

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Л.Б. Рулева

*Институт проблем механики им. А.Ю. Иилинского Российской академии наук,
Москва, 119526, проспект Вернадского 101-1*

Аннотация

Газодинамические процессы современных моделей, приборов и устройств интегрированы с динамическими процессами различной физической природы. Математическое описание общих динамических процессов должно быть совместно интегрировано. Приведены некоторые примеры такой интеграции. Например, применение лазерной связи между мобильными системами земного и воздушного базирования. Приведены физическое и математическое описания компонент с особенностями их интеграции, включающее лазерную систему, GPS, инерциальный измерительный модуль и манипулятор. Пример медицинского масс-спектрометра для спектрального разделения газовой смеси по массе и заряду, имеющие одинаковый молекулярный вес CO и N₂ или NO₂ и CO₂. Пример быстро вращающейся газодинамической опоры двигателя в молекулярном слое смазки в водородной среде при пониженном давлении.

SOME EXAMPLES OF THE DYNAMIC GAS THEORIES ARE FOR APPLICATION

The gas dynamic processes of the modern models, gauge and devices are integrate with the another physical natural dynamic processes. The mathematic describe common dynamic processes must be the integration. Some examples this integration are note. For example, the implementation of laser communication links between ground and aerial vehicles. Particular system components and the challenges of their integration are physical and mathematical described, including laser system, GPS, the inertial measure module and manipulator. The example of the medicinal mass-spectrometer is describe for the spectral analyses gas components for mass and electric charge, and there are have identical molecular weight: CO and N₂, NO₂ and CO₂. The example of the quickly rotation gas dynamic support in the molecular lubricant layer in the hydrogen medium with the low pressure are describe.

1. ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития фундаментальных и прикладных исследований в области газовой динамики становится невозможным не учитывать динамику процессов другой физической природы. При этом к математическому описанию работы всей системы требуется интегрированный подход. Приведем примеры взаимосвязи математического описания динамики таких систем.

2. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ

2.1. Оптическая связь между мобильными платформами

Экспериментальные и теоретические исследования американских ученых из Бингемтонского университета и научно-исследовательской лаборатории ВВС США [1] по демонстрации оптической связи между мобильными платформами показали, что математические модели всех элементов системы связаны между собой. Мобильными платформами в эксперименте служили два автомобиля Хаммер, движущиеся по пересеченной местности со скоростью 45 км/ч.

Целью эксперимента являлось обеспечение точного позиционирования лазерной связи, которая позволяет достичь высокой скорости передачи данных при пониженных требованиях к мощности излучателей. Она устойчива к помехам, у нее сверхнизкая расходимость пучка, снижающая вероятность обнаружения и перехвата; скрытая передача информации.

Главная сложность заключается в точном позиционировании лазерного пучка. Это связано с наведением, обнаружением и слежением (Pointing Acquisition Tracking) ПАТ. Для минимизации ошибок при переда-

че данных ПАТ системы, установленные на наземных или воздушных объектах должны поддерживать взаимную ориентированность оптических осей приемопередающих устройств на сложных траекториях движения и вибрации. Авторы разработали высокоточную систему позиционирования, включающую в себя (на каждом авто): оптический передатчик и приемник, радио приемопередатчик, систему глобального позиционирования (GPS), модуль анализа оптического сигнала, манипулятор с системой управления позиционирования, датчик вибрации МУСГ (магнитный, угловой скорости, гироскопический). МУСГ - инерциальный измерительный модуль, сигналы от него поступают в систему стабилизации платформы, которая выполняет компенсацию вибрации по возмущению.

Задачи стабилизации платформы и оптического слежения системы ПАТ интегрированы между собой. Их успешное решение в проекте приводит к снижению мгновенных ошибок наведения и увеличению мощности принимаемого сигнала в уравнении оптического баланса.

2.2. Уравнение баланса оптического канала

Уравнение оптического баланса связывает мощность принимаемого излучения с мгновенной угловой ошибкой наведения: по динамическим характеристикам:

$$P_r = P_t G_T L_T L_R G_R L_r L_{misc} . \quad (1)$$

Влияние ошибок наведения содержится в потери передатчика:

$$L_p = e^{-G_T \theta^2} . \quad (2)$$

Система ПАТ разработана так, чтобы ее динамические характеристики, определяемые передаточной

функции всей системы, минимизировали дисперсию ошибок наведения МУСГ и манипулятора:

$$\sigma_{\theta PAT}^2 = \int_0^{\infty} |1 - G_{PAT}(f)|^2 |S_{\theta}(f)|^2 df. \quad (3)$$

Качество оптической связи определяется качеством работы всей системы, в том числе ее электромеханической части.

2.3. Электромеханическая система наведения

Оптические излучатели и приемники устанавливаются на манипуляторе с двумя степенями свободы, снабженного двумя электродвигателями, фотография которого представлена на рис.1.

