

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
СИНТЕЗА
И ИССЛЕДОВАНИЯ
СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ**

ФРУНЗЕ

1 9 8 4

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА
И ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ИЛИМ“
Фрунзе 1984

Рассматриваются вопросы разработки и анализа систем автоматизации синтеза алгоритмов управления, исследования различных аспектов проектирования систем управления технологическими процессами и комплексами. Приведены результаты моделирования алгоритмов, освещены вопросы принятия решений и оценки эффективности субоптимальных систем.

Для специалистов в области автоматизации синтеза и исследования систем управления, а также разработчиков АСУ ТП.

Утверждено к печати Ученым советом
Института автоматики
и принято РИСО Академии наук Киргизской ССР

Ответственный редактор чл.-корр. АН Киргизской ССР
В.П. Живоглазов

Рецензенты: канд. техн. наук В.З. Меренков
канд. физ.-мат. наук В.К. Горбунов

Издательство "Илим", 1984 г.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ

Эффективность функционирования современных систем автоматического управления (САУ), в которых в общем случае имеются как непрерывные, так и дискретные элементы и процессы, во многом определяется тем, насколько качественно были проведены на этапе научно-исследовательских работ (НИР) моделирование, анализ и синтез структур и алгоритмов управления.

Повышение требований к вновь создаваемым САУ и АСУ ТП, к уровню автоматизации объектов или процессов, необходимость сокращения сроков разработки и внедрения систем, более интенсивное использование трудовых и материальных ресурсов обуславливают целесообразность создания автоматизированных систем для научных исследований (АСНИ) в области процессов управления. Разрабатываемая в Институте автоматики АН Киргизской ССР АСНИ процессов управления предназначена как для фундаментальных, так и прикладных работ в этом направлении.

Основные цели и назначение АСНИ

При создании АСНИ процессов управления преследуются такие цели:

- постановка машинных экспериментов и проверка путем моделирования новых теоретических предложений и гипотез;

- повышение эффективности вновь разрабатываемых или модернизируемых систем управления объектами или процессами;

- получение или уточнение с помощью АСНИ математических моделей исследуемых технологических процессов, объектов, явлений;

- обеспечение оперативной обработки и более эффективного использования результатов промышленных экспериментов при разработке систем управления;

- повышение качества научно-исследовательских работ и сокращение сроков внедрения разработок в народное хозяйство.

Назначение АСНИ - обеспечить цикл исследований процессов и систем управления, т.е.:

а) обеспечить средствами моделирования и машинного эксперимента теоретические исследования в области адаптивных и диалоговых автоматизированных систем;

б) обеспечить прикладные исследования по созданию методов автоматизированного синтеза алгоритмов управления и разработке алгоритмических и программных модулей для целей автоматизации проектирования АСУ ТП;

в) обеспечить прикладные исследования и разработку конкретных автоматизированных систем для народного хозяйства.

Решение поставленных задач осуществляется путем использования программно-аппаратного комплекса на базе средств вычислительной техники и средств сопряжения ЭВМ с объектами исследования.

Функциональная структура АСНИ

Основу этой структуры составляют объектно-ориентированные и обслуживающие подсистемы. Назначение обслуживающих подсистем — осуществление функций обработки информации или управления, являющихся общими для определенного класса объектов или процессов. С помощью обслуживающих подсистем могут решаться, например, задачи информационно-поисковых процедур, планирования и оптимизации эксперимента, управления АСНИ и др.

Объектно-ориентированные подсистемы предназначены для выполнения автоматизированных процедур исследований, направленных на достижение конкретных целей или проверку определенных теоретических гипотез.

В состав АСНИ входят следующие объектно-ориентированные подсистемы:

- 1) моделирование и исследование адаптивных и диалоговых автоматизированных систем;
- 2) исследование гибридных систем автоматического управления;
- 3) автоматизированный синтез алгоритмов управления, отладка и испытание алгоритмических и программных модулей АСУ ТП;
- 4) идентификация и обработка экспериментальной информации;
- 5) исследование АСУ ТП.

Подсистема координации с базой данных служит для объединения проблемно-ориентированных подсистем, оперативного планирования и контроля хода выполнения НИР, хранения программ и данных многоцелевого назначения.

