выпуска продукции T_0 на части $T_i, i=1, \dots, I$ – продолжительности производства продуктов ассортимента I в требуемых объемах, причем необходимо выбрать такой вариант разделения, который обеспечивал бы возможность обработки партий всех продуктов в аппаратах одного и того же размера на всех стадиях ХТС. На разных стадиях схемы соотношение материальных индексов продуктов может быть неодинаковым (и даже противоположным), поэтому выполнить эту операцию успешно удается далеко не всегда. При большом ассортименте выпускаемых продуктов некоторые одноименные стадии обработки их партий иногда приходится разделять: для разных групп продуктов подбирать стандартные аппараты разных размеров.

Предлагается следующий способ решения этой проблемы: сформировать и решить вспомогательную задачу поиска значений размеров партий продуктов, которые минимизируют разброс значений операционных индексов продуктов, проходящих каждую стадию ХТС. Операционный индекс стадии j при выпуске i -го продукта – это объем или масса материалов, обрабатываемых в одном аппарате, т.е. необходимо найти значения $w_i, i=1, \dots, I$, доставляющие минимум функции

$$f(w_1, w_2, \dots, w_I) = \sum_{j=1}^J \left[\frac{\max_{i \in E_j} (y_{ij} \cdot w_i \cdot c_{ij}) - \min_{i \in E_j} (y_{ij} \cdot w_i \cdot c_{ij})}{\min_{i \in E_j} (y_{ij} \cdot w_i \cdot c_{ij})} \right]^2, \quad (18)$$

при выполнении ограничений:

$$K_T \cdot T_0 \leq \sum_{i=1}^I \frac{Q_i \cdot T_{wi}}{w_i} \leq T_0, \quad (19)$$

$$\frac{Q_i \cdot T_{wi}}{w_i} \geq \sum_{j=1}^J t_{ij} \quad i = 1, \dots, I. \quad (20)$$

Здесь $y_{ij} = \begin{cases} v_{ij} & j \in J_b \cup J_f \\ g_{ij} & j \in J_s / J_f \end{cases}, \quad c_{ij} = \begin{cases} u_{ij} & j \in J_b \cup J_f \\ 1/a_{ij} & j \in J_s / J_f \end{cases}, \quad i \in E_j, \quad j=1, \dots, J$. Ограниче-

ние (19) образовано из условий (8), (9). Значение K_T следует принимать близким к единице (0,95 – 0,99). Ограничение (20) показывает, что продолжительность выпуска продукта не может быть меньше суммы длительностей всех стадий обработки одной его партии (если $i \notin E_j$, то $t_{ij}=0$).

Задача (18)-(20) является задачей нелинейного программирования. Для ее решения можно применить известные методы поиска экстремума функции многих переменных при наличии ограничений. Практические расчеты с использованием метода прямого поиска с возвратом, см. [1], показали, что при заданной структуре схемы, выбранном способе взаимодействия основных аппаратов ее стадий и фиксированных

значениях $n_j, p_{ij}, R_{ij}, i=1, \dots, I, j=1, \dots, J$ определение значений $w_i, i=1, \dots, I$ путем решения задачи (18)-(20) позволяет обеспечить выполнение ограничения (2) для всех стадий ХТС намного проще и быстрее, чем предложенная в [5] процедура направленного перебора комбинаций стандартных размеров аппаратов, пригодных для установки на стадиях.

Наилучшим с точки зрения капитальных затрат на оборудование и его обслуживание, а также с точки зрения энергопотребления, потерь сырья и промежуточных продуктов является вариант АО ХТС, предусматривающий установку на ее стадиях минимально возможного числа основных аппаратов, см. [3]. Наиболее приемлемый с точки зрения затрат на обслуживание оборудования и качества продукции режим обработки партий продуктов в аппаратах стадий схемы не должен быть связан с изменениями размеров партий продуктов от стадии к стадии (вторая составляющая критерия (1) будет равна нулю). Поэтому предлагается следующий алгоритм решения задачи (1)-(17):

1. Выбрать способ взаимодействия основных аппаратов стадий $j \in J_b$ и $j \in J_s$, см. [7], т.е. определить значения $q_{ij}, l^{j_i}, j_i, i \in E_j, j \in J_s$.

