

значит и исследуемой погрузочно-доставочной машины).

Используя численные значения параметров серийно выпускаемых погрузочно-доставочных машин можно дать их сравнительную количественную оценку. Если конструктивные размеры машины  $L$  и  $d$  не соответствуют вынимаемой мощности рудного тела  $m_r$ , то для осуществления беспрепятственного технологического маневрирования погрузочно-доставочной машины в блоке, необходимо увеличить мощность присекаемых пород. Это приводит к повышению степени разубоживания руды и требует технико-экономического обоснования целесообразности применения рекомендуемых средств доставки руды в пределах проектируемых блоков или изменения технологии ведения очистных работ.

УДК 519.24.242

Б.А. Блюсс, В.В. Смирнов

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Виконано взаємопов'язану класифікацію видів математичних моделей і типів планованого експерименту для дослідження технічних систем. Приведено структуру організації та здійснення етапів планованого експерименту щодо системного підходу. Іл. 2. Бібліогр.: 4 найм.

Научной основой для рационального исследования и эффективного управления техническими системами служит системный подход. Он представляет собой совокупность методологических принципов и положений, позволяющих рассматривать любую систему как единое целое с согласованием функционирования всех ее подсистем. Системный подход предполагает изучение каждого элемента системы в его связи и во взаимодействии с другими элементами, позволяет наблюдать изменения, происходящие в системе, выявлять специфические системные свойства, выдвигать обоснованные предположения относительно закономерностей развития системы и определять оптимальный режим ее функционирования. Основы системного подхода целесообразно

закладывать и применять уже на стадии организации эксперимента, планируя его как единую систему и стремясь для этого понять и оценить взаимодействие всех его составных частей.

Сопоставительный анализ различных типов экспериментов [1-4]. Позволяет выявить их существенные и общие признаки. В зависимости от поставленной задачи исследования технической системы различают интерполяционные и экстремальные эксперименты (рис. 1). Признаком последних является требование поиска экстремума функции отклика, описывающей качество функционирования системы. Цель интерполяционных экспериментов состоит в построении интерполяционной модели для предсказания значений изучаемого параметра, зависящего от ряда факторов. Несмотря на разные цели исследования для решения как интерполяционных, так и экстремальных задач необходимо иметь математическую модель объекта. И в том и в другом случае модель объекта исследования получают в результате статистической обработки экспериментальной информации, собранной на исследуемой технической системе. Статистические математические модели имеют относительно простую структуру и представляют собой уравнение регрессии, описывающее функцию отклика:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots \quad (1)$$

где  $y$  - выходная переменная (параметр оптимизации);  $x_i, x_j$  - входные переменные (факторы);  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  - коэффициенты регрессии;  $k$  - количество факторов.

В зависимости от степени полинома в формуле (1) различают два вида математических моделей: линейные и квадратичные (рис. 1). В рамках интерполяционной задачи оба вида моделей связаны идеей последовательного поиска адекватного математического описания. При этом, так как вид модели заранее неизвестен, первоначально оценивают возможность линейной аппроксимации функции отклика. И лишь затем, если линейная модель неадекватна, наращивают степень полинома, переходя к квадратичной форме. При решении экстремальных задач линейная модель используется на этапе движения в область экстремума.

Эта область обладает существенной нелинейностью, поэтому по ее достижении математическое описание выполняют уже в виде квадратичной модели.

