УДК 681.51/54

**Н.В.ДАНИЛОВА**
*Металлургический факультет, группа АПМ-М-02,*
*ассистент профессора*

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВАНЮКОВА

Рассмотрен подход к изучению металлургических процессов с помощью метода планирования эксперимента. С использованием факторного плана $2^4$ исследовано влияние параметров загрузки печи Ванюкова на концентрацию меди в штейне. В качестве варьируемых переменных рассматривались расходы сульфидных материалов, флюса, технического кислорода, а также содержания кислорода в дутье. В результате обработки опытных данных получено уравнение регрессии. Построена модель процесса Ванюкова. Проведен численный эксперимент по методу Монте-Карло. Выявлены недостатки системы управления процессом.

The approach to studying metallurgical processes by means of a method of planning of experiment is considered. With use $2^4$ factorial plans are investigated influence of parameters of loading of furnace Vanjukov on concentration of copper in stein. As varied variables the stream of sulphidic materials, stream of fluxes and stream of technical oxygen were considered. As a result of processing skilled data the equation of regress is received. The model of Vanjukov process is constructed. Numerical Experiments were made on a method of Monte-Carlo. Are revealed current control system shortcomings by process.

Построение управляющих моделей методом активного эксперимента для изучения процесса Ванюкова затруднено и практически невозможно, так как по условиям технологического процесса нельзя нарушать режим протекания процесса. Поэтому для изучения процесса прибегнем к пассивному эксперименту.

Целью управления процессом плавки медных никельсодержащих сульфидных материалов в печи Ванюкова (площадью основания в области фурм 36 м$^2$) является получение штейна требуемого качества.

В результате эксперимента необходимо выяснить, каким образом на концентрацию меди в штейне $Y$, принятую в качестве функции отклика, влияют различные факторы. Предварительные исследования показали, что наибольшее влияние на концентрацию меди в штейне оказывают: расход сульфидных материалов $x_1$, расход флюсовых материалов $x_2$, содержание кислорода в кислородовоздушной смеси (КВС) $x_3$ и расход технического кислорода на печь $x_4$.

Уровни факторов и их интервалы варьирования выбраны на основе обработки данных оперативного контроля печи Ванюкова медного завода Заполярного филиала ГМК «Норильский никель» за 2006 г. В ходе работы была сделана выборка, соответствующая полному факторному эксперименту (см. таблицу).

Анализ имеющихся сведений об объекте (печи Ванюкова) свидетельствует о том, что наибольший интерес представляют линейные эффекты и парные взаимодействия. Поэтому модель объекта исследования имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + $$

$$+ b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 . \quad (1)$$

Наиболее простой план, допускающий оценку всех коэффициентов ($s$ = 11) такой модели – это ПФЭ (полный факторный эксперимент) типа $2^4$ с числом опытов $N$ = 16. Последовательность проведения опытов эксперимента удовлетворяет требованию рандомизации, т.е. организации случайной последовательности опытов, позволяющей минимизировать влияние помех.

**Таблица условий проведения полного факторного эксперимента**

| Величина | Расход сульфидных материалов, т/ч | Расход флюсов, т/ч | Содержание кислорода в КВС, % | Расход технического кислорода, $м^3/ч$ |
|---|---|---|---|---|
| Обозначение параметров | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ |
| Основной уровень | 78,78 | 41,09 | 80,80 | 23576,11 |
| Интервал варьирования | 28,66 | 20,30 | 13,68 | 7282,43 |
| Нижний уровень (–1) | 50,12 | 20,79 | 94,48 | 16293,68 |
| Верхний уровень (+1) | 107,43 | 61,40 | 67,12 | 30858,54 |

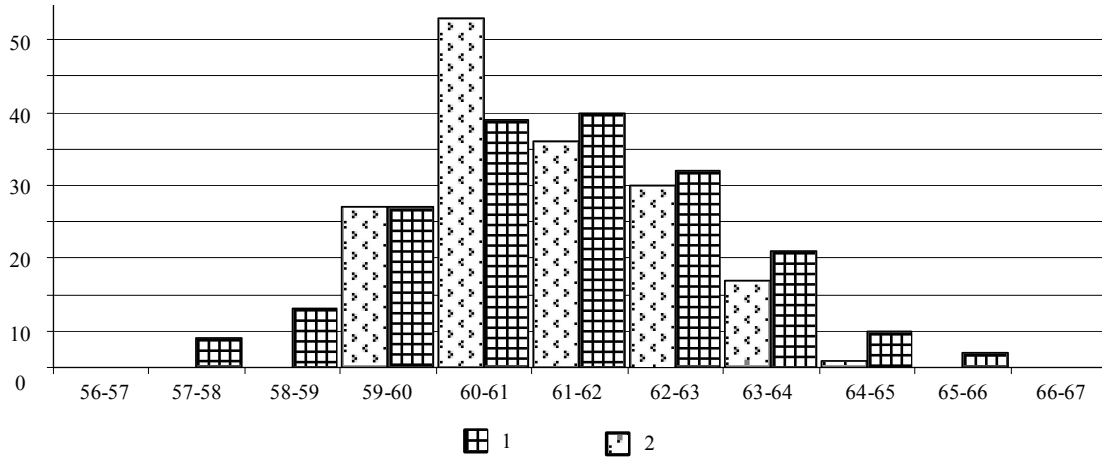



Рис.1. Распределение фактических (1) и рассчитанных (2) значений содержания меди в штейне