2. Зафиксировать значения $n_j = 1, p_{ij} = 0, R_{ij} = 1, j = 1, \dots, J, i \in E_j$.

3. Определить значения $T_{wi}, i=1, \dots, I$ по соотношениям (10), (11), (15), (17) с учетом стадий $j \in J_b \cup J_s$ для которых значения $\tau_{ij}, i \in E_j$ заданы или могут быть определены по исходным данным. Найти значения $\tau_{ij}^*, j \in J_s / J_b, i \in E_j$ по формуле (14).

4. Решить задачу (18)-(20), определить по соотношениям (3)-(7) граничные значения размеров аппаратов стадий ХТС и выбрать минимальные значения размеров стандартных аппаратов, удовлетворяющих ограничению (2).

5. Если для каких-либо стадий подобрать подходящие размеры аппаратов не удастся, изменить выбранный способ взаимодействия аппаратов стадий (ввести в схему или удалить дополнительные стадии, оснащаемые промежуточными емкостями) или (и) изменить принятые значения $n_j, p_{ij}, R_{ij}, j=1, \dots, J, i \in E_j$ так, как предлагается в [8]. Из всех возможных способов обеспечения выполнения ограничения (2) выбрать тот, которому соответствует минимальное значение критерия (1).

6. Определить по формуле (16) значения $\tau_{ij}, j \in J_s / J_b, i \in E_j$, скорректировать по (17) значения τ_{ij} для соседних с ними стадий и вновь рассчитать значения $T_{wi}, i=1, \dots, I$. Вернуться к п. 4 алгоритма, если отклонение новых значений от первоначальных превышает заданную точность.

7. Определить значения $T_i, i=1, \dots, I$, решить для каждого продукта заданного ассортимента задачу 2, сформулированную в [8], и получить таким образом окончательные значения характеристик режима работы аппаратов стадий ХТС.

Базовый вариант АО ХТС, полученный согласно п.п. 1-7, можно попытаться улучшить, используя алгоритмическую схему локальной оптимизации, см. [2]: сформировать окрестность базового варианта путем последовательного увеличения на 1 значений n_j на стадиях, где $n_j = n_{*ij}, i \in E_j$ (по одной, попарно, тройками и т.д.), определения и оценки эффективности соответствующих вариантов АО схемы. Если в окрестности найдется вариант АО предпочтительнее базового, то аналогично формируется его окрестность и т.д., в противном случае в качестве оптимального принимается базовый вариант. Увеличивать значения n_j на стадиях, где $n_j > n_{*ij}$, не имеет смысла, т.к. это не может привести к изменению значений $T_{wi}, i \in (1, \dots, I)$, а следовательно и значений основных размеров аппаратов стадий ХТС.

Расчеты, выполненные для реальных производств химических красителей, показали, что предлагаемая методика позволяет сократить в 2-4 раза продолжительность решения задачи определения АО ХТС и на 5-10% уменьшить капитальные затраты на оборудование по сравнению с методикой, предложенной в [5].

Одной из схем, выбранных для сравнительного анализа, является ХТС производства прямых красителей Чебоксарского АО "Химпром" (ХТС №1), выпускающая в течение года следующую продукцию:

1. Краситель прямой черный 2С	2250 т
2. Краситель прямой оранжево-коричневый	100 т
3. Краситель прямой коричневый "К" для кожи	50 т

