**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

Университет ИТМО

Кафедра Систем Управления и Информатики Группа P4135

# ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к расчетно-исследовательской работе магистрантов

по дисциплине

Интеллектуальное управление в условиях неопределенности


Автор РИРМ Артемов К. (подпись)

(фамилия, и.о.)

Руководитель Ушаков А.В. (подпись)

(фамилия, и.о.)


“____“ ___________ 20_____ г. Санкт-Петербург, 20______ г.

Курсовая работа выполнена с оценкой ____________________

Дата защиты “ ____ “ _____________ 20_____ г.

САНКТ – ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

КАФЕДРА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАТИКИ

«УТВЕРЖДАЮ»
Зав.кафедрой А.А.Бобцов

# З А Д А Н И Е

на расчетно – исследовательскую работу (РИРМ)магистрантов по дисциплине
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

СТУДЕНТУ: __Артемову Кириллу, группа Р4135, кафедра СУиИ__________________________

РУКОВОДИТЕЛЬ:_д.т.н., профессор А.В.Ушаков____________

1.ТЕМА РИРМ: **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ, СИНТЕЗ НЕАДАПТИВНЫХ И АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НЕОБХОДИМУЮ РОБАСТНОСТЬ ИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

2.СРОКИ выполнения РИРМ_____.______17 – я неделя семестра (30 мая 2017 года)______
____________

3.СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ:

3.1. Построить МТЧ **непрерывного ОУ(НОУ)**; с использованием матрицы управляемости агреги-рованной системы ранжировать параметры $q_j$ по потенцииальной чувствительности
3.2. Построить МТЧ **дискретного ОУ(ДОУ)** к вариации интервала дискретности.
3.3. Построить МТЧ спроектированной непрерывной системы(СНС) по каждому из параметров и для значения $|\Delta q_j| = 0.3$; выделить доминирующие параметры по степени их влияния на величину $\sigma$ перерегулирования и длительность $t_n$ переходного процесса;_____
3.4. Построить матрицу функций модальной чувствительности (МФМЧ) и выделить неблагоприятное сочетание вариаций параметров.
3.5. Методом модального управления (МУ), базовый алгоритм которого дополняется контролем нормы $\|F_O\|$ медианной составляющей интервальной матрицы $[F]$ спроектированной системы для целей вычисления оценки $\delta_I F$ ее относительной интервальности. Исследовать свойство робастностной устойчивости полученной системы с помощью метода В.Л. Харитонова.
3.6. Оценить алгебраическую реализуемость неадаптивного и адаптивного управления, обеспечивающего параметрическую инвариантность выхода системы, и синтезировать их.

3.7.ВАРИАНТ ЗАДАНИЯ (ВПИСАТЬ СВОЙ)____1.1А-1.2А-2.1Б-2.2Б-3А-4-А5А-6А-7А__

4.СОДЕРЖАНИЕ пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

4.1.Введение.Постановка задачи ____________________________________________
4.2.Построение МТЧ НОУи результаты ее исследования________________________________
4.3.Построение МТЧ ДОУи и результаты ее исследования______________________________
4.4.Построение МТЧ СНС и результаты ее исследования______________________________
4.5.Построение МФМЧ и результаты ее исследования________________________________
4.6.Построение медианного МУ НОУ и оценка его результатов________________________
4.7.Синтез неадаптивного и адаптивного управления, обеспечивающего параметрическую инвариантность выхода СНС относительно неопределенности НОУ
4.8.Заключение________________________________________________________________
4.9.Литература_______________________________________________________________
4.10.Приложение______________________________________________________________

5.ИСХОДНЫЕ материалы и пособия к РИРМ:

5.1.Никифоров В.О., Слита О.В., Ушаков А.В. Интеллектуальное управление в условиях неопределенности: учебное пособие. СПб.: СПбГУИТМО, 2011.
5.2.Никифоров В.О. ,Ушаков А.В. Управление в условиях неопределенности: чувствительность, адаптация и робастность. СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2002.
5.3.Никифоров В.О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений.-СПб.: Наука, 2003.
5.4. Дударенко Н.А., Слита О.В., Ушаков А.В. Математические основы современной теории управления: аппарат метода пространства состояний: учебное пособие. / Под ред. Ушакова А.В. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 323 с.