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования* с учетом незначимых коэффициентов (по критерию Стьюдента к незначимым коэффициентам относятся те, значение которых не превосходит 0,21) получена следующая зависимость концентрации меди в штейне от параметров загрузки печи Ванюкова:

$$Y = 61{,}77 + 2{,}58x_1 + 0{,}23x_2 - 1{,}52x_1x_4 -$$

$$- 0{,}39x_2x_4 + 0{,}57x_3x_4 . \qquad (2)$$

Для всех исходных фактических данных, включая точки факторного пространства, по уравнению (2) были вычислены расчетные значения концентрации меди в штейне. Распределения фактических и рассчитанных по (2) значений концентрации меди в штейне приведены на рис.1.

Проверка адекватности полученного полинома (2) реальному объекту (печи Ванюкова) с помощью критерия Фишера показала, что найденная аппроксимирующая зависимость адекватно описывает исследуемое явление во всей области экспериментирования. Следовательно, найденная зависимость (2) хорошо отслеживает логику операторов при ведении процесса. Можно утверждать с высокой степенью вероятности, что полиномиальная модель адекватна практике ведения процесса.

Для проверки точности полученной зависимости воспользуемся универсальным методом статических испытаний (метод Монте-Карло). Идею метода можно описать так: процесс функционирования сложной системы имитируется на ЭВМ со всеми сопровождающими его случайностями. Таким образом, строится одна реализация случайного процесса со случайным ходом и исходом. Получив множество таких реализаций,

* Методы исследований и организация экспериментов / Под ред. К.П.Власова. Харьков: Изд-во Гуманитарный центр, 2002.

обработав их как единый статистический материал, можно получить представления о том, как условия задачи влияют на функционирование системы. Таким образом, при применении метода Монте-Карло случайность используется как аппарат исследования. Для реализации метода Монте-Карло по уравнению (2) в MatLab построим модель процесса (рис.2).

В результате работы модели получено множество реализаций случайных опытов. Сравнив полученные данные случайной реализации с фактическими данными, можно сделать вывод о качестве ведения процесса.

Распределения значений концентрации меди в штейне, полученные методом Монте-Карло, а также фактических значений концентрации меди в штейне приведены на рис.3.

Как видно из рис.3, реализации случайного эксперимента практически точно повторяют фактические данные содержания меди в штейне.

Оценка значимости различия дисперсий показала, что составленная модель адекватно описывает исследуемое явление во всей области экспериментирования. Оценка математических ожиданий с помощью *t*-критерия Стьюдента показала, что средние значения статистически различаются.

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

Найдено уравнение (2), адекватно описывающее процесс Ванюкова. Построена модель процесса Ванюкова и проведен численный эксперимент по методу Монте-Карло.

Выявлены основные недостатки системы управления процессом Ванюкова:

- процесс Ванюкова можно отнести к стационарным случайным процессам, а систему управления процессом – к системам, подчиняющимся стохастическим законам управления;

