

**ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЕЙСТВУЮЩЕГО МНОГОАССОРТИМЕНТНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАКАЗА  
НА ВЫПУСК НОВОГО ПРОДУКТА**

**С. В. Карпушкин, М. Н. Краснянский, А. Б. Борисенко**

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»; karp@mail.gaps.tstu.ru*

**Ключевые слова:** аппаратурное оформление; максимальная производительность; многоассортиментные химические производства; новая продукция действующего производства; химико-технологические системы.

**Аннотация:** Предложены математические постановки и методы решения задач аппаратурного оформления химико-технологических систем, типичных для современной практики работы проектно-конструкторских подразделений многоассортиментных химических производств: организации выпуска нового продукта в запланированном объеме к указанному сроку с помощью оборудования действующего производства и определения максимальной производительности химико-технологической системы по конкретному продукту. Постановки задач разработаны на основе анализа особенностей реальных многоассортиментных химических производств, влияющих на организацию процессов выпуска продуктов и аппаратурное оформление стадий химико-технологических систем. Приведены примеры решения задач для реальных многоассортиментных химических производств.

---

**Введение**

Аппаратурное оформление (АО), то есть выбор типов, числа, геометрических размеров и параметров режима функционирования основных аппаратов химико-технологических систем (ХТС), является ключевой проблемой проектирования нового химического производства и модернизации существующего в целях изменения номенклатуры и объемов выпуска продуктов. Наибольшие затруднения возникают при решении данной проблемы для многоассортиментных химических производств (МХП), примерами которых могут служить производства химических красителей и полупродуктов, добавок к полимерным материалам, фармацевтических препаратов, химических реактивов. Отличительными признаками производств данного класса являются обширная номенклатура продукции, небольшая (до 1000 т/год) производительность по отдельным ее маркам, частые изменения ассортимента продуктов и объемов их выпуска.

Основной структурной единицей МХП является химико-технологическая система – аппаратно-технологический комплекс, ориентированный на выпуск нескольких марок продукции определенного вида. Большинство ХТС МХП осуществляют последовательный выпуск продуктов и работают в периодическом режиме: продукты выпускаются отдельными партиями, последовательно проходящими все стадии переработки. Аппаратурные стадии ХТС МХП, предназначенные для реализации предусмотренных технологическими регламентами этапов выпуска продуктов, оснащаются стандартным оборудованием. Некоторые стадии (главным образом, фильтрование и сушка) могут оснащаться аппаратами непрерывного действия, работающими в полунепрерывном режиме, то есть с остановками.

Аппаратурное оформление ХТС МХП является одним из этапов технологических расчетов при проектировании нового или перепрофилировании действующего производства на выпуск новой продукции. Основная задача данного этапа – выбор для каждой ХТС производства определяющих геометрических размеров (рабочих объемов и поверхностей) и числа основных аппаратов каждой стадии, параметров режима функционирования ХТС и оборудования ее стадий, которые обеспечивают требуемую производительность системы по каждому из продуктов заданного ассортимента [1 – 6].

В последние годы новые МХП в России практически не проектируются, однако, весьма популярна задача модернизации АО ХТС действующего производства, которая предусматривает организацию выпуска новых продуктов и (или) коррекцию производительности по выпускаемым продуктам в связи с рыночной ситуацией при минимальных изменениях ее АО [7 – 10]. Данная работа посвящена методике решения задач выполнения заказа по выпуску конкретного нового продукта в заданном объеме к указанному сроку и определения максимальной производительности ХТС, которые часто встречаются в современной практике работы проектно-конструкторских подразделений, действующих МХП.

### **Особенности функционирования химико-технологических систем многоассортиментных химических производств, методика определения аппаратурного оформления**

Большинство предложенных в научных публикациях подходов к постановке и решению задач АО ХТС МХП учитывают лишь некоторые из особенностей функционирования их аппаратуры. Многолетний (с 1975 г.) опыт сотрудничества со специалистами в области проектирования и эксплуатации МХП, участия в проектировании и перепрофилировании десятков реальных производств позволили сформулировать следующий комплекс особенностей функционирования ХТС МХП, оказывающих непосредственное влияние на выбор их АО.

Структура материальных потоков ХТС может быть разветвленной (некоторые стадии переработки партий сырья и полупродуктов могут осуществляться параллельно) и часто неодинакова при выпуске различных продуктов. Для математического представления маршрутов переработки партий каждого ( $i$ -го) продукта необходимо сформировать множество номеров стадий ХТС, оборудование которых задействовано в процессе его выпуска, и матрицу  $\mathbf{M}^i$  маршрутов обработки его партий. Каждая строка данной матрицы представляет собой одну из совокупностей номеров аппаратурных стадий, реализующих последовательные стадии синтеза продукта, а значение любого элемента матрицы  $\mu_{ye}^i = j$  ( $j$  – порядковый номер стадии), если в аппаратах стадии  $j$  реализуется стадия №  $e$   $y$ -го маршрута переработки партий продукта ( $y = 1, Y^i, e = 1, E_y^i$ , где  $Y^i$  – число маршрутов пере-

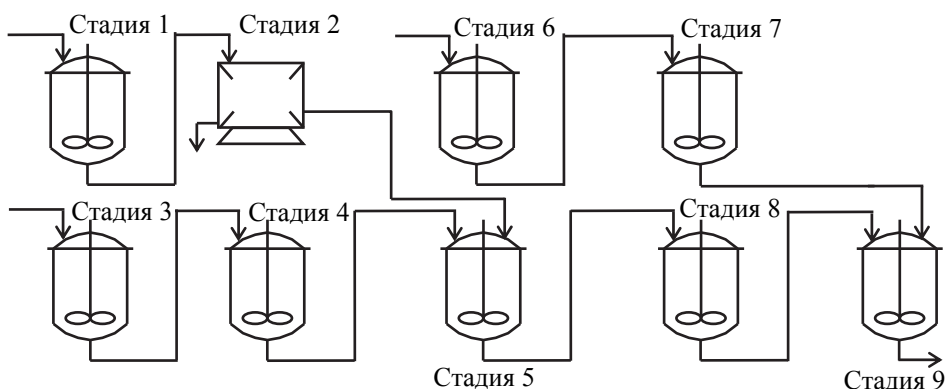


Рис. 1. Пример разветвленной структуры ХТС

работки партий  $i$ -го продукта;  $E_y^i$  – число стадий  $y$ -го маршрута). Например для ХТС, структура которой представлена на рис. 1, матрица  $\mathbf{M}$  имеет вид

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 5 & 8 & 9 \\ 3 & 4 & 5 & 8 & 9 \\ 6 & 7 & 9 \end{pmatrix}.$$

Продолжительности переработки партий продуктов на стадиях ХТС, оснащаемых основными аппаратами непрерывного действия, зависят от размеров партий, определяющих размеров основных аппаратов и не могут быть зафиксированы предварительно.

Операции загрузки/выгрузки основных аппаратов некоторых стадий ХТС могут совмещаться с физико-химическими превращениями (подача суспензии в фильтр-пресс, прием фильтрата при очистном фильтровании).

