

Научно-производственная корпорация  
" Киевский институт автоматики "

на правах рукописи

Прошвной Вячеслав Анатольевич

Применение математических моделей в расчетных  
задачах системы автоматизации компрессорного цеха

05.13.07 - Автоматизация технологических процессов и производств

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев 1993

Работа выполнена в НПК "Киевском институте автоматики"

Научный руководитель - Заслуженный деятель науки и  
техники Украины

доктор технических наук,  
профессор И. Н. Воганко.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Савченко Ю. Г.  
кандидат технических наук  
С. Н. С. Питомец Г. И.

Ведущая организация - Всеукраинский научный и проектный  
институт по транспорту природного  
газа

Защита состоится "19" января 1994 г. в \_\_\_\_ час.  
на заседании специализированного совета К 109.02.01 по присуж-  
дению ученой степени кандидата технических наук в НПК "Киевский  
институт автоматики".

Адрес института: 252155, Киев-155, ул. Нагорная, 22.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПК  
"Киевский институт автоматики".

Автореферат разослан "8" декабря 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук

*Л. Турець*

А. Н. Волинский

ЛНБ М. В. Стефанюка  
АН Укр

ЛНБ України ім. В. Стефанюка



00802976 (W)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность проблемы.

Для систем, транспортирующих газ из районов добычи в центральные районы и за рубеж, характерна высокая степень концентрации производственных мощностей в виде многоконтинентных технологических коридоров. Формирование этих систем потребовало соединения и внедрения труб больших диаметров и газоперекачивающих агрегатов (ГПА) повышенной единичной мощности (до 25 МВт). Дальнейшее развитие магистрального транспорта газа будет продолжаться за счет освоения ресурсов новых месторождений, пера-оснащения и реконструкции действующих газопроводов и компрессорных станций, что соответственно определяет дальнейший рост объемов транспорта природного газа.

Основной частью магистрального газопровода является компрессорный цех, выполняющий работу по компримированию природного газа. Автоматика, управляющая работой технологического оборудования компрессорного цеха и в частности ГПА проектировалась и разрабатывалась десятилетие назад, на старой элементной базе и не отвечает вопросам сегодняшнего дня. Системы автоматизации, разработанные 5-7 лет назад, применяемые к уже действующему компрессорному цеху малоэффективны из-за их слабых вычислительных ресурсов и возникающих зависимостей от реконструкции компрессорных цехов.

В настоящий момент назрела острая необходимость в разработке современной системы автоматизации компрессорного цеха на базе современных вычислительных средств, которая должна обеспечить экономию топливного газа, оптимизацию работы ГПА компрессорного цеха, качественно новый уровень работы оперативного персонала цеха.

Важная задача, которая возлагается на систему автоматизации - диагностирование основного технологического оборудования компрессорного цеха.

Вычислительная мощность и развитый математический аппарат такой системы должны компенсировать возникающие проблемы, связанные с погрешностями первичных средств измерений и условий информационной недостаточности.

Система построенная на новых технических средствах будет способна на основе текущих данных телеизмерений воспроиз-

водить реляционную модель работающего ГПА. Осуществление этой задачи подымит на качественно новый уровень технологию работы компрессорного цеха.

Применение математических моделей в расчетных задачах — это первый шаг в использовании развитого математического аппарата в условиях действующего компрессорного цеха. Задача интересная и актуальная.

Целью диссертационной работы является разработка математического аппарата и программного обеспечения по реализации математических моделей в расчетных задачах системы автоматизации компрессорного цеха. При работе, некоторые концепции и практически полученные результаты могут быть применены и за рамками модулей расчетных задач, что также нашло отражение в материалах работы.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели использовались некоторые направления: теории вероятностей (статистический анализ) и теории графов. Численные методы: дифференцирования функций, решения систем линейных уравнений, экстраполяции и интерполяции функций, нахождения экстремумов, решения нелинейных уравнений и др. Математический анализ функций многих переменных.