6.ДАТА выдачи задания на РИРМ____________________________________________________

*РУКОВОДИТЕЛЬ*____________________________________________

7.ДАТА начала выполнения РИРМ__________________________________________________

*СТУДЕНТ*__________________________________________________

# Содержание

# Введение. Постановка задачи

Задан непрерывный объект управления (НОУ) с помощью передаточной функции (ПФ) «вход-выход (ВВ)»

$$\Phi(s,q) = \frac{b_0(1+q_1)s + b_1(1+q_2)}{(a_0(1+q_3)s + a_1(1+q_4))(a_2(1+q_5)s^2 + a_3(1+q_6)s + a_4(1+q_7))} \quad (1)$$

где $q_{10} = q_{20} = q_{30} = q_{40} = q_{50} = q_{60} = q_{70} = 0$ — номинальные значения параметров $q_{j0}, j = \overline{1,7}$.

Необходимо проделать работу в соответствии с заданием на расчетно-исследовательскую работу магистранта (РИРМ). Исходные данные для варианта №6 ААББАААА указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

| | |
|---|---|
| 1.1. Значения параметров ПФ | $b_0 = 3; b_1 = 0.4; a_0 = 2; a_1 = 0.6; a_2 = 0; a_3 = 6; a_4 = 10$ |
| 1.2. Базис описания НОУ | канонический управляемый |
| 2.1. Интервал дискретности | $\Delta t = 0.03$с |
| 2.2. Метод перехода к ДОУ | с помощью интегральной модели ВСВ НОУ |
| 3. Характеристическая частота | $\omega_0 = 3c^{-1}$ |
| 5. Граничные (угловые) значения параметра $q_j$ | $\underline{q_j} = -0.2; \overline{q_j} = 0.2$ |
| 6. Относительная интервальность матрицы состояния системы | $\delta_{IR}F = 0.02$ |
| 7. Величина параметрической неопределенности | $\underline{q_j} = -0.2; \overline{q_j} = 0.2$ |

# 1 Построение МТЧ НОУ

1) Записать непрерывный ОУ (НОУ) в форме «вход-состояние-выход (ВСВ)» в требуемом базисе;
2) Построить модель траекторной чувствительности (МТЧ) НОУ;
3) Произвести ранжирование параметров по потенциальной чувствительности к ним выхода ОУ с использованием матрицы управляемости агрегированной системы;

   Оценить, какое из дополнительных движений, вызванных вариацией, потребует максимальных затрат управления при обеспечении его асимптотической сходимости к нулю.

## 1.1 Непрерывный ОУ в форме ВСВ

Заданный ОУ описывается ПФ

$$\Phi(s,q) = \frac{3(1+q_1)s + 0.4(1+q_2)}{(2(1+q_3)s + 0.6(1+q_4))(6(1+q_6)s + 10(1+q_7))} \tag{1.1}$$

Для составления векторно-матричного описания ОУ запишем ПФ в форме

$$\Phi(s,q) = \frac{\dfrac{(1+q_1)}{4(1+q_3)(1+q_6)}s + \dfrac{(1+q_2)}{30(1+q_3)(1+q_6)}}{s^2 + \dfrac{20(1+q_3)(1+q_7) + 3.6(1+q_4)(1+q_6)}{12(1+q_3)(1+q_6)}s + \dfrac{(1+q_4)(1+q_7)}{2(1+q_3)(1+q_6)}}$$

В каноническом управляемом базисе векторно-матричное представление ОУ принимает вид:

$$\begin{cases} \dot{x}(t,q) & = A(q)x(t,q) + Bu(t) \\ y(t,q) & = C(q)x(t,q) \end{cases} \tag{1.2}$$

в котором

$$A(q) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\dfrac{(1+q_4)(1+q_7)}{2(1+q_3)(1+q_6)} & -\dfrac{20(1+q_3)(1+q_7) + 3.6(1+q_4)(1+q_6)}{12(1+q_3)(1+q_6)} \end{bmatrix} \tag{1.3}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1.4}$$

$$C(q) = \begin{bmatrix} \dfrac{(1+q_2)}{30(1+q_3)(1+q_6)} & \dfrac{(1+q_1)}{4(1+q_3)(1+q_6)} \end{bmatrix} \tag{1.5}$$