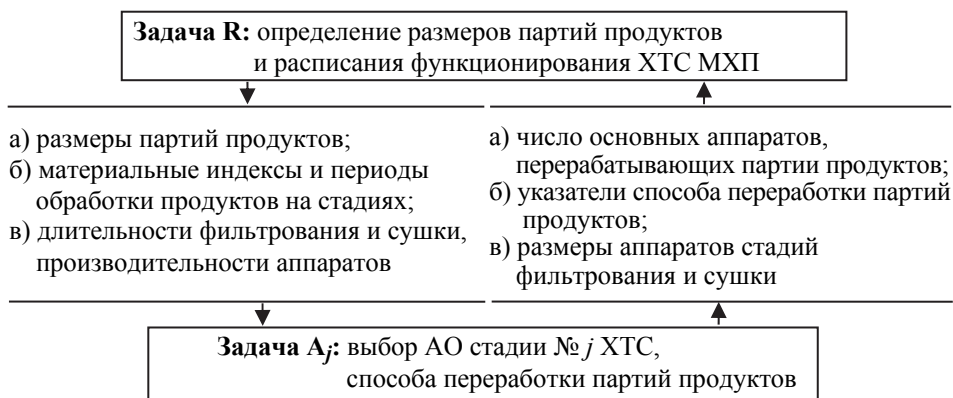
На некоторых стадиях ХТС размеры партий продуктов могут изменяться: партия делится на несколько одинаковых порций для последовательной или синхронной переработки, несколько партий объединяются и перерабатываются совместно. Подобные ситуации типичны для ХТС МХП и вызваны стремлением минимизировать число аппаратурных стадий: осуществить одноименные стадии выпуска разных продуктов в одних и тех же аппаратах, в том числе и при значительном разбросе значений размеров партий продуктов и их материальных индексов. Способ переработки партий  $i$ -го продукта основными аппаратами стадии  $j$  ХТС предлагается характеризовать:

- указателем  $p_j^i$  режима переработки партий продуктов параллельными основными аппаратами стадии ( $p_j^i = 0$  – целиком, со сдвигом по времени;  $p_j^i = 1$  – равными долями, синхронно);

- указателем  $r_j^i$  изменения размеров партий продуктов на стадии ( $r_j^i = 1$  – без изменений,  $r_j^i > 1$  – разделение на  $r_j^i$  равных долей для последовательной переработки,  $r_j^i < 1$  – объединение  $1/r_j^i$  партий для совместной переработки).

Между несколькими операциями загрузки или выгрузки долей партий продуктов или целых партий при их объединении аппараты стадий ХТС могут находиться в недогруженном или невыгруженном состоянии, для обозначения которого в [11] введен термин «заполненный простой».

Основная задача АО ХТС МХП чаще всего формулируется как задача смешанного дискретно-нелинейного программирования (англоязычная аббревиатура – MINLP). Главная проблема ее решения – необходимость определения параметров



**Рис. 2. Иерархия задач определения АО ХТС МХП**

режима функционирования ХТС, изменяющихся непрерывно, вместе с дискретными характеристиками оборудования ее стадий.

Главной идеей предложенной методики решения основной задачи АО ХТС проектируемого МХП (см. [6, 10, 12, 13]) является декомпозиция общей задачи на задачу **R** поиска значений размеров партий продуктов ( $w_i, i = \overline{1, I}$ ) и параметров расписания функционирования ХТС, а также задачи выбора основного оборудования ее стадий  $A_j, j = \overline{1, J}$ , то есть формирование двухуровневой иерархии задач (рис. 2). Здесь  $I, J$  – число продуктов, выпускаемых ХТС, и число ее аппаратурных стадий соответственно.

В отличие от рассмотренных ранее стратегий декомпозиции основной задачи АО ХТС МХП [14 – 16], предлагаемая стратегия базируется на принципе разделения параметров задачи по характеру их изменения: отделения параметров режима функционирования ХТС, изменяющихся непрерывно, от дискретных характеристик оборудования ее стадий, то есть задача **R** формулируется как задача нелинейного программирования, а задачи  $A_j$  – как задачи дискретной оптимизации. В качестве критерия оптимальности решения задачи **R** используется нижняя оценка стоимости энергии различных видов, затрачиваемой на реализацию операций переработки партий продуктов заданного ассортимента в течение периода их выпуска в запланированных объемах, а каждой из задач  $A_j$  – сумма амортизационных отчислений от стоимости основного оборудования стадии  $j$  за тот же период [17].

#### **Постановки и алгоритмы решения задач аппаратурного оформления химико-технологической системы действующего многоассортиментного химического производства**

При решении задачи организации выпуска нового продукта в заданном объеме к указанному сроку, то есть за фиксированный период времени  $T_0$ , задачи **R** и  $A_j, j = \overline{1, J}$ , решаются только для этого конкретного продукта. Даже если несколько подобных заказов предполагается разместить на одной и той же ХТС, эти задачи обычно решаются отдельно для каждого продукта, так как процессы их выпуска в данном случае не оказывают влияния друг на друга.

Предварительно осуществляется выбор аппаратурных стадий ХТС, оборудование которых пригодно для реализации стадий выпуска нового продукта, формируются структура материальных потоков между ними, матрица **M** и множества  $X_j, j = \overline{1, J}$ , определяющих размеров имеющихся основных аппаратов, которые

могут быть использованы для оснащения стадий системы, в том числе и вновь вводимых в ХТС. Заметим, что число пригодных для использования на стадии  $j$  основных аппаратов действующего производства, как правило, невелико (два-три подходящих аппарата, чаще всего – один). Соответственно множества  $\mathbf{X}_j$  включают один-два определяющих геометрических размера.

Изменения в постановке задачи  $\mathbf{R}$  по сравнению с проектированием нового производства связаны с тем, что рассматривается процесс выпуска единственного продукта. Необходимо найти значение размера его партии  $w$  и определить моменты начала  $t_{jkl}^H$  и окончания  $t_{jkl}^K$  каждой операции  $l$  каждого цикла  $k$  работы оборудования каждой аппаратурной стадии  $j$  ХТС, которые доставляют критерию

$$Z^{\mathbf{R}}(w) = w \left[ \frac{Q \min_{j=1, J} \{r_j\}}{w} \left[ \sum_{j=1}^J \frac{\pi_j}{r_j} \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{l=1}^{L_{jk}} \sum_{\psi=1}^{\Psi} \Omega^{\psi} \omega_{jkl}^{\psi} g_{jkl}^0 (t_{jkl}^H - t_{jkl}^K) \right] \right] \quad (1)$$

минимум при выполнении ограничений, входящих в состав математической модели проектного решения по выбору параметров режима функционирования ХТС.