Научная новизна. Разработаны принципиально новые методики повышения надежности результатов работы модулей расчетных задач системы автоматизации компрессорного цеха, за счет анализа данных телеизмерений, поступающих на входы модулей. Создан математический аппарат и написан универсальный программный модуль, осуществляющий определение аналитических зависимостей параметров технологического процесса друг от друга в реальном масштабе времени. Проведен анализ о децентрализации больших задач моделирования. Разработан математический аппарат по генерации трехмерной модели ГПА на основе получаемых реальных данных телеизмерений, методики использования.

Практическая ценность. Большинство материала диссертационной работы апробировано в качестве программных продуктов на персональной ЭВМ, и может с успехом эксплуатироваться в системе автоматизации компрессорного цеха, использующей операционную систему MSDOS. При отладке программ, изложенные методики уточнены и доведены до уровня практической реализации.

Некоторые практические результаты от внедрения:

1. Определение параметров ГПА: приведенная относительная внутренняя мощность и политропический КПД, которые не могут быть непосредственно определены из данных телеизмерений;

2. Возможность анализа работы модели (функции диагностики) от разных независимых источников информации: реальных показаний датчиков, статистических данных ВНИИГАЗ (испытаний ГПА на стенде), данных телеизмерений - ретро.

3. Возможность выполнять фотографию зависимости параметров ГПА друг от друга и от времени (очень важно в периоды пуска и останова ГПА);

4. Увеличение надежности работы модулей расчетных задач;

5. Многовариантный расчет наименьшего параметра ГПА: приведенная объемная производительность;

#### Автор задает

требования и критерии предъявляемые к современной системе автоматизации компрессорного цеха;

методы децентрализации классов больших задач моделирования техпроцесса системы автоматизации компрессорного цеха;

метод обеспечения надежности результатов работы модулей расчетных задач системы автоматизации компрессорного цеха;

математический аппарат разработки программного модуля, определяющий в аналитическом виде двумерные зависимости технологических параметров;

математический аппарат генерации трехмерной модели ГПА;

методику выполнения расчетных задач по ГПА с применением сгенерированной модели ГПА.

Реализация результатов. Результаты диссертационной работы использованы в разработке системы "Инфо ГПА" Кизевского института автоматики, выполняемой лабораторией "Микропроцессорных систем", руководитель Коденский Г.С. Практические результаты эксплуатируются в виде автономных программ для персонального компьютера в производственных подразделениях ГП "Тюментрансгаз".

Публикации. Основные результаты диссертационных исследований отражены в 3 опубликованных работах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, четырех приложений и перечня используемой литературы. Общий объем диссертационной работы 136 с., из них 92 с. текста. Работа иллюстрирована с по-

новые графики "Windows" 16 рисунками и 8 таблицами.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан краткий анализ перспектив развития информационных технологий, развития средств автоматизации в ГП "Тюментрансгаз". Обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи работы, отражены основные положения, имеющие научную новизну и практическую ценность.

В первой главе дан анализ ряда основных критериев и подходов к разработке современной системы автоматизации компрессорного цеха. Освещены проблемы реконструкции компрессорных цехов с целью автоматизации технологии. Освещена идея метода абстрагирования при организации идентичных расчетных задач. В материалах главы изложены основные критерии организации процесса обмена информацией между системой автоматизации и персоналом компрессорного цеха. Определена оптимальная форма информационной емкости предоставляемой системой информации оперативному персоналу.

Проведен анализ возможности перехода на качественно новый уровень выполнения расчетных задач. Обосновывается методика по применению в системе автоматизации считывания и представления информации аналоговых датчиков относительно опорного, интегральное показание которого определяется косвенным достаточно точным методом.

Обоснованы основные критерии и требования к функциональному содержанию среды управления программным обеспечением системы автоматизации. Это наличие унифицированного языка управления средой, обеспечивающего решение вопросов: настройка системы автоматизации по данной технологической схеме цеха (или цехам), управление задачами непосредственно, внесение изменений в уставки и константы блоков расчетных задач, перераспределение периодичностей процессов (изменение графиков вывода информации и формы на печать) и др.