В зависимости от типа решаемой задачи и поставленной цели функционирование подсистем АСНИ может происходить как в автоматическом режиме, так и в режиме диалога с исследователем, с широким использованием автоматизированных процедур планирования и управления экспериментом, обработки экспериментальных данных, идентификации и построения математических моделей объектов или процессов, синтеза алгоритмов управления.

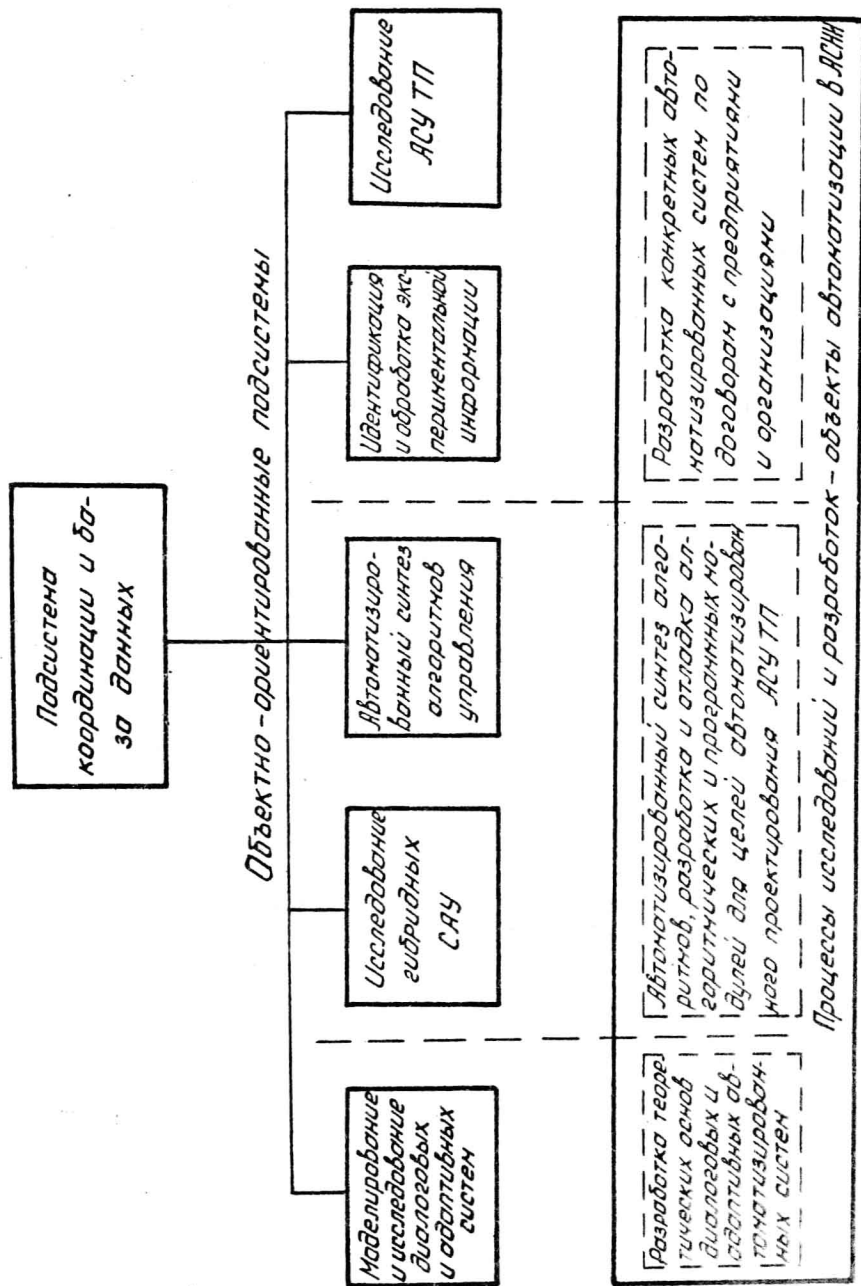
В АСНИ могут также применяться процедуры, при которых результаты обработки экспериментальных данных или определенная совокупность требований и критериев используются для выбора математической модели или алгоритма управления из заданных множеств моделей и алгоритмов.

Обобщенная функциональная структура АСНИ процессов управления и укрупненный перечень решаемых с её помощью теоретических и прикладных задач приведены на рисунке.