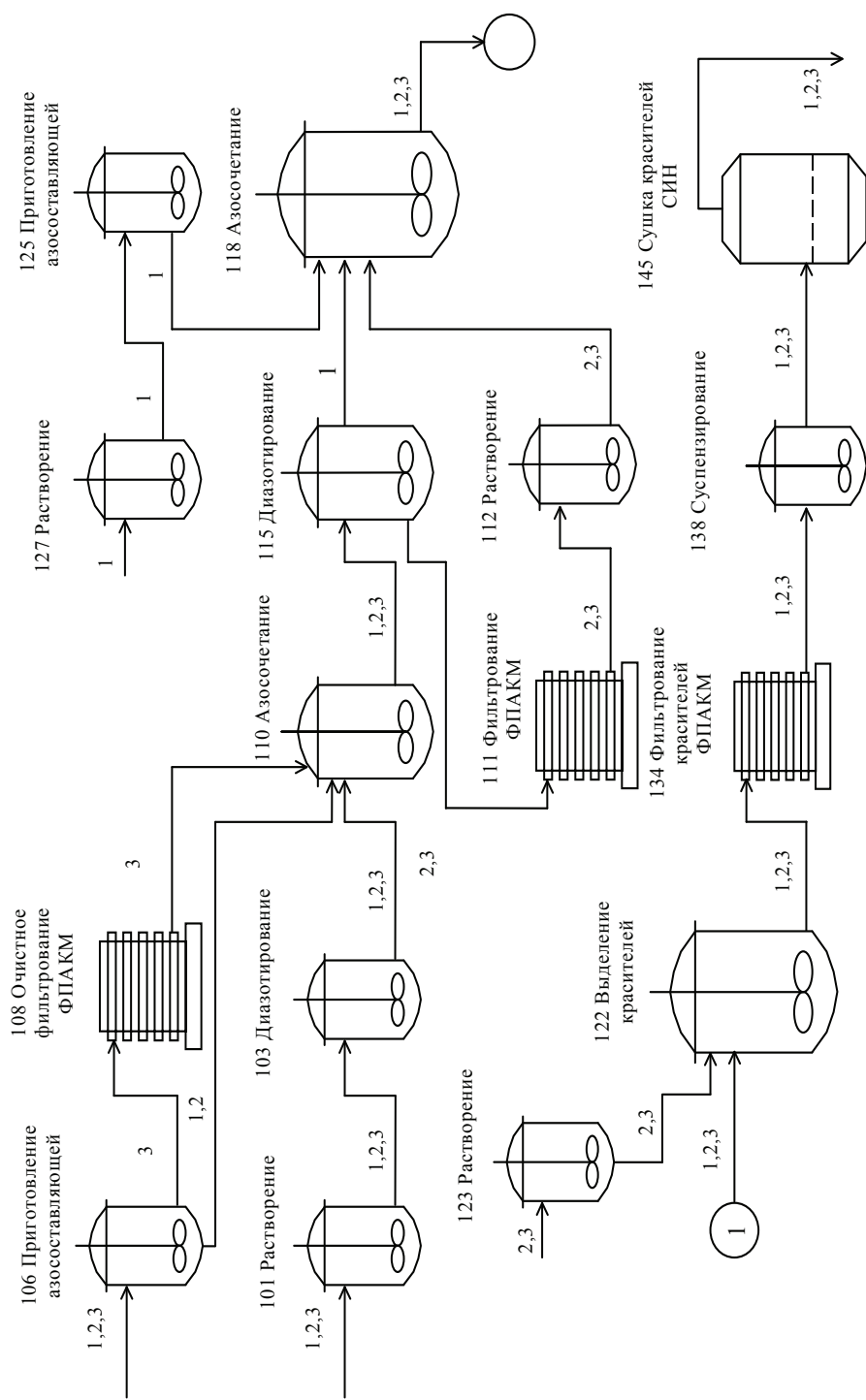


Рис. 1 Схема материальных потоков стадий ХТС №1

Размеры партий продуктов от стадии к стадии не изменяются. Наименования стадий ХТС, типы основных аппаратов и схема материальных потоков при выпуске разных продуктов представлены на рис. 1.