Сформулированы требования к программному обеспечению системы автоматизации в части построения и доступности.

Во второй главе приводится методика распараллеливания больших алгоритмов математических моделей техпроцесса. Сложную

задачу моделирования техпроцесса используя развитый аппарат математического программирования решить без специальных методов децентрализации весьма трудно. В ближайшее время за счет появления мультипроцессорных систем и развития среды программирования, поддерживающей многозадачный режим и распараллеленные алгоритмы в реальном масштабе времени, решение задачи децентрализации сложного алгоритма на множество отдельных подсистем с учетом перспективы является насущной задачей. Одна из интересных задач системы автоматизации компрессорного цеха, это создание модели ГПА  $n$ -мерного пространства по реальным показаниям датчиков (температур и давлений газа на входе-выходе компрессора ГПА, оборотов турбины, температуры окружающей среды, количество потребляемого топливного газа, объемной производительности и др.). Решение этой задачи позволило бы распартиционировать все ГПА компрессорного цеха и решить задачу планирования работы цеха в целом. Математическая модель техпроцесса, используя современную теорию графов, должна быть формализована и представлена в виде граф-модели. Вершинами графов могут быть модули программ (в случае построения модели  $n$ -мерного пространства, модули решения целевых функций от данного аргумента или оптимизационные модули), ребра несут информацию взаимодействия аргументов или результатов выполнения программных модулей соответствующих вершин. Далее, с помощью разработанного аппарата осуществляется задача декомпозиции граф-модели на подмножество соответствующего  $n$  количества подсистем. После децентрализации, подсистемы распределяются в среде для параллельного счета программно-аппаратного средства вычислительной системы.

Моделью рассматриваемых объектов является неориентированный граф  $G(V, E)$ , где  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  - множество вершин графа соответствует объектам системы. Связи между объектами системы задаются с помощью ребер графа  $e_1, e_2, \dots, e_m$ . Ребра графа могут быть приписаны как одинаковым, так и различным весам  $d_{ij} \geq 0$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j$ ). Задача декомпозиции граф-модели на  $r$  минимально связанных частей имеет следующий вид. Множество вершин  $V$  графа  $G$  должно быть представлено в виде объединения таких непересекающихся подмножеств  $V_1, V_2, \dots, V_r$  что функционал

$$F(d_{ij}) = \sum_{i \in V_k} \sum_{j \in V_l} d_{ij} \Rightarrow \min \quad (k, l = 1, 2, \dots, r)$$

достигает минимального значения при ограничениях на размеры

подмножеств. В работе рассмотрены задачи декомпозиции системы на общее количество подсистем  $r=2$ ,  $r=3$ ,  $r>3$ , при ограничениях на размеры подмножеств.

Третья глава посвящена вопросу повышения надежности достоверности результатов расчетных задач [1]. Разработанная методика и математический аппарат материала базируется на теории вероятностей и аппарата математической статистики. Была поставлена следующая задача: перед началом работы модулей расчетных задач системы автоматизации компрессорного цеха выполнить анализ текущих данных телеизмерений, поступающих на вход модулей, на предмет соответствия реальному состоянию технологии на данный момент. В процессе работы задача органично разложилась на два независимых направления:

1. являются ли данные канала измерения системы автоматизации результатом измерения физической величины;
2. определение вероятности соответствия данных канала измерения реальному состоянию технологической системы.

По 1. разработана методика определения характеристик результата измерения непрерывной физической величины.