Обозначения в соотношении (1):  $[x]$  – минимальное целое число, большее  $x$ ;  $Q$  – заказанный объем выпуска продукта, т;  $\pi_j$  – коэффициент увеличения затрат энергии на  $j$ -й стадии ХТС при синхронной обработке равных долей партии продукта в нескольких параллельных аппаратах (за счет увеличения потерь),

$$\pi_j = \begin{cases} 1, & \text{если } p_j = 0; \\ 1,05n_j, & \text{если } p_j = 1; \end{cases}$$

$K_j = r_j / \min_{j=1, J} \{r_j\}$  – число циклов работы основных аппаратов стадии  $j$  за один цикл

работы системы;  $L_{jk}$  – число операций переработки партии продукта в течение  $k$ -го цикла работы основных аппаратов стадии  $j$ ;  $\Psi$  – число энергоресурсов;  $\Omega^{\psi}$  – стоимость единицы (1 Дж) энергоресурса вида  $\psi$  (электричество, тепло, холод), р.;  $\omega_{jkl}^{\psi}$  – удельные расходы энергоресурсов, потребляемых на стадиях ХТС при реализации отдельных операций переработки партий продуктов, Вт/кг, для определения значений которых используются данные регламента выпуска продукта [17],  $j = 1, \dots, J$ ,  $k = 1, \dots, K_j$ ,  $l = 1, \dots, L_{jk}$ ,  $\psi = 1, \dots, \Psi$ ;

$$g_{jkl}^0 = \begin{cases} g_{jkl} / \Lambda_j^3, & j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K_j, l \in A_{jk} \cup B_{jk}; \\ g_{jkl} / \Lambda_j^B, & j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K_j, l \in \Delta_{jk} \cup E_{jk}; \\ g_{jkl}, & j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K_j, l \in \Gamma_{jk}; \end{cases}$$

$g_{jkl}$ ,  $j = 1, \dots, J$ ,  $k = 1, \dots, K_j$ ,  $l = 1, \dots, L_{jk}$  – материальные индексы операций, реализуемых на стадиях ХТС в ходе выпуска продукта;  $A_{jk}$ ,  $B_{jk}$ ,  $\Gamma_{jk}$ ,  $\Delta_{jk}$ ,  $E_{jk}$  – множества номеров технологических операций  $k$ -го цикла работы аппаратов  $j$ -й стадии (соответственно операций загрузки, «заполненного простоя при загрузке», физико-химических превращений, выгрузки, «заполненного простоя при выгрузке»);  $\Lambda_j^3 = \max \{1, r_{j'}/r_j\}$ ,  $\Lambda_j^B = \max \{1, r_{j''}/r_j\}$  – число загрузок и выгрузок аппаратов стадии  $j$  ХТС в течение одного цикла работы основных аппаратов стадии соответственно;  $j'$ ,  $j''$  – номера стадий ХТС, предшествующей  $j$ -й и следующей за ней соответственно.

Математическая модель проектного решения по выбору параметров режима функционирования ХТС и оборудования ее стадий включает следующие соотношения.

Ограничение на изменение значения  $w$

$$0 < w \leq Q. \quad (2)$$

Условие выпуска продукта в заданном объеме к указанному сроку

$$T_c + \left( \frac{Q}{\min_{j=1, J} \{r_j\} w} - 1 \right) T_p \leq T_o, \quad (3)$$

где  $T_c = \max_{y=1, Y} \left\{ \sum_{e=1}^{E_y} \theta_{\mu, ye} \right\}$  – длительность цикла выпуска продукта (промежутков

времени от момента начала первой операции первой стадии до момента завершения последней операции последней стадии переработки  $1/\min_{j=1, J} \{r_j\}$  партий про-

дукта, ч;  $T_p = \max_{j=1, J} \{\theta_j\}$  – межцикловый период ХТС, то есть минимально воз-

можный промежуток времени между началом (завершением) циклов выпуска продукта, реализуемых последовательно, ч;  $\theta_j$  – продолжительность цикла работы аппаратов стадии  $j$  ХТС (минимально возможный промежуток времени между моментами начала первой операции первого цикла и окончания последней операции последнего цикла работы аппаратов стадии), ч,

$$\theta_j = \begin{cases} \frac{K_j}{n_j} (t_{j1L_{j1}}^K - t_{j11}^H), & \text{если } n_j > 1, p_j = 0; \\ t_{jK_jL_{jK_j}}^K - t_{j11}^H, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$n_j$  – число основных аппаратов стадии  $j$ .

Соотношения для определения значений  $t_{jkl}^H$  и  $t_{jkl}^K$ :

$$t_{jkl, l+1}^H = t_{jkl}^K = t_{jkl}^H + \tau_{jkl}, \quad j = \overline{1, J}, \quad k = \overline{1, K_j}, \quad l = \overline{1, L_{jk}}, \quad (4)$$

где  $\tau_{jkl}$  – продолжительность  $l$ -й операции  $k$ -го цикла переработки партии продукта на стадии  $j$ , ч;

$$\tau_{jkl} = \begin{cases} \tau_{ju_j}^3 / \Lambda_j^3, \quad l \in A_{jk}; \\ \mathbf{Alg}_{be}, \quad l \in B_{jk}; \\ \begin{cases} \tau_{ju_j}^0, \quad j \in \Sigma_s / \Sigma_f; \\ \tau_j^0, \quad j \in \Sigma_b \cup \Sigma_f; \end{cases} \quad l \in \Gamma_{jk}; \\ \tau_{ju_j}^B / \Lambda_j^B, \quad l \in \Delta_{jk}; \\ \mathbf{Alg}_{be}, \quad l \in E_{jk}; \\ \begin{cases} \tau_{ju_j}^0 (1 - h_j) / h_j, \quad j \in \Sigma_s; \\ \tau_j^{0H}, \quad j \in \Sigma_b; \end{cases} \quad l \in \Phi_{jk}, \end{cases}$$

$u_j = \frac{p_j + (1-p_j)n_j}{n_j r_j}$  – коэффициент изменения размера партии на стадии  $j$  ХТС;

$\Sigma_b, \Sigma_s, \Sigma_f \subset \Sigma_s$  – множества номеров стадий переработки партий продукта, где основными являются емкостные аппараты, фильтры и сушилки, камерные или рамные фильтр-прессы, выделяющие в качестве целевого продукта твердую фазу суспензии соответственно;  $\tau_j^0$  – длительность операций физико-химических превращений на стадии  $j$  ХТС, ч,

$$\tau_j^0 = \begin{cases} \tau_j^0, & j \in \Sigma_b; \\ h_j \frac{m_{jkl} \delta_j}{v_{jkl} a_j}, & j \in \Sigma_f, k = 1, \dots, K_j, l \in \Gamma_{jk}; \\ h_j \frac{g_{jkl} w}{x_j a_j}, & j \in \Sigma_s / \Sigma_f, k = 1, \dots, K_j, l \in \Gamma_{jk}, \end{cases}$$

$h_j$  – доля основных операций от общего времени занятости аппаратов стадии  $j \in \Sigma_s$  переработкой партии продукта (например, для стадий фильтрации – собственно фильтрации и промывки, если промывные воды идут в дальнейшую переработку);  $v_{jkl}, m_{jkl}$  – объем, м<sup>3</sup>/т, и масса, кг/т, материалов, которые необходимо переработать для получения 1 т продукта соответственно;  $x_j$  – определяющий геометрический размер основных аппаратов стадий  $j$  ХТС, м<sup>3</sup>, м<sup>2</sup> (в зависимости от типа аппарата);  $a_j$  – удельная производительность аппарата стадии  $j \in \Sigma_s$  при переработке партии продукта (размерность зависит от размерности материального индекса и типа аппарата);  $\delta_j$  – толщина слоя осадка при переработке партии продукта на стадии  $j \in \Sigma_f$  (половина глубины рамы или камеры фильтр-пресса выбранного типа), м;  $\tau_j^3, \tau_j^B$  – длительности загрузки и выгрузки одной партии продукта для аппаратов стадии  $j$  соответственно, ч;

$$\tau_j^3 = \begin{cases} \rho_j^3, & \text{если } j' \notin \Sigma_s; \\ \rho_j^3(1-z_j) + z_j \tau_{j'}^0, & \text{если } j' \in \Sigma_s; \end{cases} \quad \tau_j^B = \begin{cases} \rho_j^B, & \text{если } j'' \notin \Sigma_s; \\ \rho_j^B(1-z_j) + z_j \tau_{j''}^0, & \text{если } j'' \in \Sigma_s, \end{cases}$$

$\rho_j^3, \rho_j^B$  – заданные (регламентные) длительности загрузки и выгрузки одной партии продукта для аппаратов стадии  $j$  соответственно, ч;  $\tau_j^{0ч}$  – длительность очистки аппарата стадии  $j$  после выгрузки партии продукта;  $\Phi_{jk}$  – множество номеров операций очистки аппаратов  $j$ -й стадии в течение  $k$ -го цикла их работы;  $z_j$  – указатель способа передачи партий продукта между аппаратами стадий  $j$  и  $j'$  или  $j$  и  $j''$  (единовременно или в ходе физико-химических превращений).