## 1.2 Модель траекторной чувствительности НОУ

ПФ номинального ОУ, когда параметры $q_j = 0, j = \overline{1,7}$, представляет собой

$$\Phi(s,0) = \frac{\dfrac{1}{4}s + \dfrac{1}{30}}{s^2 + \dfrac{236}{120}s + \dfrac{1}{2}} \tag{1.6}$$

Матрицы модели ВСВ номинального ОУ имеют реализации

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\dfrac{1}{2} & -\dfrac{236}{120} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{30} & \dfrac{1}{4} \end{bmatrix}$$

Введем обозначения

$$A_{q_j} = \left.\frac{\partial A(q)}{\partial q_j}\right|_{q=q_0}; B_{q_j} = \left.\frac{\partial B(q)}{\partial q_j}\right|_{q=q_0}; C_{q_j} = \left.\frac{\partial C(q)}{\partial q_j}\right|_{q=q_0};$$

$$A(q)|_{q=q_0} = A; B(q)|_{q=q_0} = B; C(q)|_{q=q_0} = C;$$

$$x(t,q)|_{q=q_0} = x(t); y(t,q)|_{q=q_0} = y(t);$$

$$\left.\frac{\partial x(t,q)}{\partial q_j}\right|_{q=q_0} = \sigma_j(t); \left.\frac{\partial y(t,q)}{\partial q_j}\right|_{q=q_0} = \eta_j(t);$$

Теперь для $j$-й модели траекторной чувствительности получим представление МТЧ

$$\begin{cases} \dot{\sigma}_j(t) &= A\sigma_j(t) + A_{q_j}x(t) + B_{q_j}u(t); \sigma_j(0) = 0 \\ \eta_j(t) &= C\sigma_j(t) + C_{q_j}x(t) \end{cases} \tag{1.7}$$

МТЧ будет генерировать функции траекторной чувствительности $\sigma_j(t)$ по состоянию и $\eta_j(t)$ по выходу, если ее дополнить моделью номинального ОУ 1.2.

На состояние заданного ОУ влияют $p = 6$ (далее, под записью $j = \overline{1, p}$ будет подразумеваться, что $j = 1, 2, 3, 4, 6, 7$) параметров: $q_1, q_2, q_3, q_4, q_6, q_7$. Вычислим матрицы моделей траекторной чувствительности

$$A_{q_1} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; B_{q_1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}; C_{q_1} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{4} \end{bmatrix}; \tag{1.8}$$

$$A_{q_2} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; B_{q_2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}; C_{q_2} = \begin{bmatrix} \frac{1}{30} & 0 \end{bmatrix}; \tag{1.9}$$

$$A_{q_3} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{36}{120} \end{bmatrix}; B_{q_3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}; C_{q_3} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{30} & -\frac{1}{4} \end{bmatrix}; \tag{1.10}$$

$$A_{q_4} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & -3.6 \end{bmatrix}; B_{q_4} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}; C_{q_4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix}; \tag{1.11}$$

$$A_{q_6} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{20}{12} \end{bmatrix}; B_{q_6} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}; C_{q_6} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{30} & -\frac{1}{4} \end{bmatrix}; \tag{1.12}$$

$$A_{q_7} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{20}{12} \end{bmatrix}; B_{q_7} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}; C_{q_7} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix}; \tag{1.13}$$

## 1.3 Ранжирование параметров

Сконструируем агрегированную систему с составным вектором $\tilde{x}_j = col\{x, \sigma_j\}$ размерности $\dim \tilde{x} = 2n$, которая объединением 1.7 и 1.2, получает представление

$$\dot{\tilde{x}}_j(t) = \tilde{A}_j \tilde{x}_j(t) + \tilde{B}_j u(t); \tilde{x}_j(0) = col\{x(0), 0\} \tag{1.14}$$

$$x(t) = \tilde{C}_{x_j} \tilde{x}_j; \tag{1.15}$$

$$y(t) = \tilde{C}_j \tilde{x}_j(t); \tag{1.16}$$

$$\sigma_j(t) = \tilde{C}_{\sigma_j} \tilde{x}_j(t); \tag{1.17}$$

$$\eta_j(t) = \tilde{C}_{\eta_j} \tilde{x}_j(t) \tag{1.18}$$

где

$$j = \overline{1,p}, \tilde{A}_j = \begin{bmatrix} A & 0 \\ A_{q_j} & A \end{bmatrix}, \tilde{B}_j = \begin{bmatrix} B \\ B_{q_j} \end{bmatrix},$$