Зная время цикла опроса контроллера АЦП устанавливается таймер на величину  $\Delta t \geq 3\sigma_{\text{АЦП}}$ . Производится выборка дискретной случайной величины  $X_i(T+\Delta t)$ . В зависимости от масштаба и желаемой точности результатов проводимого анализа, выбирается количество генеральной выборки  $N$  и уровень дискретизации  $j_{\text{max}}$ . Определяется шаг  $\Delta X$  дискретизации упорядоченного дискретного множества  $\{X_{\text{min}}, \dots, X_{\text{max}}\}$ .

$$\Delta X = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{j_{\text{max}}}$$

Определяются количества результатов измерений попавших в каждый из дискретных интервалов  $\Delta X_j$ .

$$n_j \Rightarrow \{X_i \in \Delta X_j\} \quad (j=1, \dots, j_{\text{max}});$$

Вероятности события для каждого  $j$  определяются  $P_j = n_j/N$ . Находится математическое ожидание  $M(X_i) = \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} P_j \Sigma X_j$

Определяется стандарт случайной величины или дисперсия:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - M(X_i))^2$$

Распределение плотности вероятности известно по  $\{P_j\}$  ( $j=1, \dots, j_{\text{max}}$ ).

Идентифицируется полученный экспериментально закон распределения плотности вероятности с известными законами распределения

нормальным (Лапласа-Гаусса)  $P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x}{\sigma})^2]$ ;

равномерным законом  $P(x) = \text{const}$ ;

Лапласа  $P(x) = \frac{1}{2} e^{-|x|}$

Полученные результаты анализа приводятся к необходимому виду и сравниваются с данными метрологической службы, предварительно занесенными в систему в виде граничных условий для данного канала измерений.

Принципы изложенной методики позволят исчерпывающе определить работоспособность первичного датчика телеизмерения; исправность линии; работоспособность контроллера ЯЦП.

По 2. в общем виде задача формулируется: пусть  $Z$ , измеренный параметр, является функцией многих переменных от наиболее влияющих на нее параметров  $x, y, w$ ,  $Z(x, y, w)$ . Необходимо определить вероятностные характеристики соответствия значения параметра  $Z$  обобщенному состоянию параметров  $x, y, w$ .

В работе приводится методика основанная на накоплении статистических данных эталонной эксплуатации системы (например после текущей аттестации СИ) с дальнейшей систематизацией данных и определений математических ожиданий параметров в отношении опорных параметров. Так в выше приведенных терминах, для параметра  $Z$ , определяются все  $M(z)_i = M_z(\delta x_i, \delta y_i, \delta w_i)$  где  $\delta x_i, \delta y_i, \delta w_i$  дискретные диапазоны изменения опорных параметров.

При выполнении анализа достоверности значения параметра  $Z$  по значениям параметров  $x, y, w$  определяется одно из подмножеств удовлетворяющих условию  $\{\delta x_i, \delta y_i, \delta w_i\} \in \{(x, y, w)\}$ , которому соответствует  $M(z)_i$ . Далее анализируется выполнение неравенства  $|Z - M(z)_i| < \xi$  где  $\xi$  - погрешность доверительного интервала.

При не выполнении неравенства, значение измеренной величины  $Z$  не соответствует состоянию технологической системы, что означает наличие неисправности в каналах измерения системы автоматизации.

Глава 4. Была поставлена практическая задача разработать программный модуль для системы автоматизации компрессорного цеха, осуществляющий определение аналитической двумерной зависимости результатов измерения параметров друг от друга (или функций параметра от времени). Классически задача называется определением функции регрессии статистического наблюдения. Были исследованы методы рассматриваемые в ЦЗС. Важность этой задачи заключается в универсальности использования модуля, перечислим

некоторые из возможных его применений:

1. Фотографирование зависимостей параметров в необходимые периоды (момент пуска, останова агрегата и др.).

2. Проведение анализа однотипных зависимостей интересующих параметров за контролируемый промежуток времени.

3. Хранение данных статистических измерений в компактной форме.

4. Использование для разработки сложных математических моделей техпроцесса  $n$ -мерного пространства.

5. Исследование реальных технических характеристик ГПА.