Структурное единство АСНИ обеспечивается связями между функциональными задачами и компонентами средств обеспечения, входящих в подсистемы. В состав АСНИ входят средства методического, программного, технического, информационного и организационно-правового обеспечения.

Методическое обеспечение включает методические записки и рабочие программы НИР, для выполнения которых создается АСНИ, описание развиваемых концепций и методов исследований, содержащихся в научно-технических отчетах или публикациях.

К методическому обеспечению относятся также теоретические аспекты используемых в АСНИ методов исследований; набор математических моделей типовых объектов исследований или автоматизации; набор (база) алгоритмов управления типовыми объектами; терминология или специальные языки, применяемые при проведении экспериментов; средства обеспечения сохранности информации в АСНИ или защиты её от случайного либо преднамеренного уничтожения.



Программное обеспечение (ПО) включает в себя общесистемное и прикладное (специальное).

Общесистемное ПО должно обеспечивать выполнение функций ввода и вывода информации в ЭВМ, согласование работы отдельных узлов ЭВМ и всей системы в целом, реализацию многоабонентных систем реального времени, адаптируемость к различным конфигурациям технических средств, работу в режиме диалога, создание и ведение баз данных.

Специальное ПО состоит из программ или пакетов программ, которые должны обеспечить решение научно-исследовательских задач:

- обработку информации, получаемой в ходе эксперимента непосредственно с объекта исследования;

- обработку массивов экспериментальных данных с целью получения математических моделей объектов или процессов;

- постановку машинных экспериментов;

- автоматизированный синтез алгоритмов управления для объектов АСУ ТП;

- отладку и испытания алгоритмических и программных модулей для АСУ различного назначения;

- исследование алгоритмов управления с использованием аналоговых средств моделирования и серийных средств сопряжения ЭВМ с объектом;

- отладку программ для микроЭВМ.

Состав комплекса технических средств АСНИ полностью определяется задачами, решаемыми в соответствующих подсистемах, и включает в себя устройства вычислительной техники, средства и устройства связи с объектом, измерительные устройства, средства организационной техники.

Внемашинное информационное обеспечение (ИО) включает в себя систему нормативно-справочной документации, систему организации ведения и внесения изменений в нормативно-справочную документацию.

Внутримашинное ИО разрабатывается с учетом обеспечения функционирования соответствующих подсистем АСНИ на основе использования блоков и файлов данных на машинных носителях, включающих в себя массивы экспериментальных данных, базу типовых математичес-

ких моделей объектов и процессов, базу алгоритмов управления типовыми объектами и процессами, критерии оптимальности, описания процедур синтеза алгоритмов управления, систему программ накопления и доступа к данным, константы, формулы перевода или расчета.

Организационно-правовое обеспечение определяет взаимодействие подразделений-пользователей при создании, эксплуатации и развитии системы АСНИ и основывается на типовых методических и руководящих материалах по разработке и использованию АСНИ.

Характеристика объектно-ориентированных подсистем АСНИ

Моделирование и исследование адаптивных и диалоговых систем

С использованием подсистемы могут решаться задачи следующего типа:

- исследование процессов в диалоговых системах принятия решений и управления;

- синтез моделей объектов с использованием информации расплывчатого типа (качественной информации на основе аппарата теории расплывчатых множеств);

- цифровое (или цифро-аналоговое) моделирование алгоритмов адаптивного управления, алгоритмов дуального управления;

- построение инструментально-моделирующей системы.

Теоретическую базу подсистемы составляют развивающиеся концепции и методы исследования адаптивных и диалоговых автоматизированных систем обработки информации и управления, методология адаптивных и диалоговых систем, систем управления, функционирующих в условиях неопределенности поведения системы или объекта, неопределенности математического описания процессов и объектов, неопределенности цели, внешних ограничений, условий эксплуатации системы, неопределенности состояния объекта или системы.

Актуальность задач исследования определяется тем, что в указанных выше условиях функционирует большинство технологических объектов, например, в таких отраслях промышленности, как цементная, стекольная, черная и цветная металлургия и др.

Сокращение сроков создания АСУ, повышение их качества и эффек-

тивности обуславливают необходимость проведения ускоренных экспериментальных исследований алгоритмов управления в комплексе с имеющейся или полученной с помощью АСНИ математической моделью объекта или процесса. Использование методов цифрового и аналогового моделирования, постановка машинных экспериментов в значительной мере упрощают анализ свойств системы, исследование и доработку алгоритмов управления.