Результаты определения АО ХТС №1 приведены в табл. 1 и табл. 2. Из табл. 1 видно, что применение предлагаемой методики позволило получить более эффективный вариант АО: на четырех стадиях удалось установить аппараты меньшего размера. И хотя на одной стадии размер аппарата увеличился, капитальные затраты на оборудование снизились на 7,8%. Затраты машинного времени составили 170 с против 545 с на ПК Pentium III-550. Полученный эффект объясняется более полным использованием заданного периода выпуска продукции ХТС (7392 ч) за счет решения задачи (18)-(20): по прежней методике суммарная продолжительность выпуска продуктов оказалась равной 6493,12 ч, а по предлагаемой – 7391,99 ч, см. табл. 2.

Таблица 1

Результаты расчета аппаратного оформления ХТС №1

№ по схеме	Наименование аппарата	Число аппаратов	Основной размер аппарата м ² , м ³	
			Прежн. метод	Предл. метод
101	Аппарат для растворения	1	6,3	6,3
103	Аппарат для diazotирования	1	10	10
106	Аппарат для азосотавляющей	1	4	3,2
108	Очистой ФПАКМ	1	5	5
110	Аппарат для сочетания	1	16	16
112	Аппарат для растворения	1	20	16
111	ФПАКМ	1	50	50
115	Диазотатор	1	20	16
127	Аппарат для растворения	1	0,4	0,4
125	Аппарат для азосоставляющей	1	2,5	2,5
118	Аппарат для сочетания	1	32	25
123	Аппарат для растворения	1	2,5	3,2
122	Выделитель	1	32	32
134	ФПАКМ	1	50	50
138	Суспензатор	2	10	10
145	Сушилка СИН	1	20	20

Таблица 2

Режимы функционирования ХТС №1

№ продукта	Размер партии, т		Длительность цикла обработки партий, ч		Период обработки одной партии, ч		Продолжительность выпуска, ч	
	Прежн. метод.	Предл. метод.	Прежн. метод.	Предл. метод.	Прежн. метод.	Предл. метод.	Прежн. метод.	Предл. метод.
1	4,129	3,448	8,58	8,58	43,39	41,92	4710,28	5632,16
2	1,433	1,504	17,39	17,89	68,06	69,30	1264,53	1240,25
3	1,5	1,718	14,10	16,15	62,32	65,64	518,313	519,57

Для ХТС Сивашского АКЗ, выпускающей 7 красителей (ХТС №2), по прежней методике, которая не учитывала возможности изменения размеров партий продуктов, не удалось получить ни одного допустимого варианта АО. На этой схеме за 4320 ч планировалось выпустить следующие продукты:

1. Спирторастворимый желтый "З"	40 т
2. Желтый "З" для алюминия	10 т
3. Спирторастворимый оранжевый "2Ж"	21 т
4. Оранжевый "2Ж" для алюминия	40 т
5. Золотисто-желтый для алюминия	18,55 т
6. Золотисто-коричневый для алюминия	9,45 т
7. Спирторастворимый ярко-красный	18 т

По предлагаемой методике за счет дробления партий продуктов 1-3 на две порции и их последовательной обработки в аппаратах стадии 524 получен вариант аппаратурного оформления, представленный в табл. 3. Структура материальных потоков и наименование стадий ХТС №2 представлены на рис. 2. Характеристики режима ее функционирования приведены в табл. 4.

Таблица 3

Результаты расчета аппаратурного оформления ХТС №2

№ по схеме	Наименование аппарата	Число аппаратов	Основной размер аппарата м ² , м ³
501	Приготовление суспензии	1	10
503	Диазотирование	1	10
512	Растворение	1	10
507	Сочетание	1	25
520	Раствор ацетат. хрома	1	5
514	Получение красителя	1	25
518	Выделение	1	20
522	Приготовление смеси р-ров	2	10
524	Промежуточная емкость	2	25
525	ФПАКМ	2	112
528	Сушилка РВ	4	4