На рисунке ниже по п.1. дана иллюстрация, где запечатлены зависимости в период пуска ГПА:

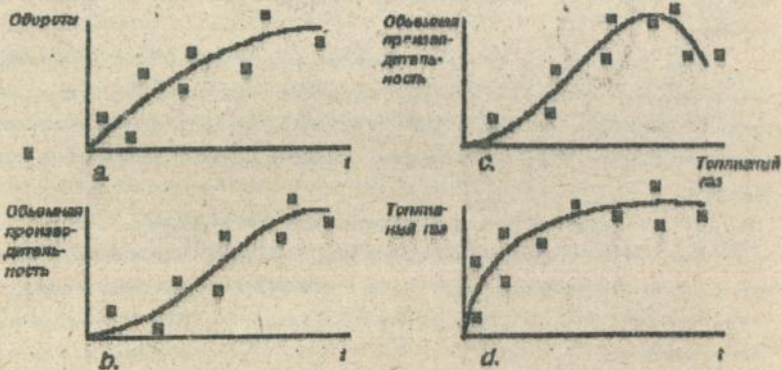
а. Обороты турбины от времени;

б. Объемная производительность нагнетателя от времени;

с. Объемная производительность нагнетателя от топливного газа;

д. Потребляемый ГПА топливный газ от времени.

Графики зависимостей параметров ГПА с начала пуска



Перед разработкой модуля были определены основные критерии, которым он должен отвечать. Минимально возможное время проведения расчетов, при выбранной функции регрессии в виде полинома степени 12. Количество данных поступающих на вход модуля ограничено размерностью двумерного массива и равно 100, но этот параметр не является ограничительным, может быть свободно расширен. При увеличении количества входных данных точность работы модуля увеличивается при незначительной потере

времени.

Поставленная задача была решена аналитически решением систем линейных уравнений в частных производных. Пусть функция регрессии есть полином 12 степени:

$$A_1 x^{12} + A_2 x^4 + \dots + A_n x + A_{12} = y;$$

тогда в общем виде  $y = F(x, A_1, A_2, \dots, A_{12})$ ;

коэффициенты  $A_1, A_2, \dots, A_{12}$  должны удовлетворять условию

$$\sum_{i=1}^n F_i - y_i = \min;$$

где  $y_i$  результат измерения параметра от аргумента  $x_i$ ; Введем

вспомогательную функцию многих переменных  $\varphi = (A_1, A_2, \dots, A_{12})$ ;

которая является целевой функцией

$$\varphi = \sum_{i=1}^n F_i - y_i;$$

из условий экстремума  $\varphi$  минимальна при

$$\frac{\partial \varphi}{\partial A_1} = 0; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial A_2} = 0; \quad \dots; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial A_{12}} = 0;$$

выполним подстановку

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n (F(x_i, A_1, A_2, \dots, A_{12}) - y_i) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial A_1} = 0; \\ \sum_{i=1}^n (F(x_i, A_1, A_2, \dots, A_{12}) - y_i) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial A_2} = 0; \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n (F(x_i, A_1, A_2, \dots, A_{12}) - y_i) \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial A_{12}} = 0 \end{array} \right.$$

опуская дальнейшее решение, получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_1 \sum x_i^{24} + A_2 \sum x_i^{23} + \dots + A_n \sum x_i^{12} - \sum y_i x_i^{12} = 0; \\ A_1 \sum x_i^{23} + A_2 \sum x_i^{22} + \dots + A_n \sum x_i^{11} - \sum y_i x_i^{11} = 0; \\ \dots \\ A_1 \sum x_i^{12} + A_2 \sum x_i^{11} + \dots + A_n - \sum y_i = 0 \end{array} \right.$$

Программировать полученное решение невозможно из-за возникших погрешностей при решении систем, которые обусловлены различием порядков коэффициентов. Кроме того задача объема, при увеличении количества результатов измерений  $y_i(x_i)$  применять приведенный алгоритм в системах реального времени нереально.