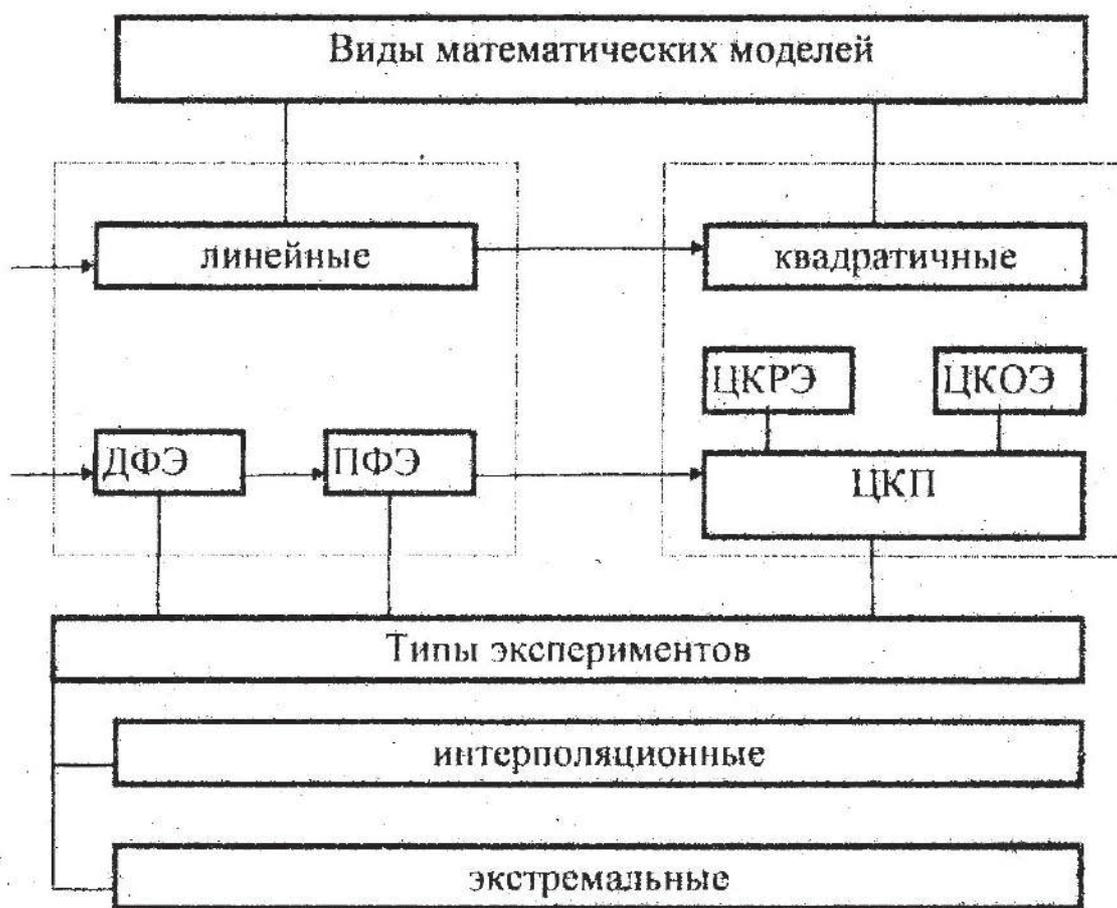


Рис. 1 Структура взаимосвязей видов моделей и типов экспериментов: → последовательность системного использования моделей и экспериментов

Для построения нелинейных математических моделей необходим и достаточен планированный эксперимент одного из двух видов: полный факторный (ПФЭ) или дробный факторный (ДФЭ) (рис. 1). При двухуровневой системе измерения факторов в ПФЭ реализуются все возможные сочетания уровней факторов, т.е.  $N = 2^k$  опытов. ДФЭ целесообразно применять, если число факторов велико ( $k \geq 7$ ), используя при этом часть плана ПФЭ. Эффективность ДФЭ существенно зависит от удачного выбора системы смешивания линейных эффектов с эффектами взаимодействия факторов, а также от умелой стратегии экспериментирования в случае значимости некоторых взаимодействий.

Для описания функции отклика квадратичной моделью независимые факторы должны принимать не менее трех разных значений. Трехуровневый план эксперимента, в котором реализуются все возможные комбинации из  $k$  факторов, требует слишком большого количества опытов  $N = 3^k$ , намного превышающего число определяемых коэффициентов  $l$  уже при  $k > 2$ . Чтобы сократить число опытов, можно использовать центрально-композиционные планы (ЦКП) (рис.1). Ядро таких планов составляют планы ПФЭ типа  $2^k$  при  $k < 5$  или планыДФЭ при  $k \geq 5$ . ЦКП получают, добавив к ядру  $2k$  звездных точек, расположенных на координатных осях факторного пространства, и увеличив число экспериментов в центре плана. В зависимости от принятого критерия оптимальности ЦКП различают эксперименты ротатабельные (ЦКРЭ) и ортогональные (ЦКОЭ).

Проведенный системный анализ показывает, что различные типы экспериментов связаны едиными этапами осуществления: планирование, проведение опытов и обработка результатов (рис. 2). Первый этап состоит из кодирования факторов, составления план-матрицы эксперимента и рандомизации опытов.

Опыты проводятся в соответствии с планом и в рандомизированной последовательности. Обработка результатов эксперимента включает ряд взаимосвязанных шагов, выполняемых в следующем обязательном порядке: определение воспроизводимости опытов, расчет коэффициентов регрессии, оценка их значимости и определения адекватности математической модели. Все эти этапы и шаги представляют собой самостоятельные функциональные единицы и одновременно являются составными частями единой системы организации и осуществления планированного эксперимента.

Ценность предложенного системного подхода к планированному эксперименту состоит в том, что он направлен на повышение эффективности экспериментов, на ускорение достижения их целей и улучшение организации. Он обеспечивает единые правила выбора количества и условий проведения опытов, построения алгоритмов оптимального управления экспериментами, изучения поведения отдельных

элементов и взаимодействия между ними как единой системы. С этих позиций необходимо рассматривать общие свойства экспериментов, проводить их классификацию и давать рекомендации по выбору эффективных приемов и методов, которыми может воспользоваться экспериментатор при выборе решений в ходе подготовки эксперимента, его проведения и обработки результатов при исследовании технических систем.

