

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И  
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (05.13.01)**

05.13.01

**Д.Н. Ахунов**

Набережночелнинский государственный педагогический университет,  
факультет математики и информатики,  
кафедра математики, физики и методики обучения,  
Набережные Челны, dam-ahunovv@yandex.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*В работе рассматривается совершенствование системы управления производством гранулированных материалов в рамках стратегии системного подхода. Предлагается алгоритм управления в системе реального времени, основанный на имитационной модели производства в виде временной сети Петри.*

Ключевые слова: математическая модель, системный подход, алгоритм управления, сети Петри.

При исследовании самых разнообразных производственных проблем, используется системный подход [1,2]. Под системным подходом понимают совокупность методологических средств, используемых для подготовки и принятия решений экономического, организационного или технического характера при управлении сложными системами.

Моделирование в системном анализе является центральной процедурой. Задача построения модели производственной системы заключается в определении множества ее состояний и закономерностей их смены [3].

Среди множества математических моделей, ориентированных на решение разнообразных задач моделирования, анализа и синтеза производственных систем, сети Петри являются наиболее удобным математическим аппаратом для моделирования сложных систем [4-7].

Рассмотрим реактор формирования гранулированных материалов, который представляет собой аппарат периодического действия вместимостью 500кг, имеющий один вход и два выхода на аппараты следующей стадии. Граф модели реактора, представим следующим описанием (см. рис.1).

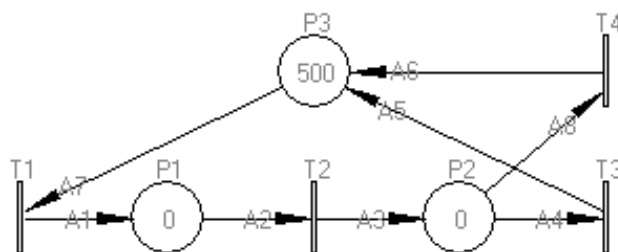


Рис.1. Модель реактора формирования.

Перед нами встает задача, как из N реакторов, в каждом из которых находится 500 кг полупродукта, выбрать n готовых, чтобы конечная партия продукта удовлетворяла требованиям ТУ без операции усреднения (мешки). Каждый из реакторов имеет свой нормальный закон распределения. Критерием выбора является закон распределения наиболее близкий к «эталонному».

Для подавления стохастического фактора предлагается следующий **алгоритм управления** в системе реального времени, основанный на имитационной модели производства в виде временной сети Петри:

ШАГ 1. Проверяются все выходные переходы реакторов  $T_i, (i = \overline{1, 24})$ , до тех пор, пока среди них не окажется  $n (n \leq 24)$  готовых перехода. Им соответствуют  $m, (m = n/2)$  готовых реакторов цеха. Во всех реакторах, соответствующих готовым переходам, делается ситовый анализ и строится гистограмма распределения по размерам гранул продукта.

ШАГ 2. Сравниваются гистограммы  $m$  реакторов  $S_i, (i = \overline{1, m})$  с эталонной  $S^*$  по критерию  $\min_{1 \leq i \leq m} \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_i)^2}$ , где  $x_i \in S^*$  параметры эталонной гистограммы,  $x_{ij} \in S_i$  параметры гистограммы реактора. Выбираем реактор по заданному критерию. Запускаем переход  $T_i^*$  соответствующий этому реактору.

ШАГ 3. Полагаем вес частной партии  $P = 500$  с гистограммой распределения реактора  $R(T_i^*)$ .

ШАГ 4. Проверяем все выходные переходы реакторов  $T_i, (i = \overline{1, 24})$ , до тех пор, пока среди них не найдутся готовые переходы. Им соответствует множество номеров готовых реакторов  $E$ . Для всех реакторов с номером из множества  $E$  вычисляем гистограммы  $S_l, l \in E$ , получаемые при суммировании гистограмм распределения реакторов с гистограммой распределения частной партии:  $s_{lj} = \frac{1}{P + 500} (Ps_{pj} + 500x_{lj}), j = \overline{1, k} l \in E$ , где  $s_{pj}$  - параметры гистограммы распределения частной партии,  $x_{lj}$  - параметры распределения реактора  $R_l$ ,  $s_{lj}$  - параметры распределения гистограммы  $S_l$ .

ШАГ 5. Выбираем реактор  $R^*_l$  по критерию  $\min_{l \in E} \sqrt{\sum_{j=1}^k (s_{lj} - x_i)^2}$  и запускаем соответствующий ему переход  $T_i^*$ .

ШАГ 6. Полагаем  $P = P + 500$ , и определяем гистограмму частной партии  $S_p$  по формуле  $s_{pj} = \frac{1}{P + 500} (Px_{pj} + 500x_{lj}), j = \overline{1, k} l \in E$ .

ШАГ 7. Если  $P < 5000$  то переходим на ШАГ 4.

ШАГ 8. Определяем пропорции, в которых надо добавить узкие фракции полупродукта, чтобы выполнялось условие  $S_p = S^*$ .

ШАГ 9. Останов алгоритма.

Данный алгоритм был реализован в комплексе программ (КП) QualitySG (Quality of Sphere granule – качество сферических гранул), разработанный в среде визуального программирования Delphi6.0 с учетом возможности динамического перехода на разные марки продукта (см. рис.2).