Исследование гибридных систем автоматического управления

С использованием подсистемы могут решаться следующие задачи: выбор оптимальной дисциплины обслуживания для группы объектов; выбор оптимального интервала квантования управляющего воздействия по стоимостным оценкам измерений выхода; адаптация интервала квантования управляющего воздействия для группы объектов; параметрическая оптимизация цифровых регуляторов по выходу; оптимизация управления по критерию обобщенной работы; разработка робастных алгоритмов управления для гибридных систем.

Задачи подобного рода возникают при разработке АСУ непрерывными технологическими процессами с УВМ в контуре управления.

Практика показывает, что пренебрежение свойствами непрерывности процессов в объекте при синтезе алгоритмов прямого (непосредственного) цифрового управления приводит к снижению эффективности системы, неудачный выбор интервала квантования управляющего воздействия может сделать систему практически неработоспособной.

Автоматизированный синтез алгоритмов управления, отладка и испытание алгоритмических и программных модулей АСУ ТП

В подсистеме решаются задачи автоматизированного синтеза оптимальных алгоритмов управления и автоматизированной разработки, отладки и испытаний алгоритмических и программных модулей для автоматизации проектирования АСУ ТП.

При синтезе алгоритмов управления сложными технологическими процессами с сосредоточенными и распределенными параметрами,

функционирующими в условиях неопределенности, возникают значительные трудности и аналитическое решение задачи не всегда удается получить.

Одним из путей преодоления этой проблемы является использование вычислительных методов, которые и положены в основу подсистемы.

Программные модули АСУ ТП разрабатываются на основе синтезированного алгоритма в форме, удобной для компоновки вновь проектируемых АСУ ТП.

Идентификация и обработка экспериментальной информации

Основное назначение подсистемы – обеспечение статистической обработки экспериментальных данных, сбора и оперативной обработки информации с использованием микроЭВМ в двухуровневых системах, дистанционной обработки данных экспериментов на промышленном объекте и опытно-промышленной проверки систем управления в производственных условиях, а также решение комплекса задач идентификации, включающих построение регрессионных моделей, многоуровневую идентификацию больших систем, непараметрическую идентификацию нелинейных объектов. В подсистеме могут проводиться исследования алгоритмов идентификации.

Выполнение заданных функций осуществляется на основе методов корреляционного, дисперсионного и регрессионного анализа. При решении задач идентификации производится выбор структуры модели и определение информативных переменных, определение и корректировка параметров модели, оценка адекватности модели, анализируется используемый алгоритм.

В частности, с использованием данной подсистемы выполняется длительная опытная эксплуатация автоматизированной подсистемы расчета и оперативной корректировки рецепта шихты с дистанционной обработкой данных для одного из стекольных заводов.

Исследование АСУ ТП

Подсистема предназначена для решения прикладных задач, возникающих при разработке, отладке алгоритмов и программного обеспечения конкретных автоматизированных систем управления технологическими процессами и объектами (АСУ ТП).

Использование принципов декомпозиции и методов теории больших систем позволяет выделять из них и исследовать отдельные блоки и части.

Введение в структуру моделирующей системы реальных типовых элементов систем управления (блоки связи с объектом, измерительные, исполнительные и преобразующие устройства и т.п.) позволяет также решать задачи отладки специального программного обеспечения АСУ ТП, проверять функционирование систем в реальном масштабе времени, исследовать их работоспособность при подаче на входы гаммы случайных воздействий и помех, при изменении входных и возмущающих воздействий в широком диапазоне, исследовать поведение системы в аварийных ситуациях.

В целом создание АСНИ связано с решением комплекса методологических, технических, экономических и организационных вопросов. Целесообразно при создании АСНИ использовать концепцию "развивающейся АСНИ", т.е. создание базовой АСНИ с последовательным расширением сферы автоматизации научных исследований за счет ввода в действие новых подсистем или компонентов.