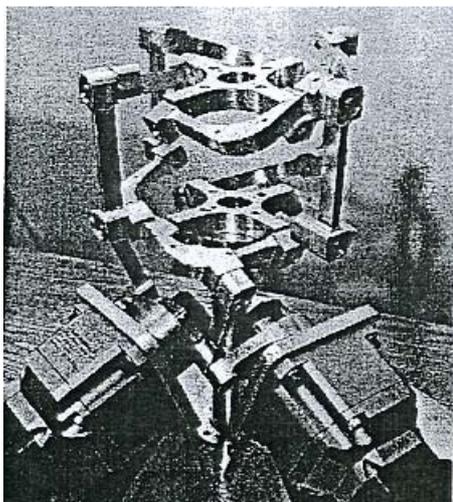


Рис.1. Манипулятор

Инерциальный измерительный модуль содержит трехкоординатные блоки датчиков угловой скорости, акселерометров и магнитометров в микромеханическом исполнении, показанном на рис.2.

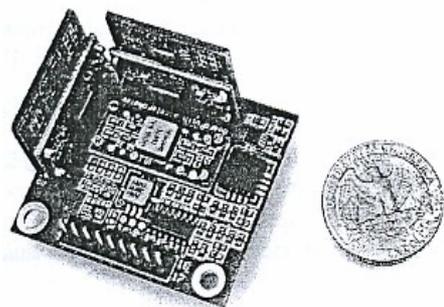


Рис.2. Инерциальный измерительный модуль МУСГ

2.4. Интегрированная система ПАТ

Функциональная схема интегрированной системы ПАТ показана на рис.3.

В интегрированной системе ПАТ генератор управляющего сигнала (ГУС) получает данные с инерциальных датчиков МУСГ и с GPS. Выходные сигналы ГУС через эталонную модель G_M , которая сообщает желаемую динамику всей системе ПАТ, подаются на компенсационный регулятор (РПС). Отклонение в направлении манипулятора (М) от линии прямой видимости (ЛПВ) приводит к ошибкам наведения, измеряемым квадрантным фотодиодом, который строит вектор ошибок и передает сигнал в регулятор обратной связи (РОС). Фильтр обратной кинематики (ФОК) преобразует задаваемые углы азимута и склонения в координа-

ты привода манипулятора (М). Регулятор стабилизации платформы, связанной с манипулятором, работает по возмущению.

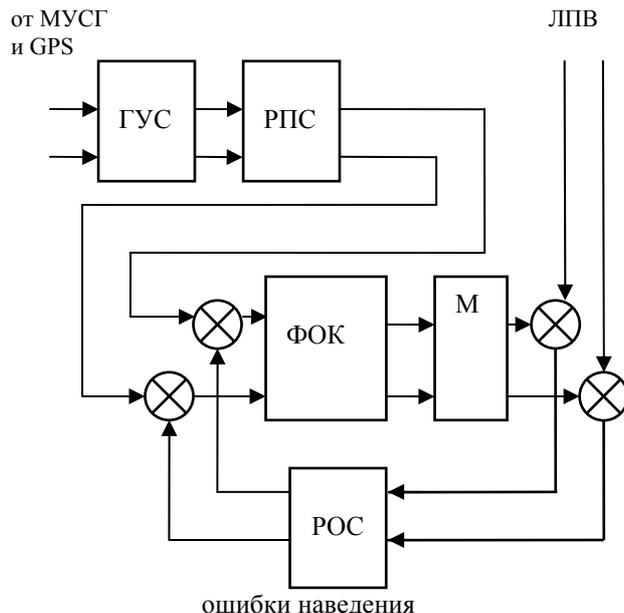


Рис.3. Интегрированная система ПАТ

Используется фильтр Калмана, который комбинирует данные, имеющие различные распределения, в вектор состояния, описывающий процесс с заданной дисперсией. При каждой итерации новый вектор состояния формируется применением матрицы перехода к оценке предыдущего вектора состояния.

3. МАСС-СПЕКТРОМЕТР В СИСТЕМЕ МИКРОКОМПЬЮТЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ

3.1. Спектральное разделение газовой смеси

Для спектрального разделения газовой смеси по массе и заряду ее компонентов в медицине используют масс-спектрометр. Возникают трудности при разделении смесей, имеющие одинаковый молекулярный вес CO и N_2 или NO_2 и CO_2 .

Иллюстративный материал доклада подготавливается с применением соответствующих компьютерных средств.

Схема разделения дыхательного газа, показана [2] на рис.4.