На верхней панели окна расположены графики гистограмм на выходе реакторов (красным цветом), гистограмма распределения частной партии серого продукта массой до 5000 кг (зелёным цветом), и эталонная гистограмма распределения (синий цвет). Под графиком расположены индикаторы наполнения и разгрузки смесителей серого продукта ёмкостью 5000 кг. Зелёным цветом представляется наполнение емкостей, синим – разгрузка после добавления узких фракций. Под графиком распределения частной партии расположен индикатор заполнения частной партии серого продукта и системное время функционирования сети. Под графиком эталонной гистограммы распределения показана масса полученного готового продукта в кг.

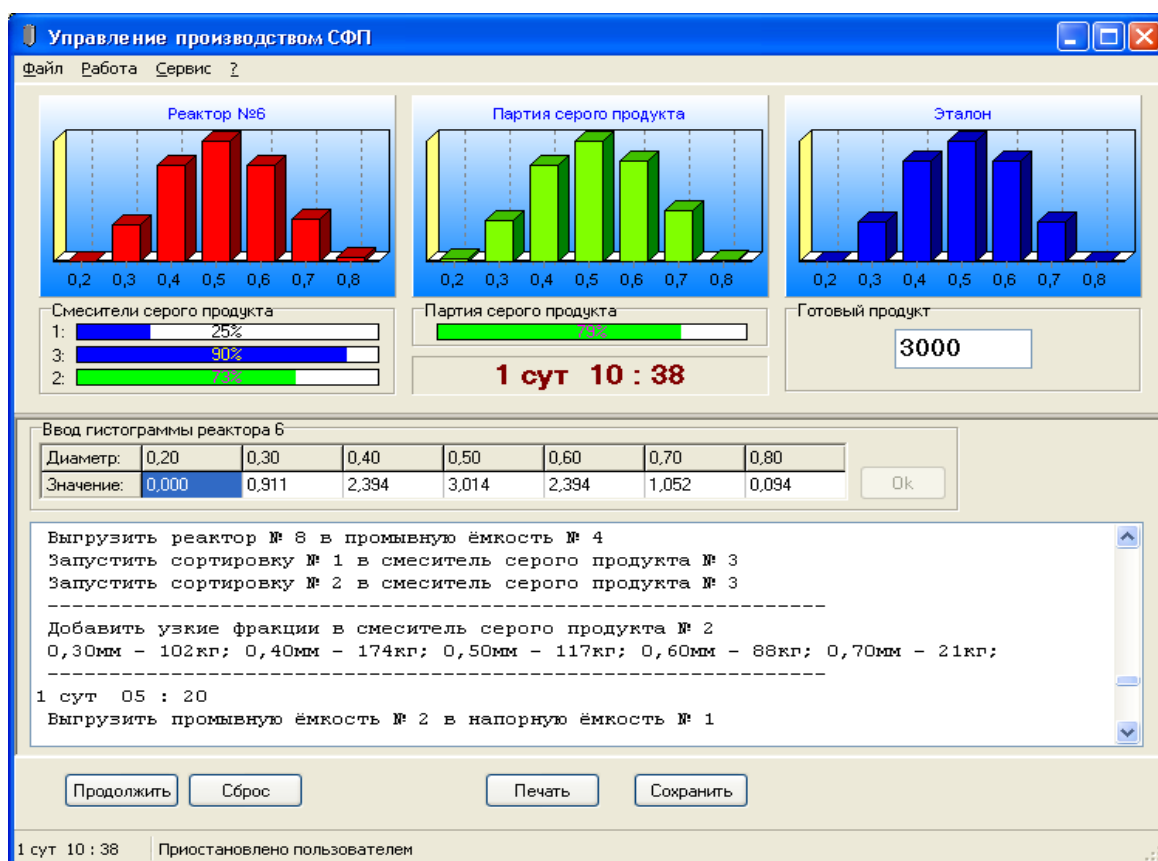


Рис.2. Общий вид программы.

На панели в середине окна расположена таблица для ввода значений гистограммы на выходе реакторов и текстовое окно с выводом директив управления производством. Здесь представлена ситуация когда программа запрашивает добавление узких фракций в смеситель серого продукта.

Если программа работает в не демонстрационном режиме, то при готовности какого-либо реактора к выгрузке, программа приостанавливается, и буде ждать ввода оператором гистограммы распределения реактора.

Сеть Петри для моделирования работы цеха получена с помощью программы PNModel v1.1. Программа считывает и распознает полученное с помощью данной программы аналитическое описание сети из файла.

Предложенный алгоритм позволяет существенно снизить трудоемкость фазы смешивания и улучшить физико-химические свойства гранул по всему объему крупнотоннажной партии.

### Список литературы

1. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные системы в химической промышленности. // Химия. – 1990.
2. Горбатов В.А., Кафаров В.В., Павлов П.Г. Логическое управление технологическими процессами. // Энергия. – 1978. – С. 272.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Изд. 2-е, // Наука. – 1978. – С. 400.
4. Котов В.С. Сети Петри. // Наука. – 1984. – С. 160.
5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем тем: Пер.с англ. // Мир. – 1984. – С. 264.
6. Petri C.A. Kommunikation mit Automaten. // Bonn: Institut fur Instrumentalle Mathematik, Schriften des N3, 1962. Also, English translation, "Communication with Automats". New York: Griffiss Air Force Base. Tech.rep. RADCTR-65-377, vol. 1, suppl. 1. - 1966.
7. Ахунов Д.Н., Карпова М.Н. Использование сетей Петри при моделировании процессов производства. // Итоговая научная конференция: сборник докладов / под ред. д-ра техн. наук Л.А. Симоновой. – Набережные Челны. – 2017. – С. 268-273.