Метод положенный в основу разработки модуля базируется на следующем предположении: полином степени  $n$  является функцией регрессии совокупности результатов измерений, если его кривая проходит через  $n$  точек которые являются точками расстояние от

которых до точек результатов измерений минимально в окрестности  $n$  дискретного участка. Где каждый дискретный участок  $n$  является подмножеством участка предыдущего  $n-1$  и последующего  $n+1$ .

На каждом  $n$  участке определяются значения  $x, y$  отвечающие условию  $\sum ((x_i - x)^2 + (y_i - y)^2) = \min$

где  $x_i, y_i$  - пары результатов измерений двух параметров, что

$$x_i \in \{x_n, x_{n+1}\}$$

так как функция  $F(x, y) = \sum (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2$  каждого дискретного участка является функцией двух переменных, монотонна, в границах участка имеет один экстремум, то из условий экстремума:  $F(x, y) \cdot \frac{\partial F}{\partial x} = 0; F(x, y) \cdot \frac{\partial F}{\partial y} = 0;$

Задача решается численными методами. Алгоритм приближения по переменным одинаков, но распараллелен. На каждом шаге итерации определяются  $dx, dy$  в зависимости от выполнения условий

$$dx > 0, dy > 0, |dx| > |dy|, dx > const_1, dy > const_2$$

выбирается дальнейшее решение по настройке очередного цикла итерации или выхода по достижению поставленной точности определения  $x, y$ .

После нахождения оптимальных точек  $A_1(x_1, y_1), A_2(x_2, y_2)$

...  $A_n(x_n, y_n)$  решается система линейных уравнений, определяются коэффициенты полинома.

При решении системы так же возникла проблема, обусловленная возникающими погрешностями, при операции с большими и малыми числами. Компиляторы языков программирования высокого уровня позволяют оперировать с фиксированной длиной машинного слова, представляющих десятичные числа с плавающей запятой (в компиляторе C++ "long float" состоит из 64 байт). Поэтому для решения задачи были найдены эффективные методы снижающие влияние погрешностей при оперировании с большими и малыми числами. В частности был изменен метод Гаусса для решения системы линейных уравнений. Перед каждым циклом исключения будущего уравнения, оптимально выбирается самое будущее уравнение. Критерий определения:

$$\Phi_n(x_k^{(k)}) = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k}^n \Phi_n x_i^{(k)} = \min \quad (k - \text{текущий цикл}, t - \text{порядковый номер УР.})$$

При анализе точностных характеристик разработанного метода использовался метод наименьших квадратов, была разработана инструментальная программа определяющая значения целевой функции при множестве малых отклонениях всех коэффициентов полинома. Результат проверки положительен. Временные характеристики

работы программы: при объеме результатов измерений на входе 100 пар параметров, время обработки на персональном компьютере 286/287/16 МГц не превышает 0,5 сек.

Глава 5 посвящена анализу и методам решения расчетных задач с помощью математических моделей. Вопросы выполнения расчетных задач по ГПА рассматриваются [2]. В работе приведено решение задачи создания модели работы ГПА по основным его характеристикам: объем транспортируемого газа, оборотам турбины и степени сжатия. Эти три основных параметра взаимосвязаны друг от друга и большого количества других параметров (температур газа, технологического режима цеха, давлений и др.). Автор приводит один из методов автоматизированного получения модели ГПА от различных источников информации. Задача эксплуатируется в режиме реального времени на работающей системе автоматизации компрессорного цеха. Первый источник информации, — это статистические материалы ВНИИГАЗа, получаемые при stand-off испытаниях ГПА на заводе изготовителя. Второй источник — это значения параметров после-регламентного эталонного прогона ГПА. Третий источник информации — это действующие значения параметров работающего ГПА. Анализ на действующей системе автоматизации результатов работы модели ГПА от трех источников информации позволит:

1. Качественно поднять уровень выполняемых расчетов;
2. Определять оптимальную рабочую точку ГПА (задача оптимизации).
3. Судить об изменениях поведения ГПА в работе (диагностика ГПА);
4. Выполнять задачи прогнозирования (планирования),
5. Оптимизировать задачу ведения архива данных технологического процесса;

Ниже на рисунке приведен график функции нескольких переменных, зависимости степени сжатия ГПА от приведенных оборотов турбины и приведенной объемной производительности нагнетателя  $E([n_p]_{пр}, Q_{пр})$ .

