

ента трения C_f (8), который изменяется по длине канала, целесообразно использовать его осредненное значение C_f по всей длине канала L . Осредненное значение можно рассчитать по одной из известных формул:

$$C_f = 0,074(Re_L)^{-1/5}, \quad (9)$$

$$C_f = \frac{0,455}{(\lg Re_L)^{2,58}} = \frac{3,9132}{(\ln Re_L)^{2,58}}, \quad 5 \cdot 10^5 < Re_L < 10^7, \quad (10)$$

где L - длина канала; $Re_L = VL/\nu$.

Таким образом, полученные соотношения позволяют оценить гидродинамические параметры течения вдоль перфорированной поверхности, с целью определения нагрузочных характеристик технологических аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика.-Ленинград: Энергоиздат, 1982.-672с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя.-М.: Недра, 1974.-711с.

УДК 519.24.242

В.И. Воробьев, В.В. Смирнов

СХЕМА ИЕРАРХИИ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРТОГОНАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

З позиції низхідного проектування складена схема ієрархії та описана модульна послідовність обробки результатів ортогонального планування експерименту для дослідження складних систем. Комплект програмного забезпечення, який розроблено, побудован як складова частина системи автоматизації наукових досліджень.

В тех случаях, когда информации о рассматриваемой системе недостаточно или система настолько сложна, что невозможно составить ее детерминированную модель, прибегают к экспериментально-статистическим методам. Среди них для решения многофакторных задач наиболее эффективен планированный эксперимент. Он позволяет минимизировать число опытов, одновременно варьировать все исследуемые факторы и получать количественные оценки со значительно меньшей ошибкой, чем та, которая характерна для традиционных методов регрессионного и корреляционного анализа. Различают ротатабельный и ортогональный планированные эксперименты [1]. Преимущество последнего состоит в том, что он требует меньшего количества опытов и объема вычислений. Представляет практический интерес разработка схемы иєрархії и програмного забезпечення для обробки результатів ортогонального планування експеримента.

Для решения поставленной задачи применен один из методов структурного программирования - нисходящее проектирование [2]. Оно основано на идее уровней абстракции, которые становятся уровнями соответствующих модулей

в создаваемом программном обеспечении. На рис. 1 представлена схема иерархии обработки результатов ортогонального планированного эксперимента. Она описывает его составные части - модули и функции каждого из них. Разработанная схема иерархии отвечает двум основным требованиям нисходящего проектирования. Во-первых, вертикальному управлению, так как передача управления происходит лишь по вертикальным линиям, соединяющим модули в схеме иерархии. Это означает, что любой модуль активизируется вышестоящим и, закончив свою работу, возвращает управление вызывавшему его модулю. Во-вторых, схема иерархии отвечает требованию минимальной взаимозависимости модулей. Она достигается минимизацией количества передаваемых между модулями аргументов. Для этого из функциональных модулей исключены рассредоточенные и составные функции. В итоге предложенная модульная структура обладает тем преимуществом, что результаты работы отдельного модуля становятся предсказуемыми и тем самым упрощается тестирование каждого модуля на этапах сквозного структурного контроля.