Алгоритм **Alg<sub>be</sub>** – алгоритм поиска значений длительностей операций «заполненных простоев» основных аппаратов стадий ХТС, моментов их начала и окончания, минимизирующих длительность цикла работы ХТС, то есть алгоритм решения следующей задачи: найти значения  $\tau_{jkl}, j = \overline{1, J}, k = \overline{1, K_j}, l \in B_{jk} \cup E_{jk}$ , доставляющие минимум параметру  $T_c$  при условии (4) и фиксированных значениях  $\tau_{jkl}, j = \overline{1, J}, k = \overline{1, K_j}, l \notin B_{jk} \cup E_{jk}$ . Необходимость решения

этой задачи возникает только в случаях  $K_j > 1$ ,  $j \in (1, \dots, J)$ , то есть когда в течение одного цикла работы ХТС реализуются несколько циклов работы аппаратов некоторых стадий. При этом в циклы работы основных аппаратов ряда стадий выпуска продукта могут быть включены операции «заполненных простоев». Подробное описание алгоритма **Alg<sub>be</sub>** дано в [11].

Условия синхронизации циклов работы аппаратов стадий ХТС:

$$\frac{r_j}{\min_{j=1, J} \{r_j\}} - \text{целое } \forall j = 1, \dots, J; \quad (5)$$

$$\frac{r_{j''}}{r_j} - \text{целое, если } r_{j''} > r_j, j = \mu_{ye}, j'' = \mu_{y,e \pm 1}, y = \overline{1, Y}, e \in (2, \dots, E_y - 1). \quad (6)$$

Условия (5), (6) предназначены для проверки корректности задания значений  $r_j$ ,  $j = \overline{1, J}$ , то есть возможности практической реализации предложенных изменений размеров партий продукта в процессе их переработки на стадиях ХТС. Очевидно, что число циклов работы основных аппаратов любой стадии системы за один цикл выпуска любого продукта, число загрузок и выгрузок в течение одного цикла работы аппаратов любой стадии ХТС может быть только целым.

$$t_{jkl}^H = t_{j',k',l'}^H, \quad t_{jkl}^K = t_{j',k',l'}^K, \quad (7)$$

$$j = \mu_{ye}, \quad j' = \mu_{y,e-1}, \quad y = \overline{1, Y}, \quad e = \overline{2, E_y}, \quad k = \overline{1, K_j}, \quad l \in A_{jk} \cup \Gamma_{jk},$$

где  $k'$  – номер цикла работы аппарата стадии  $j'$ , во время которого происходит операция его выгрузки, соответствующая  $l$ -й операции загрузки  $k$ -го цикла работы аппаратов  $j$ -й стадии ХТС;  $l'$  – номер операции выгрузки  $k'$ -го цикла работы аппарата стадии  $j'$ , соответствующей  $l$ -й операции загрузки  $k$ -го цикла работы аппаратов  $j$ -й стадии.

Условие (7) характеризует необходимость совпадения длительностей операций приема материалов с длительностями операций передач материалов с предыдущих стадий.

Задача **A<sub>j</sub>** для случая организации выпуска одного нового продукта с помощью оборудования действующей ХТС решается при фиксированном значении размера его партии  $w$ , найденном при решении задачи **R**. Необходимо выяснить, способно ли оборудование конкретной стадии  $j$  ХТС осуществить переработку партий такого размера с учетом возможности изменения способа переработки (значений  $n_j$ ,  $r_j$ ,  $p_j$ ) и привлечения дополнительного оборудования. Ответ на этот вопрос требует проверки выполнения следующих ограничений.

Для стадий, основными аппаратами которых являются емкости с перемешивающими устройствами или без них,

$$\frac{\Phi_{j^*}}{v_{j^*} u_j} \leq \frac{w}{x_j} \leq \frac{\Phi_j^*}{v_j u_j}, j \in \Sigma_b, \quad (8)$$

где  $\Phi_{j^*}$ ,  $\Phi_j^*$  – минимально и максимально допустимые степени заполнения аппаратов стадии  $j$  ХТС перерабатываемой массой соответственно;

$$v_{j^*} = \min_{k=1, K_j; l=1, L_{jk}} \{v_{jkl}\}, \quad v_j^* = \max_{k=1, K_j; l=1, L_{jk}} \{v_{jkl}\}.$$

Для стадий фильтрования, укомплектованных рамными или камерными фильтр-прессами, которые предназначены для выделения твердой фазы суспензии

$$\frac{w}{x_j} \leq \frac{\delta_j}{v_j u_j}, \quad j \in \Sigma_f. \quad (9)$$



Для стадий фильтрации и сушки, оснащенных другими основными аппаратами,

$$\frac{w}{x_j} \leq \frac{\tau_j a_j}{g_j^* u_j}, \quad j \in \Sigma_s / (\Sigma_f \cup \Sigma_d), \quad (10)$$

где  $\tau_j$  – совокупная длительность операций переработки партии продукта аппаратами стадии  $j$  ХТС;  $g_j^* = \max_{k=1, K_j; l=1, L_{jk}} \{g_{jkl}\}$ .

Для стадий сушки, укомплектованных кондуктивными сушилками периодического действия,

$$w \leq \min \left\{ x_j^1 \frac{\phi_j^*}{v_j u_j}, x_j^2 \frac{\tau_j a_j}{m_j u_j} \right\}, \quad j \in \Sigma_d, \quad (11)$$

где  $x_j^1, x_j^2$  – рабочий объем и рабочая поверхность сушилки соответственно,  $m_j^* = \max_{k=1, K_j; l=1, L_{jk}} \{m_{jkl}\}$ .

Кроме того, изменение значений переменных  $n_j, x_j$  ограничено соотношениями:

$$x_j \in \mathbf{X}_j, \quad (12)$$

$$n_j - \text{целое}. \quad (13)$$

Параметры  $r_j$  и  $p_j$  могут принимать следующие значения:

$$p_j = \begin{cases} 0, & \text{если } n_j = 1; \\ 0 \text{ или } 1, & \text{если } n_j > 1; \end{cases} \quad (14)$$

$$r_j = \begin{cases} 1 - \text{размер партии не меняется;} \\ \gamma, \gamma > 1, \text{ целое} - \text{дробление партии на } \gamma \text{ порций;} \\ 1/\gamma, \gamma > 1, \text{ целое} - \text{объединение } \gamma \text{ партий.} \end{cases} \quad (15)$$

Заказ по выпуску нового продукта желательно выполнить с использованием комплекта основной аппаратуры минимальной стоимости, поэтому в качестве критерия оптимальности решения задач  $\mathbf{A}_j$  предлагается использовать функцию

$$Z_j^{\mathbf{A}} = N \frac{T_0}{T_W} n_j \sigma(\kappa_j, x_j), \quad (16)$$

где  $N$  – нормативный коэффициент окупаемости для химического оборудования (0,15);  $T_W$  – годовой эффективный фонд рабочего времени ХТС;  $\sigma(\kappa_j, x_j)$  – зависимость стоимости основных аппаратов стадии  $j$  ХТС от их типа  $\kappa_j$  и определяющего размера  $x_j$  [17].