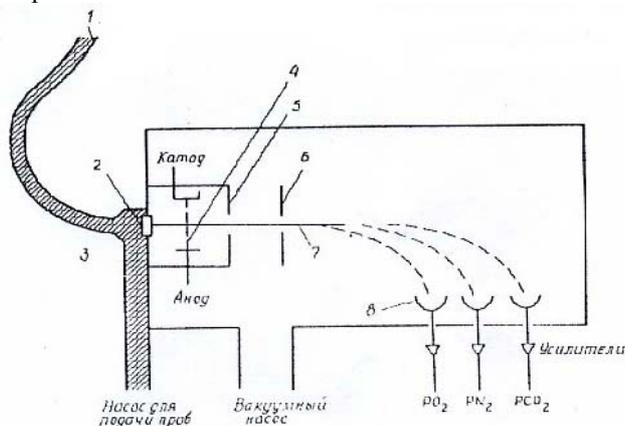


Рис.4. Разделение дыхательного газа на компоненты в масс-спектрометре. 1 - подогреваемая трубка для подачи газовой пробы, 2 - пробка, 3 - камера для проб, 4 - электронный пучек, 5 - ионизационная камера, 6 - ускоритель, 7 - ионный пучок, 8 - коллекторы

Для лабораторных анализов газ распыляется в ионизационной камере. Ионизация газа происходит при столкновении его с потоком электронов, движущихся от катода к аноду. Положительно заряженные ионы концентрируются в пучок и попадают в рассеивающее магнитное поле, где разделяются на компоненты. Количество каждого компонента определяется по концентрации вещества на коллекторе из набора. Различие в ионных токах пропорционально парциальному давлению газов.

3.2. Задачи комплексного использования масс-спектрометров

Использование масс-спектрометров в аппаратах искусственного дыхания ставит новые задачи формирования и описания газодинамических процессов. Так, например, в перфузионных и инфузионных насосах для перекачки крови или дыхательной смеси динамика рассчитывается исходя из максимального времени переходных процессов при торможении и запуске. В противном случае, могут порваться сосуды и капилляры больного. Влияние скорости подачи газовой смеси в масс-спектрометр на качество газового анализа смесей является задачей исследования.

4. ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ ОПОРА

Одной из областей применения высокоскоростных газодинамических опор (ГДО) является гироскопия. Гироротор с ГДО вращается со скоростью около 60000 об/мин внутри кожуха, который герметизирован, вакуумирован и заполнен водородом или гелием при низком давлении ($50 \dots 10^{-4}$ мм рт.ст.) [4]. Момент трогания таких опор велик, т.к. шип опоры лежит в начальный момент на втулке без смазки. На внутренней стороне втулки наносится молекулярный слой искусственного покрытия. При разгоне опоры «всплывает», контактирование опорных поверхностей прекращается (имеется зазор 1...5 мкм) и момент трения становится минимальным. В этом преимущество ГДО, позволяющее повысить точность и стабильность характеристик гироскопов. Имеются и другие варианты исполнения ГДО, например, с канавками и смазкой. При дальнейшем повышении точности гироприборов, интегрированный подход к исследованию газовой динамики и динамики твердого тела в ГДО является актуальным [3].

4.2. Задачи исследований ГДО

Примером таких исследований может служить современное издание [4], в котором рассматриваются интегральные характеристики газовых опор, их связь с уравнением Рейнольдса, равновесные и неравновесные режимы работы газовых опор, граничные условия к уравнению Рейнольдса. Теория смазки рассмотрена в взаимосвязи физико-математических и технических аспектов. Рассмотрены особенности постановки задач различных модификаций ГДО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интегрированный подход к математическому описанию динамики объекта, составляющие которого имеют различную физическую природу, является востребованным в настоящее время. Этому способствует требование дальнейшего повышения точности, надежности, экономичности и высокой технологичности объектов исследования. Приведенные примеры показали актуальность и многообразие применения интегрированного подхода к исследованию систем.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

- GPS - глобальная система позиционирования;
 ВВС – военно-воздушные силы;
 МУСГ - магнитный угловой скорости гироскопический датчик вибраций;
 РАТ - система: наведение, обнаружение, слежение;
 ГУС - генератор управляющего сигнала;
 РПС - компенсационный регулятор;
 М - манипулятор;
 ЛПВ - линия прямой видимости;
 РОС - регулятор обратной связи;
 ФОК - фильтр обратной кинематики;
 ГДО - газодинамическая опора;
 P - мощность сигнала;
 G - коэффициент усиления;
 L - потери;
 θ - мгновенное значение ошибки наведения;
 σ^2 - дисперсия ошибок наведения;
 S - спектральная плотность мощности.
 Индексы:
 r, R - принадлежность оптическому приемнику;
 t, T - принадлежность передатчику лазерного излучения;
 misc - другие потери;
 p - потери мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никулин В., Совка Д., Скормин В. и др. Демонстрация оптической связи между двумя мобильными платформами // Гироскопия и навигация. №2. 2008. С. 28–38.
2. Томпкинс У., Уэбстер Дж. Микропроцессорные медицинские системы. М.: Мир. 1983. 541 с
3. Байбарина Е.Н., Верещицкий А.М., Горелик К.Д. и др. Диагностика и лечение респираторно дистрессиндрома // Интенсивная терапия. №2. 2007.
4. Гиродвигатели. Под ред. И.Н. Орлова. М.: Машиностроение. 1983. С. 29–31.
5. Сипенков И.Е., Филиппов А.Ю., Болдырев Ю.Я. и др. Прецизионные газовые подшипники. СПб: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор». 2007. 504 с.