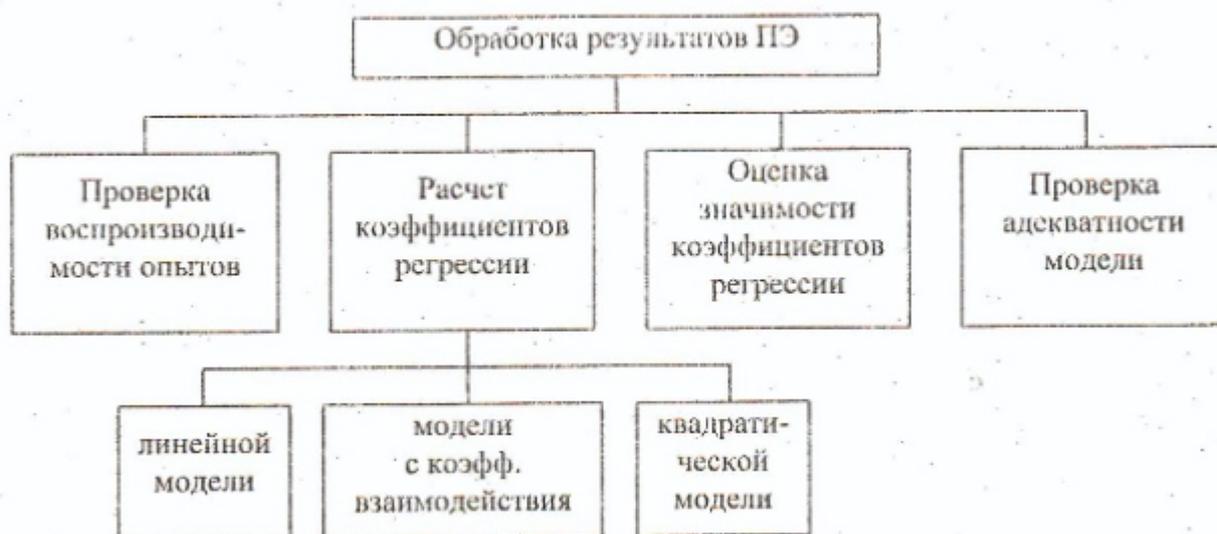


Рис.1 - Схема иерархии обработки результатов планированного эксперимента

В соответствии с предложенной схемой иерархии разработано программное обеспечение для обработки результатов ортогонального планированного эксперимента. Оно построено по модульному принципу и состоит из четырех основных модулей. Модули функционально соответствуют блокам схемы иерархии на рис. 1. Функциональная схема программного обеспечения представлена на рис. 2. Она показывает потоки информации и организацию взаимодействия составляющих ее модулей.

Модуль "Проверка воспроизводимости опытов" реализует алгоритм Кохрена [1,3] для равномерного дублирования опытов. Проверка включает следующие этапы.