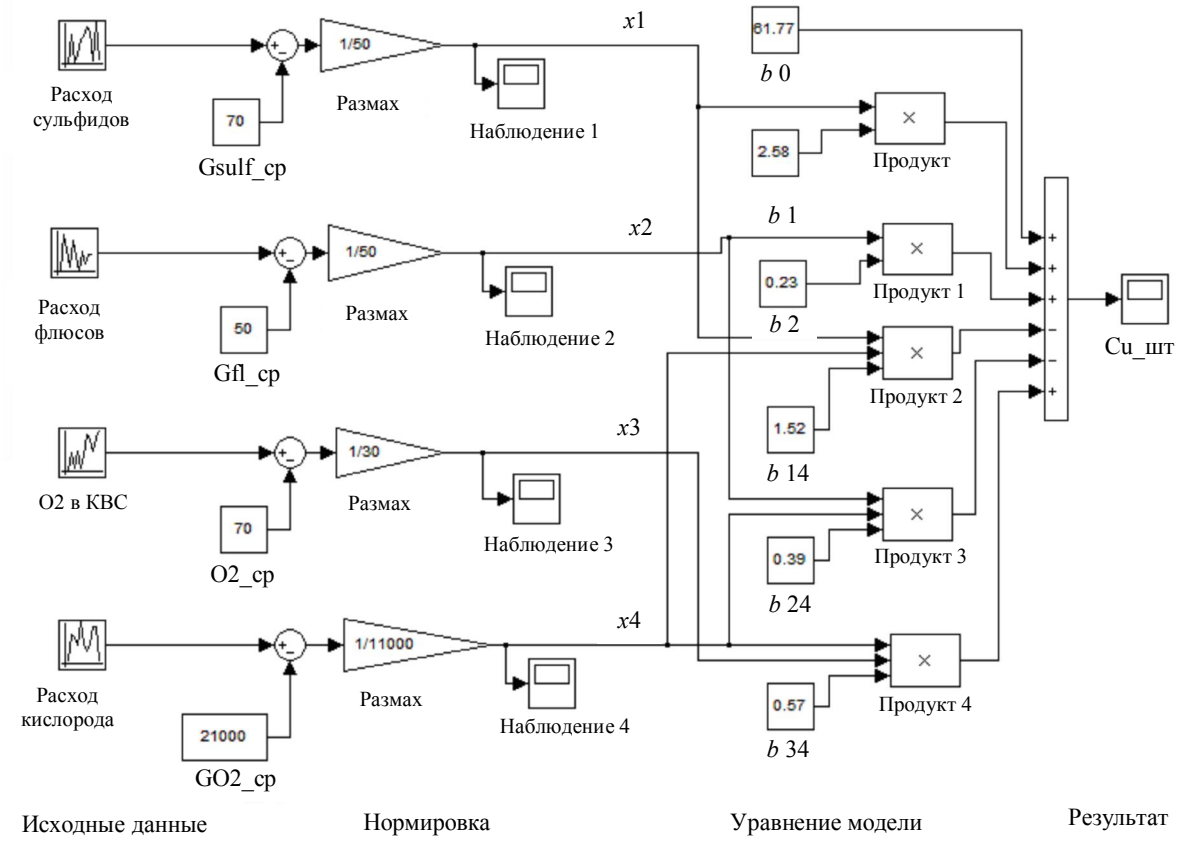



Рис.2. Модель процесса Ванюкова

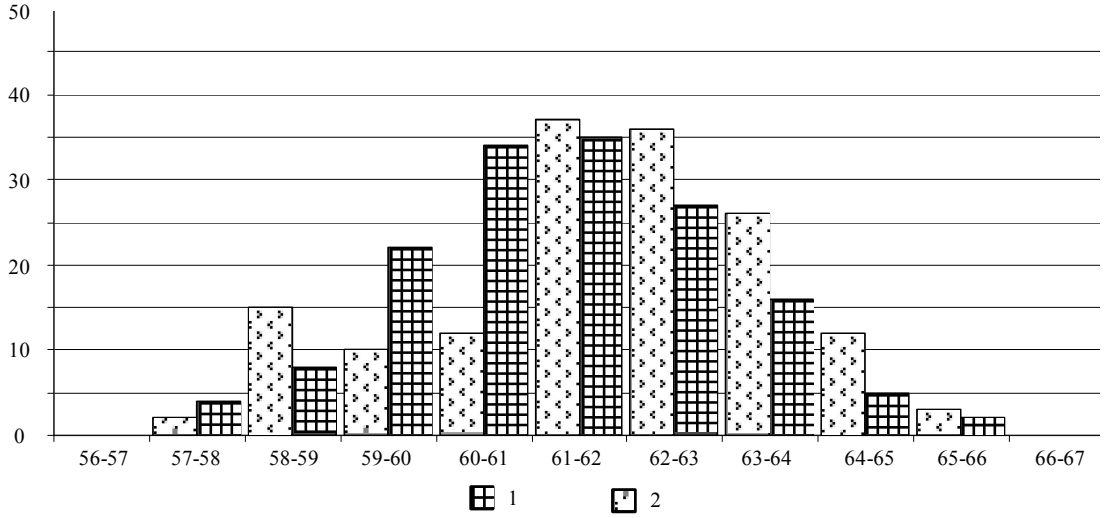



Рис.3. Распределение фактических (1) значений содержания меди в штейне и найденных методом Монте-Карло (2)

• с автоматизационной функцией (обеспечение заданных режимов процесса непрерывно, т.е. в каждый момент времени) ведения процесса технологический персонал справляется; с технологической функцией (выполнение плана как в течение одной смены, так и за любой более длительный промежуток времени) операторы справляются слабо.

Таким образом, разработанная модель позволяет провести исследования в области автоматизации управления материальными потоками, найти условия ведения процесса для получения штейна оптимального состава и создать систему управления производством, устраняющую выявленные недостатки.

Научный руководитель д-р т. н. проф. *Ю.В.Шариков*