Процесс совместного решения задач  $\mathbf{R}$  и  $\mathbf{A}_j, j = \overline{1, J}$ , при организации выпуска нового продукта с помощью оборудования существующих ХТС сводится к итерационной процедуре уточнения первоначально принятых значений  $n_j, r_j, p_j, j = \overline{1, J}$ :

1) прогноз значений  $n_j, r_j, p_j, j = \overline{1, J}$  и  $x_j, j \in \Sigma_s / \Sigma_f$  ( $n_j = 1, r_j = 1, p_j = 0, j = \overline{1, J}; x_j = \max \mathbf{X}_j, j \in \Sigma_s / \Sigma_f$ );

2) решение задачи **R**, то есть определение значения размера партии продукта  $w$  и значений моментов  $t_{jkl}^H, t_{jkl}^K, j = \overline{1, J}, k = \overline{1, K_j}, l = \overline{1, L_{jk}}$  начала и окончания операций циклов работы основных аппаратов каждой стадии выпуска продукта, обеспечивающих минимум функции (1) при выполнении ограничений (2) – (7);

3) решение задач **A<sub>j</sub>** для всех стадий ХТС, то есть выбор числа и определяющих геометрических размеров  $(x_j, n_j, j = \overline{1, J})$  основных аппаратов стадий с учетом возможности изменения значений  $n_j, r_j, p_j, j \in (1, \dots, J)$ , обеспечивающих минимальные значения функций (16) при выполнении условий (8) – (15);

4) возврат на пункт 2), если полученные в пункте 3) значения  $n_j, r_j, p_j, j = \overline{1, J}$  и  $x_j, j \in \Sigma_s/\Sigma_f$ , не совпадают с их прогнозом.

Задача **R** в постановке (1) – (7) является задачей одномерной оптимизации на отрезке  $w \in [0, Q]$ . Для ее решения предлагается использовать пошаговый метод [18] с начальным приближением  $w = Q/T_0$ , начальным рабочим шагом 0,05 (50 кг), точностью определения значения размера партии продукта 0,001 (1 кг) и величиной пробного шага 0,0005 (0,5 кг).

Задача **A<sub>j</sub>** для конкретной стадии  $j$  ХТС заключается в проверке выполнения ограничений из числа (8) – (11), соответствующего типу  $k_j$  основных аппаратов стадии при фиксированных значениях их размеров и числа. При отрицательном результате проверки необходимо выбрать вариант обеспечения выполнения ограничений за счет изменения способа переработки партий продукта (значений  $r_j, p_j$ ), числа  $n_j$  и определяющего размера аппаратов  $x_j$ , которому соответствует минимальное значение функции (16) при выполнении условий (8) – (15).

### Определение максимальной производительности химико-технологической системы многоассортиментного химического производства

В практике эксплуатации МХП иногда возникает необходимость определить максимальную производительность фиксированного набора оборудования стадий ХТС по конкретному продукту, например, если требуется срочно увеличить его выпуск, компенсировать простои ХТС по причинам отсутствия сырья или отказов оборудования. При этом могут быть скорректированы требования к заполнению емкостных аппаратов, уточнены значения удельных производительностей фильтров и сушилок.

В этом случае необходимо решить задачу поиска максимального значения  $w$ , удовлетворяющего условию (2) и ограничениям (8) – (15) для всех аппаратурных стадий ХТС при фиксированных значениях  $u_j, n_j, x_j$ , а затем – задачу определения значений  $t_{jkl}^H, t_{jkl}^K, j = \overline{1, J}, k = \overline{1, K_j}, l = \overline{1, L_{jk}}$ , обеспечивающих выпуск заданного количества продукта за минимальный срок, то есть (см. (3) – (4)) минимальное значение суммы

$$\max_{y=1, Y} \left\{ \sum_{e=1}^{E_y} \theta_{\mu ye} \right\} + \left( \frac{Q \min_{j=1, J} \{r_j\}}{w} - 1 \right) \max_{j=1, J} \{\theta_j\}, \quad (17)$$

либо выпуск максимального количества партий продукта за заданный период  $T_0$ , то есть максимальное значение дроби

$$\frac{T_0 - \max_{y=1, Y} \left\{ \sum_{e=1}^{E_y} \theta_{\mu ye} \right\}}{\max_{j=1, J} \{\theta_j\}}. \quad (18)$$

Алгоритм решения данной задачи предусматривает следующее:

– решение задач  $A_j$ ,  $j = 1, J$  при фиксированных значениях  $u_j$ ,  $n_j$ ,  $x_j$ ;

– определение максимальных значений размера партии продукта  $w_j$ , удовлетворяющих ограничениям из числа (8) – (11), которые соответствуют типам основных аппаратов стадий и выбор в качестве значения  $w$  минимального из них:

$$w = \min_{j=1, J} \{w_j\};$$

– если значение  $w$  не обеспечивает выполнение ограничений (8) – (11) на размеры основных аппаратов каких-либо стадий, то предпринимаются попытки обеспечить их выполнение за счет изменений значений  $n_j$ ,  $r_j$ ,  $p_j$ ,  $j \in (1, \dots, J)$ .

Решение задачи **R**: при фиксированном значении  $w$  определяются (с использованием, если необходимо, алгоритма **Alg<sub>be</sub>**) значения моментов начала и окончания операций циклов переработки партий продукта на стадиях ХТС  $t_{jkl}^H$ ,  $t_{jkl}^K$ ,  $j = 1, J$ ,  $k = 1, K_j$ ,  $l = 1, L_{jk}$ , обеспечивающие максимальную производительность системы (минимум суммы (17) или максимум дроби (18)) при выполнении ограничений (2) – (7).

### Примеры решения задач

В качестве примера задачи организации выпуска продукта в заданном объеме к указанному сроку рассмотрим задачу выпуска красителя анионного коричневого для кожи в объеме  $Q = 90$  т за  $T_0 = 2040$  ч (85 суток при круглосуточной работе) с помощью основного оборудования ХТС №№ 1, 2 и 4 цеха № 2 Сивашского анилинокрасочного завода, решенную по заказу ОАО «Экохимпроект», г. Тамбов. Структура материальных потоков сформированной ХТС, наименования аппаратурных стадий, номера, типы и определяющие размеры их основных аппаратов представлены на рис. 3. Заметим, что из-за отсутствия достаточного числа малогабаритных емкостных аппаратов с перемешивающими устройствами в аппаратах стадий 1 и 3 последовательно реализуются по две стадии синтеза продукта (растворение и диазотирование).