Параметры степень сжатия, приведенные обороты, объемная производительность могут быть рассчитаны системой автоматизации из прямых показаний датчиков телеизмерения (температур газа, оборотов турбины, давлений, перепадов давлений на измерительном устройстве и т.д.). Методика их расчетов в работе

представлена. Была поставлена задача генерации трехмерной модели ГПА от независимых источников входной информации.

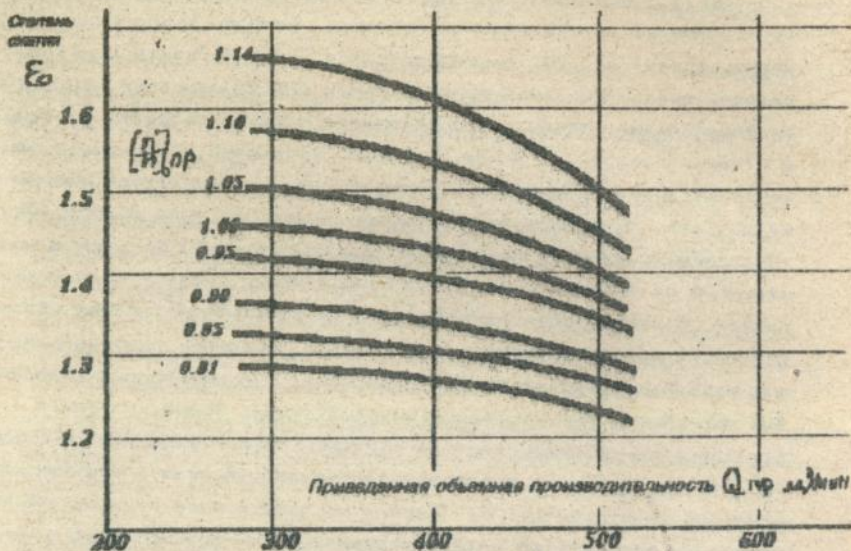


График зависимости  $E_0([h/n]_{op}, Q_0)$  для ГПА -76-16 (ВНИИГАЗ)

Основной инструмент при разработке методики и программы интерполяционная формула Лагранжа:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n y_i \prod_{j=1, j \neq i}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

Разработана процедура "Lagrange" в которую передаются двумерный массив данных, размерность, аргумент - значение функции от которого необходимо вычислить. Работа модели заключается в обработке большого трехмерного массива входных данных и получении упорядоченного ограниченного трехмерного массива в виде узлов по двум аргументам  $Q_{up}, [h/n]_{op}$ , где  $Q_{up} i - Q_{up} i-1 = \Delta Q_{up}$ ;

$$[h/n]_{op} i - [h/n]_{op} i-1 = \Delta [h/n]_{op};$$

с дальнейшей возможностью получения значения любого из трех параметров по известным двум. Данные заводских испытаний по основным типам ГПА, используемых на компрессорных цехах, уже даны в упорядоченном виде, график для ГПА П-16 показан выше. В математическом аппарате механизма определения значения функции по двум аргументам на основании упорядоченного трехмерного массива статистических данных и используется численный метод ре-

шения нелинейных уравнений. Для поиска численного решения в качестве уравнения может выступать процедура "Lagrange".