Таблица 4

Режимы функционирования ХТС №2

№ продукта	Размер партии, т	Длительность цикла обработки партий, ч.	Период обработки одной партии, ч.	Продолжительность выпуска, ч.
1	0,89	22,56	144,68	1136,57
2	1,18	22,56	142,47	311,80
3	0,91	18,17	135,09	538,59
4	1,06	18,17	137,41	807,68
5	1,59	47,95	226,97	738,31
6	1,99	36,66	158,49	295,71
7	0,89	20,37	97,92	491,33

Таким образом, предлагаемая методика определения АО ХТС ММХП, основанная на решении задачи (1)-(17) и вспомогательной задачи (18)-(20), требует значительно меньших затрат времени, чем прежняя, и позволяет существенно улучшить качество получаемых проектных решений. Кроме того, эта методика расширяет область допустимых вариантов АО ХТС и увеличивает вероятность их нахождения за счет того, что математическая постановка задачи (1)-(17) учитывает возможность изменения размеров партий выпускаемых продуктов от стадии к стадии схемы.

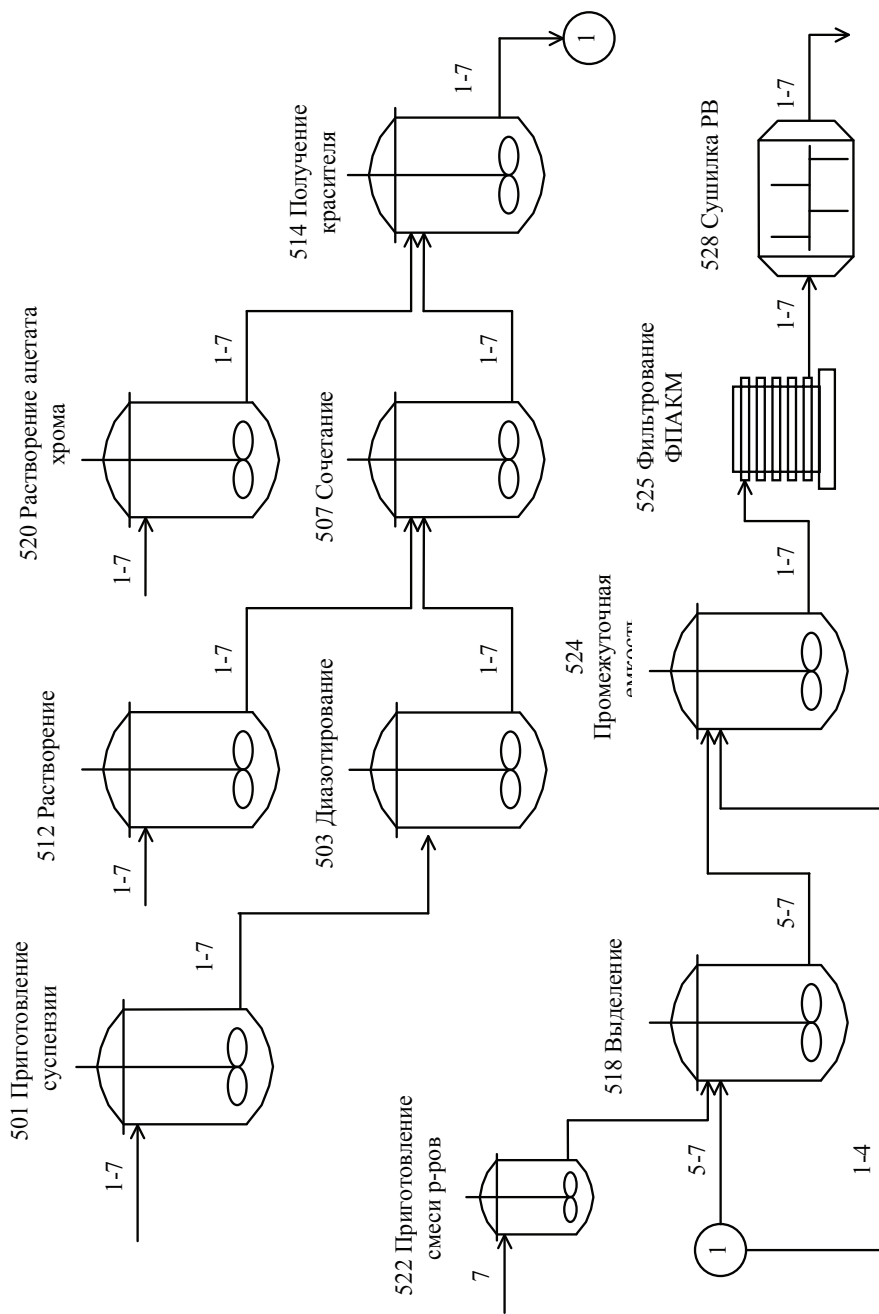


Рис. 2 Схема материальных потоков и наименование стадий ХТС №2

Список литературы

1. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. – М.: Химия, 1975. – 576 с.
2. Ковалев М.М. Дискретная оптимизация. – Минск: Изд-во БГУ, 1977. – 191 с.
3. Кантарджян С.Л. Экономические проблемы оптимизации химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1980. – 152 с.
4. Suhami I., Mah R.S.H. Optimal Design of Multipurpose Batch Plants. // *Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev.* – 1982. – Vol. 21, No. 1. – P.94–100.
5. Малыгин Е.Н., Карпушкин С.В. Автоматизированный расчет оборудования гибких технологических производств. // *Химическая промышленность.* – 1985. – № 2. – С. 118–123.
6. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности. – М.: Химия, 1990. – 320 с.
7. Малыгин Е.Н., Карпушкин С.В. Проектирование многоассортиментных химических производств: определение длительностей циклов обработки партий продуктов // *Вестник ТГТУ.* – 1999. – Т.5, № 2. – С. 201–212.
8. Малыгин Е.Н., Карпушкин С.В., Мокрозуб В.Г. Проектирование многоассортиментных химических производств: расчеты оборудования действующего производства при выпуске новой продукции // *Вестник ТГТУ.* – 2000. – Т.6, № 4. – С. 572–583.