В ходе решения задач  $A_j$  определено, что рабочие объемы и условия заполнения аппаратов стадий 2, 4, 6 и 9 препятствуют выполнению ограничений (8). Для обеспечения их выполнения приняты решения об объединении в этих аппаратах двух партий продукта для совместной переработки ( $r_2 = r_4 = r_6 = r_9 = 1/2$ ). При минимальном числе основных аппаратов на каждой стадии ( $n_j = 1$ ,  $j = 1, 10$ ) минимальная продолжительность выпуска продукта, согласно (17), превышает 3200 ч (134 суток), причем лимитирует значение межциклового периода стадия 8 (фильтрование). Для выхода из этой ситуации, с учетом наличия резервных аппаратов, принято решение осуществлять на стадиях 7, 8 синхронную переработку двух партий продукта в двух параллельных основных аппаратах ( $n_7 = n_8 = 2$ ,  $r_7 = r_8 = 1/2$ ,  $p_7 = p_8 = 1$ ): на стадии 8 использовать два идентичных фильтра, а на стадии 7 дополнительный аппарат № 1-30 объемом  $16 \text{ м}^3$ , пригодный для подачи суспензии красителя на фильтрование. Аппарат стадии 10 способен принять сразу весь объем репульпированной пасты продукта (обе партии), то есть устанавливается  $r_{10} = 1/2$ .

Результаты решения задачи **R** после коррекции значений  $n_j$ ,  $r_j$ ,  $p_j$ ,  $j \in (1, \dots, 10)$ :

– размер партии продукта  $w = 0,853$  т;

– число партий продукта, выпускаемое за цикл работы системы  $1 / \min_{j=1, J} \{r_j\} = 2$ ;

– продолжительность цикла работы ХТС  $T_c = 84,4$  ч;

– межциклового период  $T_p = 36$  ч;

– период выпуска продукта  $T_0 = 1944,4$  ч (81,02 суток).

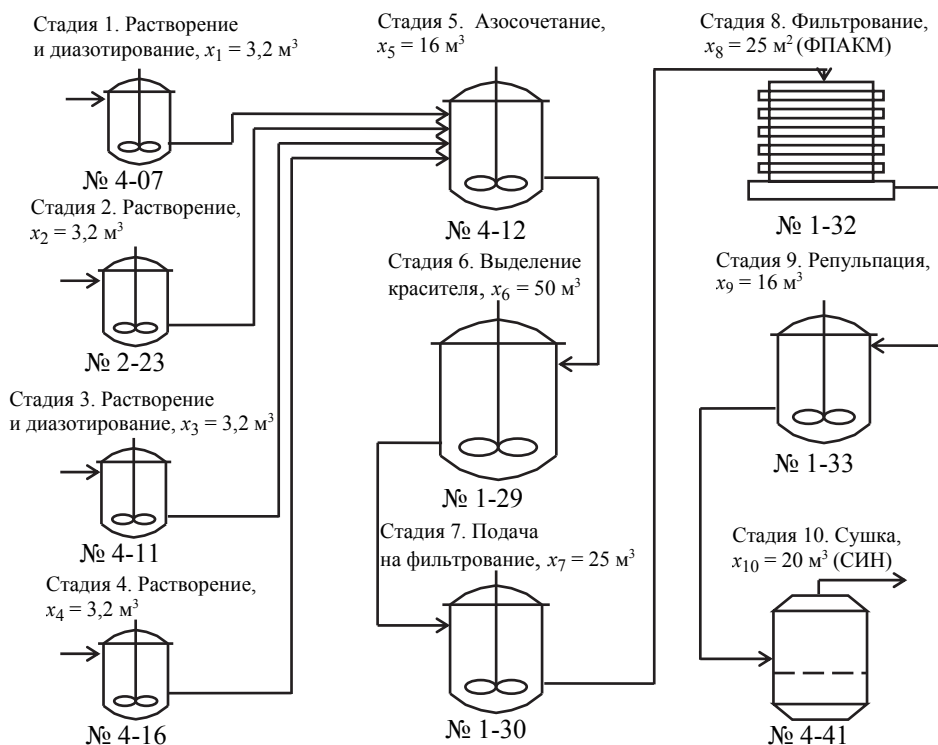


Рис. 3. Структура и характеристики основного оборудования стадий ХТС выпуска красителя анионного коричневого для кожи

В качестве примера задачи определения максимальной производительности ХТС рассмотрим задачу определения минимального периода выпуска 1,3 фенилендиамина (полупродукт для производства дисперсных красителей) в объеме 170 т, решенную по заказу проектно-конструкторского отдела ОАО «Пигмент», г. Тамбов. Плановый период выпуска 170 т 1,3 фенилендиамина – 2640 ч (110 суток при круглосуточной работе).

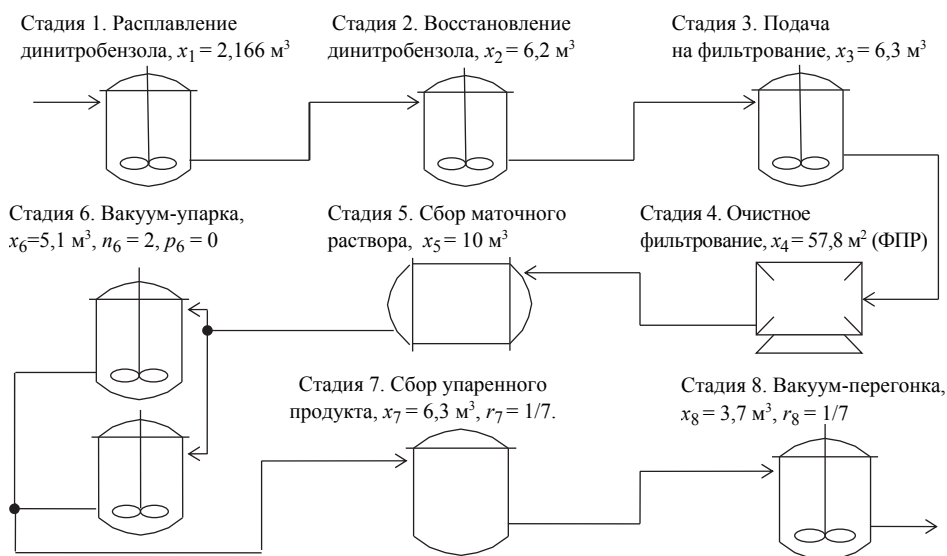
Структура ХТС, реализующей процесс синтеза этого продукта, наименования ее аппаратных стадий и их АО представлены на рис. 4. Аппараты стадии 6 принимают целые партии маточного раствора поочередно, со сдвигом по времени. В емкости на стадии 7 осуществляется сбор семи партий упаренного продукта, которые затем подаются на вакуум-перегонку.

Результаты решения задач  $A_j$ :  $w_1 = 1,288$  т,  $w_2 = 0,376$  т,  $w_3 = 0,4$  т,  $w_4 = 0,507$  т,  $w_5 = 0,678$  т,  $w_6 = 0,398$  т,  $w_7 = 0,734$  т,  $w_8 = 0,383$  т, то есть размер партии продукта  $w = \min_{j=1,J} \{w_j\} = 0,376$  т. При этом значения  $w$  ограничения (8) для стадий 1 – 3, 5 – 8 и ограничение (10) для стадии 4 выполняются.

