



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА
имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА
(ФГОУ ВПО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

Экономический факультет
Кафедра экономической кибернетики

ЛУКЪЯНОВ Б.В.

Теория оптимального управления

в приложении к задачам агроэкономики

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к лабораторно-практическим занятиям

Дисциплина «**Теория оптимального управления**»

Направление – 080100 «Экономика»

Специальность – 080116 «Математические методы в экономике»

Специализация – «Информационные технологии в АПК»

Курс: V

Семестр: X

Москва 2011

ВВЕДЕНИЕ

Методическое пособие предназначено для использования преподавателями при проведении лабораторно-практических занятий по названной тематике и студентами при подготовке к лабораторно-практическим занятиям и их выполнении. Методическое пособие написано с ориентацией на студентов, имеющих практические навыки работы на ЭВМ с профессионально ориентированными программами.

В методическом пособии описываются лабораторно-практические занятия, иллюстрирующие следующие темы теории оптимального управления:

- Общая постановка задачи теории оптимального управления
- Оценка управляемости объекта
- Оптимизация траектории управления
- Линейная задача быстрогодействия.

Методическое пособие частично восполняет отсутствие изданий для сельскохозяйственных вузов по теории оптимального управления. Раскрытие названных тем делается в Методическом пособии на базе рассмотрения управления типовым технологическим процессом – кормлением сельскохозяйственных животных, и в рамках рассматриваемой тематики отражает суть и особенности аграрной экономики как науки.

Тема 1. **Общая постановка задачи теории оптимального управления** (элементарные определения)

1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЙ

1.1. Знакомство студентов с понятиями, используемыми в «Теории оптимального управления (ТОУ)».

1.2. Приобретение навыков в описании условий и результатов решения задач ТОУ.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ

Для задачи оптимального управления характерно наличие некоторого динамического объекта, т.е. объекта, изменяющегося во времени.

В задачах управления состояние динамического объекта (системы) характеризуется n *переменными состояниями (фазовыми переменными)* $x^1(t)$, ..., $x^n(t)$.

Вектор

$$\mathbf{x}(t) = (x^1(t), \dots, x^n(t))$$

называется *фазовым вектором* объекта.

Задача состоит в определении m *управляющих переменных (управления)* как функций от t в интервале $t_0 \leq t \leq t_1$, минимизирующих заданный *критерий*, или *функционал качества*.

Вектор

$$\mathbf{u}(t) = (u^1(t), \dots, u^m(t))$$

называется *управляющим параметром* объекта или *управлением*.

В конкретных физических (экономических, физиологических и др.) объектах управление $\mathbf{u}(t)$ не может быть произвольным. Обычно предполагают, что вектор управления $\mathbf{u}(t)$ удовлетворяет в каждый момент времени t ограничению

$$\mathbf{u}(t) \in U,$$

где U – некоторое заданное множество.

Таким образом задается *класс допустимых управлений*.

Будем считать, что допустимое управление $\mathbf{u}(t)$ переводит объект из множества *начальных допустимых состояний* M_0 на множество *конечных допустимых состояний* M_1 на отрезке времени $[t_0, t_1]$, если соответствующее этому управлению $\mathbf{u}(t)$ фазовое состояние объекта $\mathbf{x}(t)$ удовлетворяет условиям

$$\mathbf{x}(t_0) \in M_0, \mathbf{x}(t_1) \in M_1$$

Предполагается, что каждому допустимому управлению $u(t)$, заданному на отрезке $[t_0, t_1]$, и соответствующей ему траектории объекта $x(t)$ сопоставлено некоторое число J , оценивающее качество пары $u(t), x(t)$, т.е. задан **функционал**, или **критерий качества** $J(u(t), x(t))$.

Задача оптимального управления заключается в нахождении таких допустимого управления $u^*(t)$ и соответствующей ему траектории объекта $x^*(t)$, переводящей объект из множества начальных состояний M_0 на множество конечных состояний M_1 , что при этом функционал качества $J(u(t), x(t))$ принимает минимальное значение, т.е.

$$J(u^*(t), x^*(t)) = \min J(u(t), x(t)).$$

3. ЗАДАНИЕ

Постановка задачи.

Рассматриваем корову как объект управления. Её состояние определяется съеденными кормами. Требуется перевести корову из «голодного» состояния $x(t_0)$ в «сытое» $x(t_1)$.

«Голодное» состояние характеризуется отсутствием кормления. «Сытое» состояние характеризуется рационом, количество сухого вещества в котором не превышает норму, а величина обменной энергии рациона - не менее 70 % нормы.

Фазовый вектор объекта управления является двумерным:

$$x(t) = (x^1(t), x^2(t))$$
$$x^1(t) = OЭ(t); \quad x^2(t) = СВ(t)$$

$OЭ(t)$ – количество обменной энергии, содержащейся в кормах, съеденных коровой к моменту времени t ;

$СВ(t)$ - количество сухого вещества, содержащегося в кормах, съеденных коровой к моменту времени t .

В качестве управления выступает рацион.

Функционалом качества управления является величина издержек, обуславливаемых применением рациона:

$$J(\mathbf{u}(t), \mathbf{x}(t)) = \min \left(\sum_{k=1}^K (u^k * \sum_{t=t_0}^{t=t_1} x^k(t)) + P_{\text{сыт}} \right)$$

K – количество кормов, включаемых в рацион;

u^k – цена k -го корма ($k \in [1. K]$);

$x^k(t)$ – масса k -го корма в рационе, относящемуся к моменту времени t ;

$P_{\text{сыт}}$ – потери, вызываемые применением рациона, переводящего корову из «голодного» состояния в «сытое».

Временная ось траектории объекта характеризуется двумя точками: t_0 и t_1 . Будем считать, что корова съедает все корма рациона в момент времени t_1 .