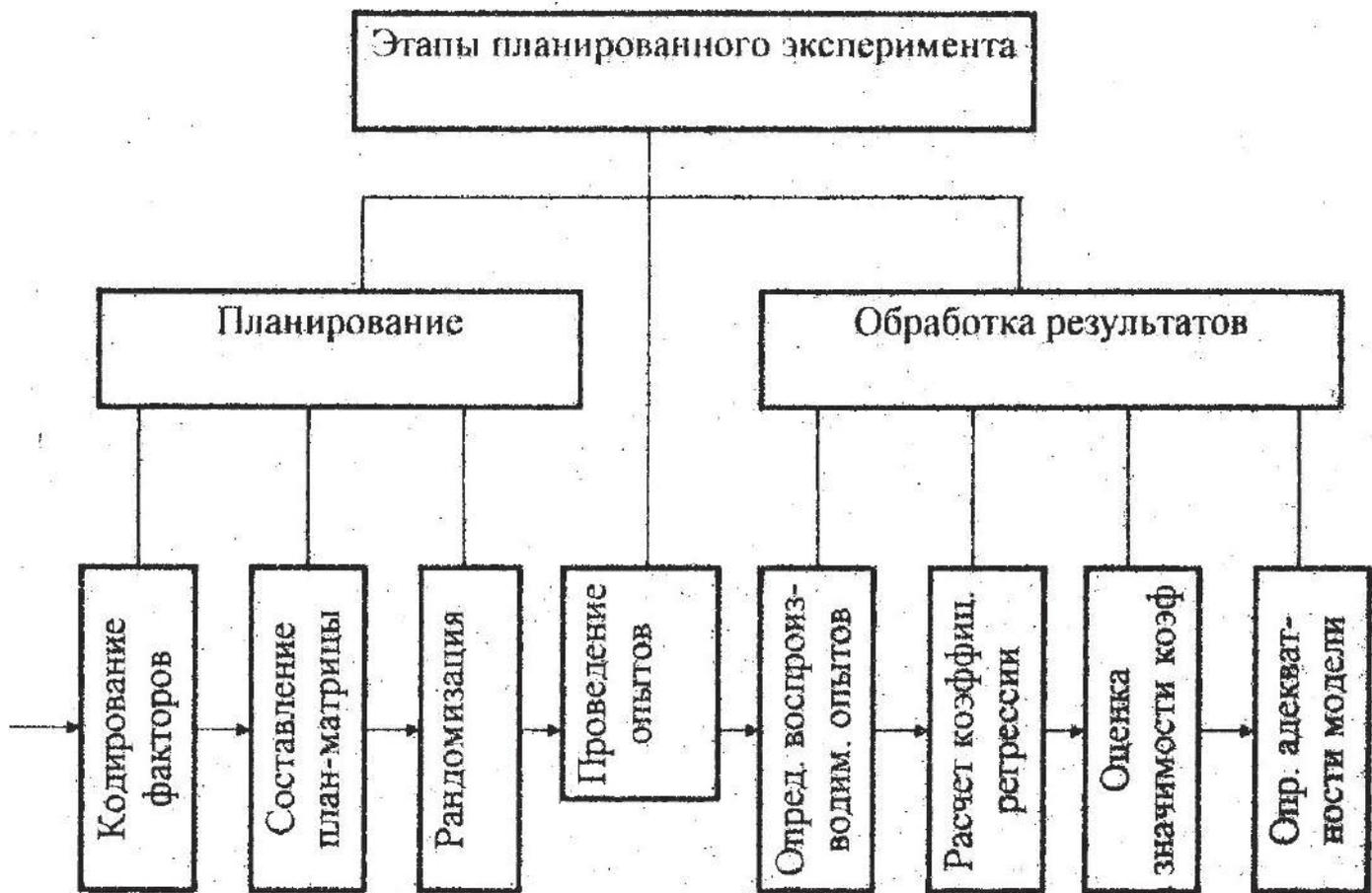


Рис. 2. Структурная схема системной организации и осуществления планированного эксперимента

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. - К.: Техника, 1975. - 168 с.

2. Налимов В.В., Чернова П.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. - М.: Наука, 1965. - 430 с.

3. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных. - М.: Мир, 1981. - 520 с.

4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 279 с.

УДК 681.518.54.002.5

В.В. Смирнов

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРИВОДА ГОРНЫХ МАШИН

Перелічено у хронологічній послідовності етапи формування і проблеми підвищення надійності гірничих машин. Класифіковано за групами задачі технічної діагностики. Запропоновано математичну модель крутильних і лінійних коливань у зубчатій передачі приводу. Дано опис системи технічної діагностики приводу гірничих машин. Іл. 2. Бібліогр.: 5 найм.

### Этапы формирования и проблемы повышения надежности горных машин

Надежность горных машин, в частности их привода, с хронологической точки зрения формируется на нескольких этапах: закладывается при проектировании, реализуется качественным изготовлением и монтажом, сохраняется и поддерживается в эксплуатационный период. Основные проблемы на первом этапе сводятся к сложности учета динамического характера нагрузок, распределяемых между проектируемыми элементами горных машин. При этом активным и решающим фактором является принятие мер по снижению виброактивности путем гашения вынужденных колебаний и подавления источников их возбуждения. Высокий уровень машиностроения, а также применение систем технологического и приемочного контроля обеспечивают надежность машин на этапе изготовления. Основные проблемы качества монтажа связаны с его недостаточным в настоящее время техническим и методологическим