В результате решения задачи  $R$  определены такие значения  $t_{jkl}^H, t_{jkl}^K$ ,

$$j = \overline{1,J}, \quad k = \overline{1,K_j}, \quad l = \overline{1,L_{jk}}, \quad \text{что} \quad \max_{y=1,Y} \left\{ \sum_{e=1}^{E_y} \theta_{\mu_{ye}} \right\} + \left( \frac{Q \min_{j=1,J} \{r_j\}}{w} - 1 \right) \max_{j=1,J} \{\theta_j\} = 93,16 +$$

$+ 170/(0,376 \cdot 7) \cdot 38,5 = 2579,86$  ч (107,5 суток), то есть ХТС имеет резерв рабочего времени 2,5 суток, который может быть использован для компенсации непредвиденных простоев либо дополнительного выпуска продукта в объеме 3,95 т.



**Рис. 4. Химико-технологическая система для производства 1,3 фенилендиамина технического**

### Заключение

Предложенные математические постановки и методы решения задач АО ХТС действующего МХП обеспечивают принятие обоснованных решений по организации выпуска новых продуктов в заданных объемах к указанному сроку с помощью оборудования действующего производства, а также выявление максимальной производительности действующей ХТС по конкретному продукту.

Решение первой из этих задач позволяет выбрать основное оборудование действующего производства для реализации всех стадий синтеза нового продукта и определить режим совместного функционирования этих аппаратов, обеспечивающий выполнение заказа по выпуску нового продукта с минимальными издержками на потребляемые энергоресурсы и амортизацию оборудования.

Решение второй задачи позволяет определять максимальный объем выпуска конкретного продукта к указанному сроку либо минимальную продолжительность выпуска заданного объема данного продукта на конкретной ХТС действующего МХП без изменения ее АО, то есть резерв производительности ХТС, который может быть использован по усмотрению администрации для дополнительного выпуска этого или другого продукта.

### Список литературы

1. Sparrow, R. E. The Choice of Equipment Sizes for Multiproduct Batch Plants. Heuristics Vs. Branch and Bound / R. E. Sparrow, D. J. Forder, D. W. T. Rippin // *Ind. & Eng. Chem. Proc. Des. & Dev.* – 1975. – V. 14. – P. 197.
2. Малыгин, Е. Н. Автоматизированный расчет оборудования гибких технологических производств / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // *Хим. промышленность.* – 1985. – № 2. – С. 118 – 123.
3. Гордеев, Л. С. Интегрированная экспертная система для организации многоассортиментных химических производств / Л. С. Гордеев, М. А. Козлова, В. В. Макаров // *Теорет. основы хим. технологии.* – 1998. – Т. 32, № 3. – С. 322 – 332.

4. Малыгин, Е. Н. Проектирование многоассортиментных химических производств: определение аппаратного оформления химико-технологических схем / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин, А. Б. Борисенко // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 272 – 283.
5. Mokeddem, D. Optimal Solutions of Multiproduct Batch Chemical Process Using Multiobjective Genetic Algorithm with Expert Decision System / D. Mokeddem, A. Khellaf // J. Automated Methods and Management in Chemistry. – 2009. – Vol. 2009. – Art. ID 927426. – 9 p. doi: 10.1155/2009/927426
6. Карпушкин, С. В. Методика выбора основной аппаратуры технологических систем при проектировании многоассортиментных химических производств. Ч. I. Постановки задач и схема их совместного решения / С. В. Карпушкин, М. Н. Краснянский, А. Б. Борисенко // Информ. технологии в проектировании и производстве. – 2012. – № 3. – С. 52 – 58.
7. Об одном алгоритме формирования вариантов размещения производств на действующем оборудовании с мобильной технологической структурой / В. В. Резниченко [и др.] // Теорет. основы хим. технологии. – 1976. – Т. 10, № 4. – С. 636 – 639.
8. Малыгин, Е. Н. Проектирование многоассортиментных химических производств: расчеты оборудования действующего производства при выпуске новой продукции / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин, В. Г. Мокрозуб // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2000. – Т. 6, № 4. – С. 572 – 583.
9. Cavin, L. A Method for Identifying the Optimal Design of a Single Chemical Process to Be Implemented in an Existing Multipurpose Batch Plant / L. Cavin, U. Fischer, K. Hungerbühler // AIChE Journal. – 2004. – Vol. 50. – P. 1134 – 1152.
10. Карпушкин, С. В. Модернизация химико-технологических систем действующего многоассортиментного производства при изменении планов выпуска продукции / С. В. Карпушкин, М. Н. Краснянский, А. Б. Борисенко // Хим. промышленность сегодня. – 2012. – № 1. – С. 26 – 32.
11. Малыгин, Е. Н. Математическая модель функционирования многопродуктовых химико-технологических систем / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин, А. Б. Борисенко // Теорет. основы хим. технологии. – 2005. – Т. 39, № 4. – С. 455 – 465.
12. Малыгин, Е. Н. Методология автоматизированного проектирования технических систем с изменяемым ассортиментом продукции / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 778 – 788.
13. Борисенко, А. Б. Иерархия задач аппаратного оформления технологических систем многоассортиментных химических производств / А. Б. Борисенко, С. В. Карпушкин // Изв. РАН. Теория и системы упр. – 2014. – № 3. – С. 113 – 123.
14. Parageorgaki, S. Optimal Design of Multipurpose Batch Processes. 2. A Decomposition Solution Strategy / S. Parageorgaki, G. V. Reklaitis // Ind. & Eng. Chem. Res. – 1990. – V. 29. – P. 2062 – 2073.
15. Декомпозиционный алгоритм оптимизации многопродуктовых химико-технологических систем / Л. С. Гордеев [и др.] // Програм. продукты и системы. – 1997. – № 1. – С. 2 – 10.
16. Pinto, T. Decomposition Based Algorithm for the Design and Scheduling of Multipurpose Batch Plants / T. Pinto., A. Barbósa-Póvoa, A. Novais // Poster papers of 16<sup>th</sup> European Symp. on Computer Aided Process Engineering. – Garmisch-Partenkirchen, Germany, 2006. – P. 1051 – 1056.
17. Карпушкин, С. В. Методика оценки эффективности аппаратного оформления химико-технологических систем многоассортиментного производства / С. В. Карпушкин, М. Н. Краснянский, А. Б. Борисенко // Информ. системы и технологии. – 2011. – № 5. – С. 96 – 106.
18. Бояринов, А. И. Методы оптимизации в химической технологии / А. И. Бояринов, В. В. Кафаров. – М. : Химия, 1975. – 576 с.

## Optimization of Existing Equipment for Multiproduct Batch Plants in New Product Release

S. V. Karpushkin, M. N. Krasnyansky, A. B. Borisenko

*Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering,  
TSTU; karp@mail.gaps.tstu.ru*

**Keywords:** chemical process equipment; equipment design; maximum productivity; multiproduct batch chemical plants; new products on existing production systems.

**Abstract:** The authors propose mathematical formulations and methods for solving the problems of choosing the equipment for multiproduct batch chemical plants used in modern practices of design-and-engineering departments. The authors formulated the problem of using the existing equipment to make a new product in a given volume by the indicated date (due date), and the problem of determining the maximum productivity of the chemical processing system for a particular product. The problem statements are based on the analysis of real multi-product chemical plants with regard to the features that affect the manufacturing processes and equipment design stages. The authors give examples of solving the problems for existing multiproduct batch plants.