$$\tilde{C}_{x_j} = \begin{bmatrix} I_{n\times n} & O_{n\times n} \end{bmatrix}, \tilde{C}_j = \begin{bmatrix} C & 0_{m\times n} \end{bmatrix}, \tilde{C}_{\sigma_j} = \begin{bmatrix} 0_{n\times n} & I_{n\times n} \end{bmatrix}, \tilde{C}_{\eta_j} = \begin{bmatrix} C_{q_j} & C \end{bmatrix}.$$

Составим необходимые матрицы

$$\tilde{A}_{1,2} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{236}{120} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{236}{120} \end{bmatrix}; \tilde{A}_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{236}{120} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{36}{120} & -\frac{1}{2} & -\frac{236}{120} \end{bmatrix};$$

$$\tilde{A}_4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{236}{120} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & -3.6 & -\frac{1}{2} & -\frac{236}{120} \end{bmatrix}; \tilde{A}_6 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{236}{120} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{20}{12} & -\frac{1}{2} & -\frac{236}{120} \end{bmatrix};$$

$$\tilde{A}_7 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{236}{120} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{20}{12} & -\frac{1}{2} & -\frac{236}{120} \end{bmatrix}; \tilde{B}_{1,2,3,4,6,7} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$\tilde{C}_{x_{1,2,3,4,6,7}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \tilde{C}_{1,2,3,4,6,7} = \begin{bmatrix} \frac{1}{30} & \frac{1}{4} & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\tilde{C}_{\sigma_{1,2,3,4,6,7}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\tilde{C}_{\eta_1} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{4} & \frac{1}{30} & \frac{1}{4} \end{bmatrix}; \tilde{C}_{\eta_2} = \begin{bmatrix} \frac{1}{30} & 0 & \frac{1}{30} & \frac{1}{4} \end{bmatrix};$$

$$\tilde{C}_{\eta_3} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{30} & -\frac{1}{4} & \frac{1}{30} & \frac{1}{4} \end{bmatrix}; \tilde{C}_{\eta_4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{30} & \frac{1}{4} \end{bmatrix};$$

$$\tilde{C}_{\eta_6} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{30} & -\frac{1}{4} & \frac{1}{30} & \frac{1}{4} \end{bmatrix}; \tilde{C}_{\eta_7} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{30} & \frac{1}{4} \end{bmatrix};$$

Для ранжирования параметров по возможным затратам ресурсов управления для достижения нечувствительности траектории проектируемой системы к этим вариациям проведем анализ управляемости системы 1.14 по ее выходу $\eta_j$.

Требования к ресурсам управления заметно снижаются, если изначально ограничиться задачей обеспечения траекторной нечувствительности выхода проектируемой системы. На уровне требований к структурным свойствам агрегированной системы 1.14 задача сводится к контролю управляемости тройки матриц $(\tilde{C}_{\eta_j}, \tilde{A}_j, \tilde{B}_j)$ и количественной оценке эффекта управления по переменной $\eta_j$ при приложении управления $u(t)$ фиксированной нормы с помощью сингулярных чисел матрицы управляемости

$$\tilde{W}_{y\eta_j} = \begin{bmatrix} \tilde{C}_{\eta_j}\tilde{B}_j & \tilde{C}_{\eta_j}\tilde{A}_j\tilde{B}_j & \tilde{C}_{\eta_j}\tilde{A}_j^2\tilde{B}_j & \cdots & \tilde{C}_{\eta_j}\tilde{A}_j^{2n-1}\tilde{B}_j \end{bmatrix} \tag{1.19}$$