Одна из практических ценностей, получаемой за счет эксплуатации математической модели - это возможность определения параметров: приведенная относительная внутренняя мощность ГПА и политропический КПД нагнетателя. Эти параметры не возможно вычислить непосредственно из данных телеметрии.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены следующие основные научные и практические результаты:

1. На основании проведенного анализа требований и качества предъявляемые к современной системе автоматизации компрессорного цеха, разработаны основные важные принципы и методы их достижения. Разработаны требования, которым должна отвечать система автоматизации в части среды управления программным обеспечением, обоснован метод применения унифицированного языка управления и настройки современной системы автоматизации. Разработаны требования и критерии предъявляемые к процессу оптимизации объема и емкости информации выдаваемой системой. Определены требования к уровню закрытости системы. Проведен анализ возможности перехода на качественно новый уровень выполнения расчетных задач. Обосновывается методика по применению в системе автоматизации считывания и представления информации аналоговых датчиков относительно опорного аттестованного датчика, соответствие показания, которого можно проверить косвенным, достаточно точным методом. Разработана методика обеспечения максимальной "живучести" системы в условиях дефицита информации, которая основана на принципе многовариантности решения одной задачи.

2. Проведен анализ задачи децентрализации больших систем задач математического моделирования на подсистемы, выбран аппарат реализации. Разработаны методики декомпозиции граф-модели техпроцесса на  $r=2,3$  и более подсистем. Аппарат выбранного решения задач является унифицированным и в общем случае не зависит от требуемого количества подсистем. Децентрализация системы на минимально связаные подсистемы может быть произведена с определением наименьшего количества подсистем, при котором

удовлетворяются ограничения на размеры подсистем.

3. Разработана методология повышения надежности результатов выполнения расчетных задач в системе автоматизации компрессорного цеха. Сформулирована аналитическая модель распознавания данных телеметрии на входах модулей расчетных задач. На основании теории вероятности, разработанный математический аппарат, реализованный в системе автоматизации в качестве программного продукта позволяет:

определить являются ли входные данные результатом измерения физической величины;

с какой вероятностью значение измеренной величины параметра соответствует состоянию реального технологического процесса;

4. Разработан математический аппарат проектирования универсального программного модуля системы автоматизации компрессорного цеха, определяющего аналитические двумерные зависимости параметров техпроцесса. Работа доведена до инженерного уровня (написан программный модуль на языке C++, Приложение 2). Разработана методика регрессивного анализа полиномом 12 степени.

5. При практической работе над уменьшением погрешностей счета, выяснилось, что метод Гаусса: решения систем линейных уравнений может быть усовершенствован. В работе изложен критерий усовершенствования и способ модификации метода Гаусса.

6. Разработана методика численного решения систем линейных уравнений в частных производных.

7. Сформулирована задача динамической генерации трехмерной математической модели ГПА в работающей системе автоматизации компрессорного цеха. Разработана методология использования модели при выполнении расчетных задач. Разработанный математический аппарат генерации модели, реализован на уровне программного обеспечения персональной ЭВМ, Приложение 3.

8. Решена задача в системе автоматизации компрессорного цеха по статистическим данным ВНИИГАЗ определения действующей приведенной относительной внутренней мощности ГПА и политермического КПД турбины.

9. В процессе работы над диссертацией концептуально были сформулированы некоторые перспективные задачи современной системы автоматизации компрессорного цеха, реализация которых

потребує наявності математическої моделі ГПА;  
визначення оптимальної робочої точки експлуатації ГПА;  
кратко-срочне планування технологічного процесу;  
діагностика ГПА;

По матеріалам дисертації опубліковані наступні основні роботи:

1. Богаєнко І.Н., Поєвний В.А. Вероятнісні методи діагностики засвідчення вимірювань системи управління технологічними процесами. Збірник наукових праць під редакцією Н.А. Римшина. Київ, 1993.

2. Богаєнко І.Н., Поєвний В.А. Математическе моделювання в задачі розрахунку основних показувачів роботи газоперекачиваючого агрегату. Збірник наукових праць під редакцією Н.А. Римшина. Київ, 1993.

3. Богаєнко І.Н., Поєвний В.А. Модуль визначення аналітических зв'язностей параметрів технологіческого процесу компресорного цеху. Збірник наукових праць під редакцією Н.А. Римшина. Київ, 1993.





AB 28.780

**AB 28.780**