1. Расчет среднего значения результатов наблюдений

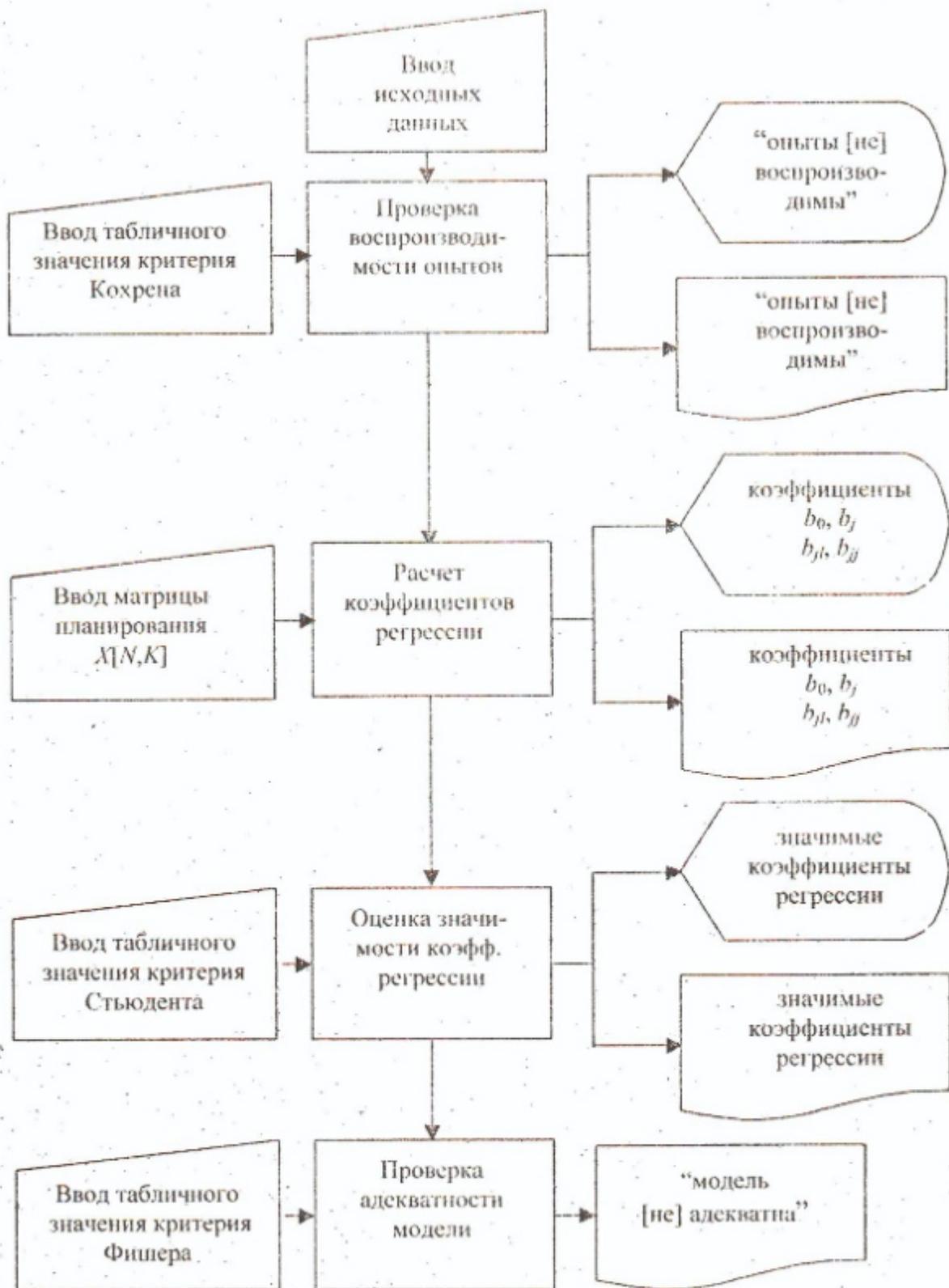


Рис. 2 - Функциональная схема программного обеспечения обработки результатов планированного эксперимента

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_{ij}; \quad i=1,2,\dots,N, \quad (1)$$

где m - количество параллельных опытов; N - объем выборки; y_{ij} - значение параметра оптимизации.

2. Вычисление выборочной дисперсии для i -го опыта

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2; \quad i=1,2,\dots,N. \quad (2)$$

3. Определение расчетного значения критерия Кохрена

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (3)$$

где S_{\max}^2 - максимальное значение выборочной дисперсии.

4. Сравнение расчетного G_p и табличного $G_{\text{табл}}(q, f_1, f_2)$ значений критерия Кохрена для принятого уровня значимости (обычно $q=0,05$) и числа степеней свободы $f_1=m-1$ и $f_2=N$ [4].

Опыты воспроизводимы, если $G_p \leq G_{\text{табл}}(q, f_1, f_2)$. В противном случае собранный эмпирический материал использовать не рекомендуется и процесс обработки на этом прекращается.

Модуль "Расчет коэффициентов регрессии" состоит из трех последовательно выполняемых частей. Они служат для математического описания функции отклика исследуемой системы следующими в порядке усложнения моделями:

линейной

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j, \quad (4)$$

с коэффициентами взаимодействия

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{j \neq l} b_{jl} x_j x_l \quad (5)$$

и квадратической

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{j \neq l} b_{jl} x_j x_l + \sum_{j=1}^k b_{jj} x_j^2, \quad (6)$$

где b_0, b_j, b_{jl}, b_{jj} - коэффициенты регрессии; x_j, x_l - входные переменные (факторы); k - количество факторов.

Свободный член в функции отклика определяют по формуле

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i. \quad (7)$$

Коэффициенты регрессии рассчитывают по формулам для линейных эффектов

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij} \bar{y}_i, \quad (8)$$

для эффектов взаимодействия

$$b_{jl} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij} x_{il} \bar{y}_i, \quad (9)$$

для квадратических эффектов

$$b_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^N x'_{ij} \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^N x_{ij}^2}, \quad j=1,2,\dots,k, \quad (10)$$

где $x'_{ij} = x_{ij}^2 - \bar{x}_{ij}^2 = x_{ij}^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij}^2$; j, l - номера факторов; x_{ij}, x_{il} - кодированные значения фактора в матрице планирования.

Модуль "Оценка значимости коэффициентов регрессии" реализует алгоритм критерия Стьюдента [1,3]. Алгоритм включает следующие операции.