Е.П.Кебеч

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ, АНАЛИЗА И ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВЗВЕШИВАЮЩИХ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ РЯДОВ

Значительное место среди численных методов идентификации, исследования и оптимального управления, разрабатываемых для динамических систем, занимают методы, основанные на использовании в процессе синтеза алгоритмов разложения входных и выходных переменных рассматриваемых систем в ряд по некоторой системе функций. Преимущество данного подхода заключается в простоте полученных на его основе алгоритмов и, следовательно, легкости их

численной реализации. Результаты, полученные в данной области, многочисленны и полностью перечислить их невозможно. Сошлемся лишь на работы, которые в известной мере послужили основой разрабатываемого в данной статье подхода. Так, в [1] предложен наиболее рациональный метод исследования и оптимального управления для нестационарной линейной системы, основанный на разложении переменных времени в ряд по функциям единичным импульсам. В работах [2 - 4] получен ряд интересных результатов для решения различных задач динамики с использованием семейства функций Уолта. Близки идеологически к данному подходу методы исследования динамических систем при помощи сплайнов [5].

В данной статье развивается подход к синтезу алгоритмов решения различных задач, связанных с исследованием, идентификацией и оптимальным управлением динамических систем, основанный на использовании в качестве семейства функций, по которым разлагаются входные и выходные переменные, системы взвешивающих непараметрических функций [6].

Взвешивающие непараметрические ряды и их интегрально-дифференциальные преобразования

Особенности использования и преобразования непараметрических рядов мы рассмотрим в детерминистской постановке. Обобщение на случай, когда разлагаемые в ряд функции измеряются с помехами, не вызывает особых затруднений поскольку сходимость непараметрических алгоритмов для различных стохастических задач достаточно хорошо обоснована [6].

Пусть на интервале времени $[0, T]$ задана некоторая векторная функция времени $X(t)$ размерности $n \times 1$. Разобьем интервал $[0, T]$ на m равных отрезков точками $t_0 = 0$, $t_1, \dots, t_i, \dots, t_m = T$ длиной $\Delta t = \frac{T}{m}$. Используя для разложения непараметрический метод [6], можно записать

$$x^i(t) \cong \sum_{j=1}^m x_j^i \varphi(t - t_j, \beta_m) \quad (1)$$

где x_j^i - значение i -ой компоненты функции $X(t)$ в момент времени $t = \frac{t_{j-1} + t_j}{2}$, $\varphi(\cdot)$ - колоколообразные функции, а β_m - параметр, определяющий размытость (ширину) функций $\varphi(\cdot)$, зависящий от числа интервалов дискретизации m .

Перейдем к компактной записи в векторно-матричной форме. Составим из функций

$$\psi_j(t) = \frac{\varphi(t - t^j, \beta_m)}{\sum_{j=1}^m \varphi(t - t^j, \beta_m)} \quad (2)$$

вектор-столбец ψ_m размера $m \times 1$

$$\psi_m = [\psi_1(t), \psi_2(t), \dots, \psi_m(t)]^T, \quad (3)$$

а из измерений функций x_j^i на интервалах $j = 1, 2, \dots, m$ составим матрицу

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1m} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nm} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где

$$C_{ij} = x^i\left(\frac{t_{j-1} + t_j}{2}\right), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Тогда аппроксимация компонент функции $X(t)$, основанная на разложении $X(t)$ в ряд по семейству функций ψ_m может быть представлена в виде

$$x^i(t) \approx \sum_{j=1}^m C_{ij} \psi_j(t) = C^i \psi_m, \quad (6)$$

где C^i - i -я строка матрицы C , а вектор-функция $X(t)$ может быть приближенно представлена в виде

$$X(t) \approx C \psi_m. \quad (7)$$

Рассмотрим особенности применения к (7) интегральных преобразований. Проинтегрируем $X(t)$ в пределах от 0 до t , где

t - текущее время, тогда получим

$$\int_0^t x(t) dt \approx \int_0^t c \psi_m dt = c \int_0^t \psi_m dt. \quad (8)$$

Рассмотрим подробнее процедуру интегрирования вектор-функции ψ_m .

$$\begin{aligned} \int_0^t \psi_m dt &= \int_0^t [\psi_1(t), \psi_2(t), \dots, \psi_m(t)]^T dt = \\ &= [\psi_1(t), \psi_2(t), \dots, \psi_m(t)]^T = \psi_m, \end{aligned} \quad (9)$$