Multi-Product Chemical Plants' Design: Determination of Equipment Configuration of Chemical-Engineering Schemes

E.N. Malygin, S.V. Karpushkin, A.B. Borisenko

Department "Automated Flexible Manufacturing Systems", TSTU

Key words and phrases: multi-product chemical plants; designed chemical engineering schemes; problem of determination of equipment scheme configuration; products' batch sizes variation; calculation of products' output periods; evaluation design decisions efficiency.

Abstract: Problem of equipment configuration of chemical-engineering schemes for multi-assortment small-yield chemical plants is presented. Mathematical setting and solving technique for this problem in conditions of variation possibility of products' batch sizes from stage to stage of the scheme is offered. Comparative evaluation of design decisions obtained on existing and proposed strategy of problem solving is given.

Projektierung der sortimentreichen chemischen Produktionen: Bestimmung der Anlagengestaltung der chemisch-technologischen Schemen

Zusammenfassung: Es ist die Analyse der Bestimmung der Anlagengestaltung der chemisch-technologischen Schemen der sortimentreichen niedrigtonnagen chemischen Produktionen dargestellt. Es ist die mathematische Aufgabestellung und die Methode ihrer Lösung unter den Bedingungen der Möglichkeit der Änderung der Größe der Produktionspartien vom Stadium bis zum Stadium des Schemas vorgeschlagen. Es ist die Vergleichschätzung der Projektslösungen gegeben, die durch die vorgeschlagene Methode der Aufgabelösung bekommen worden waren.

**Conception des industries chimiques à multiproduit: définition
du matériel de la configuration des schémas chimiques et technologiques**

Résumé: On a présenté le problème de la définition du matériel de la configuration des schémas chimiques et technologiques de petites industries chimiques à multiproduit. On a proposé la posage mathématique et la méthode de la solution du problème dans les conditions de la possibilité du changement des dimensions des lots des produits d'un stade du schéma à l'autre. On a donné une évaluation comparative des solutions de conception reçues par la méthode proposée.