### References

1. Sparrow R.E., Forder D.J., Rippin D.W.T. The Choice of equipment sizes for multiproduct batch plants. Heuristics vs. branch and bound, *Ind. & Eng. Chem. Proc. Des. & Dev.*, 1975, vol. 14, pp. 197-203.
2. Malyigin E.N., Karpushkin S.V. [Automated calculation of flexible manufacturing production equipment], *Khimicheskaya promyshlennost'* [Industry & Chemistry], 1985, no. 2, pp. 118-123.
3. Gordeev L.S., Kozlova M.A., Makarov V.V. Integrated Expert System for Designing Multiproduct Chemical Plants, *Theor. Found. Chem. Eng.*, 1998, vol. 32, no. 3, pp. 286-295.
4. Malyigin E.N., Karpushkin S.V., Borisenko A.B. [Multi-Product Chemical Plants' Design: Determination of Equipment Configuration of Chemical-Engineering Schemes], *Transaction of the Tambov State Technical University*, 2002, vol. 8, no. 2, pp. 272-283. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Mokeddem D., Khellaf A. Optimal Solutions of Multiproduct Batch Chemical Process Using Multiobjective Genetic Algorithm with Expert Decision System, *J. Automated Methods and Management in Chemistry*, 2009, vol. 2009, art. ID 927426, doi: 10.1155/2009/927426
6. Karpushkin S.V., Krasnyanskiy M.N., Borisenko A.B. [Method for Choosing of Engineering Systems' Main Apparatuses when Designing of Multi-Product Chemical Plants. Part I. Statements of Tasks and Scheme of Their Joint Decision], *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* [Information technology in the design and manufacture], 2012, no. 3, pp. 52-58. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Reznichenko V.V., Silber V.Ya., Shitikov V.K. [An algorithm for the formation of productions of accommodation options on existing equipment with the mobile technology structure], *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical Foundations of Chemical Engineering], 1976, vol. 10, no. 4, pp. 636-639. (In Russ.)

8. Malygin E.N., Karpushkin S.V., Mokrozub V.G. [Design of Multi-product Chemical Plant: Calculation of Existing Plant Equipment under a New Production Output], *Transaction of the Tambov State Technical University*, 2000, vol. 6, no. 4, pp. 572-583. (In Russ., abstract in Eng.)
  9. Cavin L., Fischer U., Hungerbühler K. A method for identifying the optimal design of a single chemical process to be implemented in an existing multipurpose batch plant, *AIChE Journal*, 2004, vol. 50, pp. 1134-1152.
  10. Karpushkin S.V., Krasnyanskiy M.N., Borisenko A.B. [Modernization of chemical processes acting multiproduct production when changing output plans], *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya* [Chemical Industry Today], 2012, no. 1, pp. 26-32.
  11. Malygin E.N., Karpushkin S.V., Borisenko A.B. A Mathematical Model of the Functioning of Multi-product Chemical Engineering Systems, *Theor. Found. Chem. Eng.*, 2005, vol. 39, no. 4, pp. 429-439.
  12. Malygin E.N., Karpushkin S.V. [Methodology of Computer-Aided Designing of Technical Systems with Changeable Range of Products], *Transaction of the Tambov State Technical University*, 2008, vol. 14, no. 4, pp. 778-788. (In Russ., abstract in Eng.)
  13. Borisenko A.B., Karpushkin S.V. Hierarchy of Processing Equipment Configuration Design Problems for Multiproduct Chemical Plants, *J. Comp. & Sys. Sci. Int.*, 2014, vol. 53, no. 3, pp. 410-419.
  14. Parageorgaki S., Reklaitis G.V. Optimal Design of Multipurpose Batch Processes. 2. A Decomposition Solution Strategy, *Ind. & Eng. Chem. Res.*, 1990, vol. 29, pp. 2062-2073.
  15. Gordeev L.S., Makarov V.V., Sboeva Yu.V., Ileneva E.V. [Dekompozitsionnyi algoritm optimizatsii mnogoproduktovykh khimiko-tehnologicheskikh sistem], *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems], 1997, no. 1, pp. 2-10. (In Russ.)
  16. Pinto T., Barbósa-Póvoa A., Novais A. Decomposition Based Algorithm for the Design and Scheduling of Multipurpose Batch Plants, *Poster papers of 16<sup>th</sup> European Symp. on Computer Aided Process Engineering*, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 2006, pp. 1051-1056.
  17. Karpushkin S.V., Krasnyanskiy M.N., Borisenko A.B. [Technique of the Estimation of Efficiency of Hardware Registration of Himiko-Technological Systems of Poliassopriment Manufactures], *Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Information systems and technologies], 2011, no. 5, pp. 96-106. (In Russ., abstract in Eng.)
  18. Boyarinov A.I., Kafarov V.V. *Metody optimizatsii v himicheskoy tehnologii* [Methods for optimization of Chemical Technology], Moscow: Himiya, 1975, 576 p. (In Russ.)
- 

### **Optimisierung des Funktionierens der Ausrüstung der aktiven vielsortimenten Produktion bei der Realisierung der Bestellung auf die Erzeugung des neuen Produktes**

**Zusammenfassung:** Es sind die mathematischen Stellungen und die Methoden der Lösung der Aufgaben der Apparaturausstattung der chemietechnologischen Systeme, die für die modernen Praxis der Arbeit der Entwurfkonstruktionsabteilungen der vielsortimenten chemischen Produktionen typisch sind, vorgeschlagen: die Aufgaben der Organisierung der Erzeugung des neuen Produktes im eingeplanten Umfang zur angegebenen Frist mit Hilfe der Ausrüstung der aktiven Produktion und die Aufgaben der Bestimmung der maximalen Produktivität des chemietechnologischen



Systems nach dem konkreten Produkt. Die Aufgabenstellungen sind aufgrund der Analyse der Besonderheiten der realen vielsortimenten chemischen Produktionen, die die Organisation der Prozesse der Erzeugung der Produkte und die Apparaturausstattung der Stadien der chemietechnologischen Systeme beeinflussen, entwickelt. Es sind die Beispiele der Lösung der Aufgaben für die realen vielsortimenten der chemischen Produktionen angeführt.

---

### **Optimisation du fonctionnement de l'équipement de la production de haute gamme lors de la réalisation de la commande de la sortie d'un nouveau produit**

**Résumé:** Sont proposées les mises mathématiques et les méthodes de la résolution des problèmes de la présentation d'appareillage des systèmes chimiques et technologiques typiques pour les pratiques de travail des départements modernes de la conception des unités de la production chimique de haute gamme: tâches de l'organisation de la production d'un nouveau produit dans le volume prévu pour une date indiquée et à l'aide de l'équipement de la production qui fonctionne et tâches de la détermination de la productivité maximale du système chimique-et technologique d'un produit concret. Les objectifs sont élaborés à la base de l'analyse des caractéristiques des productions chimiques de haute gamme qui influencent sur l'organisation des processus de la production et la présentation d'appareillage des stades des systèmes chimiques et technologiques. Sont cités des exemples des solutions des problèmes pour les productions chimiques de haute gamme.

---

**Авторы:** *Карпушкин Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Краснянский Михаил Николаевич* – доктор технических наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «ТГТУ»; *Борисенко Андрей Борисович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Туголуков Евгений Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов», ФГБОУ ВО «ТГТУ».

---