где $\psi_j(t)$ - некоторые функции, определяемые выражением

$$\psi_j(t) = \int_0^t \psi_j(t) dt. \quad (10)$$

Используя прием, который был применен для аппроксимации $x(t)$; функцию ψ_m можно приближенно представить в виде

$$\psi_m \approx H \psi_m. \quad (11)$$

В последнем выражении H - $m \times m$ - матрица, которую мы по аналогии с терминологией, принятой в [2], назовем операционной матрицей интегрирования. Элементы матрицы H вычисляются при помощи соотношения

$$h_{ij} = \int_0^t \psi_i(t) dt. \quad (12)$$

Таким образом, интегрирование выражения (7), аппроксимирующего $x(t)$, дает соотношение

$$\int_0^t x(t) dt \approx c H \psi_m, \quad (13)$$

т.е., операция взятия интеграла от разложения в ряд по системе функций ψ_m переменной $x(t)$ представляет собой линейное преобразование данного разложения при помощи матрицы постоянных

коэффициентов H . Отметим, что при определенных допущениях относительно функций $\psi_j(t)$ операционная матрица H , как и в [1], может быть представлена в виде верхней треугольной матрицы вида

$$H = \frac{T}{m} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & \frac{1}{2} & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{1}{2} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Правила дифференцирования и обратного интегрирования разложения (7) сформулируем в виде следующих лемм.

Лемма I. Пусть некоторая наперед заданная функция $X(t)$ аппроксимируется разложением в ряд по конечной системе функций

ψ_m при помощи ('). Тогда аппроксимация производной от этой функции, взятой по времени, может быть представлена в виде

$$\frac{d}{dt} X(t) \cong F \psi_m = (C - G) H^{-1} \psi_m, \quad (15)$$

где G - $n \times m$ - матрица, составленная из m векторов $X_0 = X(t_0)$. Оператор дифференцирования разложения (') или по аналогии с H - операционная матрица дифференцирования, может быть вычислена при помощи выражения

$$D = (C^T C)^{-1} C^T (C - G) H^{-1}. \quad (16)$$

Доказательство. Прежде всего отметим, что существование матриц, обратных по отношению к H и $(C^T C)$, всегда можно обеспечить путем соответствующего выбора числа интервалов разбиения отрезка $[0, T]$ и параметра C_m функций $\varphi(\cdot)$. В дальнейшем доказательстве данного вопроса мы касаться не будем. Докажем справедливость выражения (15). Используем для аппроксимации величины $\dot{X}(t)$ выражение

$$\dot{X}(t) \cong F \psi_m, \quad (17)$$

где F - матрица коэффициентов разложения с элементами

$$F_{ij} = \dot{x}^i \left(\frac{t_{j-1} + t_j}{2} \right); \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, m \end{matrix} \quad (18)$$

Воспользуемся соотношением

$$X(t) = \int_0^t \dot{X}(t) dt + X_0 \equiv F \int_0^t \Psi_m dt + G \Psi_m = FH \Psi_m + G \Psi_m, \quad (19)$$

Поскольку $X(t) \equiv C \Psi_m$, то с учетом (19), получим

$$C \Psi_m = FH \Psi_m + G \Psi_m, \quad (20)$$

откуда

$$(C - FH - G) \Psi_m = 0, \quad t \in [0, T]. \quad (21)$$

Равенство (21) выполнимо для всех $t \in [0, T]$ только в случае, если выполняется

$$C - FH - G \equiv 0, \quad (22)$$

откуда следует

$$F = (C - G) H^{-1}, \quad (23)$$

что соответствует утверждению (15).

Выведем выражение для операционной матрицы дифференцирования D (16). Запишем соотношение

$$\frac{d}{dt} X(t) \equiv \frac{d}{dt} C \Psi_m = C D \Psi_m \quad (24)$$

или с учетом (23),

$$C D \Psi_m = (C - G) H^{-1} \Psi_m, \quad (25)$$

откуда после несложных преобразований получаем

$$D \Psi_m = (C^T C)^{-1} C^T (C - G) H^{-1} \Psi_m, \quad (26)$$

т.е. справедливость (16).

Окончательно

$$D = (C^T C)^{-1} C^T (C - G) H^{-1}, \quad (27)$$

что и требовалось доказать.

По поводу приведенных выше результатов сделаем следующие замечания.