1. Расчет дисперсии воспроизводимости

$$S_{\text{вос}}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2. \quad (11)$$

2. Вычисление дисперсии ошибки определения коэффициентов регрессии

$$S_{b_j}^2 = \frac{S_{\text{вос}}^2}{\sum_{i=1}^N x_{ij}^2}. \quad (12)$$

3. Определение расчетного значения критерия Стьюдента для i -го коэффициента регрессии

$$t_i = \frac{|b_i|}{S_{b_i}} \quad (13)$$

4. Сравнение расчетного t_i и табличного $t_{\text{табл}}(q, f_3)$ значений критерия Стьюдента для принятого уровня значимости $q=0,05$ и числа степеней свободы $f_3=N(m-1)$ [4].

Коэффициент регрессии значим, если $t_i > t_{\text{табл}}(q, f_3)$. В противном случае коэффициент b_i считается статистически незначимым и приравнивается нулю.

Модуль "Проверка адекватности модели" реализует алгоритм критерия Фишера [1,3]. Проверка включает следующие этапы.

1. Расчет дисперсии адекватности

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_{i\text{рас}})^2, \quad (14)$$

где l - число независимых коэффициентов регрессии; $y_{i\text{рас}}$ - расчетное значение функции отклика.

2. Определение расчетного значения критерия Фишера

$$F_p = S_{\text{ад}}^2 / S_{\text{вос}}^2 \quad (15)$$

3. Сравнения расчетного F_p и табличного $F_{\text{табл}}(q, f_4, f_5)$ значений критерия Фишера для принятого уровня значимости $q=0,05$ и числа степеней свободы $f_4=N-l$ и $f_5=N(m-1)$ [4].

Если $F_p \leq F_{\text{табл}}(q, f_4, f_5)$, то математическое описание функции отклика считается адекватным. В случае неадекватности линейной модели (4) необходимо последовательно переходить к расчету коэффициентов моделей, соответствующих уравнениям (5) и (6).

Программное обеспечение реализовано на IBM-совместимой ПЭВМ в инструментальной среде системы программирования Turbo-Basic. Оно представляет собой комплект из трех независимых программ для математического описания функции отклика исследуемой системы тремя видами моделей: линейной, с эффектом взаимодействия и квадратической. Процесс работы с программными компонентами организован в интерактивном режиме. Время обработки результатов планированного эксперимента определяется в основном продолжительностью операций ручного ввода. Время этих операций в свою очередь существенно зависит от размерности решаемой задачи. При подключении к ПЭВМ дополнительных средств автоматического измерения и отображения информации можно значительно сократить продолжительность ручных операций и реализовать "машинный эксперимент". Разработанное программное обеспечение

для обработки результатов ортогонального планированного эксперимента является ингредиентом системы автоматизации научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов.-М.: Наука, 1965.-398с.
2. Хьюз Дж., Мичтом Дж. Структурный подход к программированию.-М.: Мир, 1980.-278с.
3. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов.-М.: Машиностроение, 1981.-184с.
4. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений.-М.: Наука, 1969.-511с.

УДК 622.7.006.3:621.311.42

С.В. Дзюба, В.В. Смирнов

ВЫБОР ВАРИАНТА И РАСЧЕТ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГЛЕБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Обґрунтован вибір варіанту компенсації реактивної потужності. Подана методика розрахунку потужності компенсуючих устаткування для вуглебагачувальних підприємств.

Компенсация реактивной мощности позволяет эффективно повысить технико-экономические показатели системы электроснабжения промышленных предприятий и снизить потери электроэнергии. Основными потребителями реактивной мощности на углеобогажительных предприятиях являются асинхронные двигатели и трансформаторы. Для углеобогажительных предприятий целесообразно выбрать третий вариант компенсации реактивной мощности [1].

Проектирование начинают с определения наибольших суммарных расчетных активных и реактивных электрических нагрузок предприятия P_{\max} и Q_{\max} при естественном коэффициенте мощности. Наибольшую суммарную реактивную нагрузку предприятия, используемую для нахождения мощности источников реактивной мощности (ИРМ), определяют из соотношения

$$Q_{\max 1} = k_{n1} Q_{\max}, \quad (1)$$

где k_{n1} - коэффициент несовпадения по времени наибольшей активной нагрузки энергосистемы и наибольшей реактивной мощности промышленного предприятия.

Реактивную нагрузку предприятия в часы минимума активной нагрузки энергосистемы определяют по формуле

$$Q_{\min} = k_{n2} Q_{\max}, \quad (2)$$

где k_{n2} - коэффициент минимума, учитывающий отношение минимальной