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|---|---|---|---|---|



Копировал Формат А4

С учетом $n = 2$, рассчитаем матрицы управляемости $\tilde{W}_{\eta_j}$

$$\tilde{W}_{y\eta_1} = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.9166667 & 1.4277778 & -2.120463 \end{bmatrix}, \tag{1.20}$$

$$\tilde{W}_{y\eta_2} = \begin{bmatrix} 0.25 & -0.3916667 & 0.5202778 & -0.5982130 \end{bmatrix}, \tag{1.21}$$

$$\tilde{W}_{y\eta_3} = \begin{bmatrix} 0 & 0.1083333 & -0.3505556 & 0.8681759 \end{bmatrix}, \tag{1.22}$$

$$\tilde{W}_{y\eta_4} = \begin{bmatrix} 0.25 & -1.325 & 3.8808333 & -9.3064722 \end{bmatrix}, \tag{1.23}$$

$$\tilde{W}_{y\eta_6} = \begin{bmatrix} 0 & 0.45 & -1.6488889 & 4.3117963 \end{bmatrix}, \tag{1.24}$$

$$\tilde{W}_{y\eta_7} = \begin{bmatrix} 0.25 & -0.8416667 & 2.0441667 & -4.4350093 \end{bmatrix} \tag{1.25}$$

Вычислим для полученных матриц управляемости сингулярные числа

$$\alpha\{\tilde{W}_{y\eta_1}\} = 2.7613747, \alpha\{\tilde{W}_{y\eta_2}\} = 0.9189399, \tag{1.26}$$

$$\alpha\{\tilde{W}_{y\eta_3}\} = 0.9425257, \alpha\{\tilde{W}_{y\eta_4}\} = 10.172975, \tag{1.27}$$

$$\alpha\{\tilde{W}_{y\eta_6}\} = 4.6382024, \alpha\{\tilde{W}_{y\eta_7}\} = 4.9617363 \tag{1.28}$$

Ранги матриц $\tilde{W}_{\eta_j}$ равны $rang(\tilde{W}_{\eta_j}) = 1$, что совпадает с размерностью $m = 1$ вектора выхода. Таким образом, выбором закона управления можно обеспечить сходимость $\lim_{t\to\infty} \Delta y(t, q_0, \Delta q_j) = 0; j = \overline{1, p}$ с заданным темпом. Сингулярные числа матриц $\tilde{W}_{\eta_j}$ принимают значения 1.26–1.28. Проранжируем параметры $q_j$ в порядке увеличения затрат ресурсов на управление

1) $q_4$
2) $q_7$
3) $q_6$
4) $q_1$
5) $q_3$
6) $q_2$

Отсюда следует, что асимптотическая сходимость к нулю дополнительного движения $\Delta y(t, q_0, \Delta q_2)$ будет требовать наибольших затрат на управление, чем сходимость остальных дополнительных движений, с тем же темпом.

# 2 Построение МТЧ ДОУ

1) Перейти к дискретному описанию ОУ с помощью интегральной модели ВСВ НОУ;
2) Построить модель траекторной чувствительности (МТЧ) дискретного ОУ (ДОУ) к вариации интервала дискретности;

## 2.1 Переход к дискретному описанию ОУ

ДОУ представляет собой дискретную по времени с интервалом дискретности длительности $\Delta t$ выборку из непрерывных процессов по вектору состояния $x(t,q)$ и выходу $y(t,q)$ при фиксированном на интервале $t \in [\Delta tk, \Delta t(k+1)]$ значении управления $u(t) = u(\Delta tk) = u(k)$.

$$\begin{cases} x(k+1,q) = \overline{A}(q)x(k,q) + \overline{B}(q)u(k) \\ y(k,q) = \overline{C}(q)x(k,q) \end{cases} \tag{2.1}$$

где матрицы непрерывного 1.2 и дискретного 2.1 ОУ связаны следующими функциональными соотношениями

$$\overline{A}(q) = e^{A(q)\Delta t}; \overline{B}(q) = A^{-1}(q)(e^{A(q)\Delta t} - I)B(q); \overline{C}(q) = C(q) \tag{2.2}$$

Общий вид интегральной модели ВСВ НОУ имеет вид

$$x(t) = \Phi(t)x(0) + \int_0^t \Phi(t,\tau)Bu(\tau)d\tau \tag{2.3}$$

$$y(t) = C\Phi(t)x(0) + \int_0^t C\Phi(t,\tau)Bu(\tau)d\tau \tag{2.4}$$

где $\Phi(t) = e^{At}, \Phi(t,\tau) = \Phi(t)\Phi^{-1}(\tau) = e^{A(t-\tau)}$.

Используя интегральную запись модели ВСВ непрерывного динамического объекта, нетрудно получить связь между матрицами модели ВСВ дискретного и непрерывного объектов в форме

# Список использованных источников