3.1. Используя демонстрационную версию программы «КОРАЛЛ – Кормление молочного скота», по характеристикам коровы (исходные данные по вариантам см. в Приложении) определить нормы кормления для сухого вещества и обменной энергии.

3.2. Описать множество начальных допустимых состояний объекта управления M_0 и множество конечных допустимых состояний M_1 .

3.3. Для произвольно выбираемых кормов описать класс допустимых управлений $\mathbf{u}(t)$, записать фазовый вектор объекта $\mathbf{x}(t_0)$ и управление $\mathbf{u}(t_0)$.

3.4. Записать управление $\mathbf{u}(t_1)$ и фазовый вектор объекта $\mathbf{x}(t_1)$.

3.5. Оптимизировать управление.

3.6. Записать значение функционала качества.

3.7. Описать найденное управление $\mathbf{u}^*(t)$ и фазовую траекторию объекта $\mathbf{x}^*(t)$.

Указание: демонстрационную версию программы «КОРАЛЛ – Кормление молочного скота» скачать (или запустить) с сайта www.korall-agro.ru.

4. РАБОТА С ПРОГРАММОЙ

Включите функцию анализа распределения компонентов питания по кормам рациона. Для этого в окне «Настройка программы» щелкните на закладке «Расчет и анализ». В раскрывшемся перечне найдите функцию «Анализ концентрации компонентов питания в кормах». Щелкните на поле

слева от наименования функции. Убедитесь, что в этом поле появилась галочка. Щелкнув на кнопке закрытия окна, закройте окно «Настройка программы».

Далее:

1. Выберите позицию меню «Планирование. Задание рациона вручную». Укажите группу животных, для которой предназначен рацион. Открывается диалоговое окно «Исходные показатели». Заполните поля окна необходимыми данными.

В поле «Код животного (№ группы)» заносится, если требуется, код или номер животного или хозяйственной группы животных. Далее вводятся характеристики животного, его продуктивность и стоимостные показатели - цена продукции, стоимость животного и др.

Показатели продуктивности должны соответствовать тем, которые могут быть получены при полнорационном кормлении (потенциальная продуктивность). Значения стоимостных показателей следует задавать в соответствии с текущими или прогнозируемыми рыночными ценами с коррекцией по налогам и дотациям.

2. Щелкните на экранной кнопке «Задание рациона». Раскрывается диалоговое окно «Задание состава рациона».
3. Щелкните на экранной кнопке «Отменить все корма».
4. С помощью курсора и экранной кнопки "V" пометьте корма, входящие в рацион. (Вместо щелчка на экранной кнопке "V" корма можно помечать нажатием клавиши «Пробел»)
5. Щелкните на закладке «Выбранные». Перемещая курсор по списку выделенных кормов, нажимайте клавишу ввода и в поле «Дача» вводите массу корма в рационе.
6. Убедитесь в правильности задания анализируемого рациона.

7. При необходимости скорректируйте нормы кормления. Для этого:
 - Раскройте окно настройки программы, щелкните на закладке «Перед расчетом» и поставьте галочку перед наименованием функции «Коррекция норм кормления»; закройте окно настройки программы экранной кнопкой, расположенной в нижней правой части окна.
 - Щелкните на экранной кнопке «Нормы» и в появившейся таблице измените нормы кормления (используя клавишу ввода аналогично п. 5).
8. Щелкните последовательно на кнопках «Питательность» и «Диаграмма». По сбалансированности рациона оцените правильность исходных данных. Запомните компоненты питания, имеющие значительные отклонения от норм кормления.
9. Щелкните на кнопке «Компоненты» (при предварительно активизированной функции «Анализ концентрации компонентов питания», см. выше). В раскрывшемся окне «Компоненты питания» установите курсор на наименовании компонента питания, имеющего значительные отклонения от нормы.
10. Щелкните на кнопке «Содержание компонента в кормах» и в раскрывшемся окне щелкните на закладке «в рецепте»; а затем на кнопке «Компонент в рецепте».
11. По появившейся диаграмме оцените причину дисбаланса. Закройте окно с диаграммой.
12. Последовательно закрывая диалоговые окна, вернитесь в окно «Задание состава рациона».
13. Щелкните последовательно на кнопках «Питательность» и «Потери суммарные». Проанализируйте появившуюся на экране диаграмму «Структура потерь по компонентам». Для углубления анализа по конкретным компонентам питания закройте окно с диаграммой и вернитесь в таблицу «Питательность рецепта».

14. Щелкните на закладке «Соотношения». На экране появляется окно с таблицей сбалансированности соотношений.
15. Щелкните на кнопке «Диаграмма» и проанализируйте появившуюся на экране диаграмму «Структура дисбаланса соотношений», а затем проведите анализ потерь по дисбалансу соотношений.
16. Закройте окно «Питательность рецепта».
17. Щелкните на кнопке «Эффективность».
18. В раскрывшемся окне «Эффективность рациона» проанализируйте экономические показатели рациона.
19. Щелкните на кнопке «Структура стоимостных показателей» и на появившейся диаграмме проанализируйте соотношения прибыли, стоимости рациона и потерь, вызываемых дисбалансом. Предельно возможная прибыль – это та теоретическая прибыль, которую можно получить при полностью сбалансированном рационе и бесплатных кормах.
20. Вернитесь в окно с составом рациона и, щелкнув на кнопке «Стоимость», проанализируйте структуру стоимости рациона.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Исходные данные к заданию

Возраст коровы = 5 лет.

Масса коровы = $550 + 5 * V * (-1)^G$, кг.

Потенциальный суточный удой = $10 + V$, кг.

Жирность молока = $4.2 - 0.02 * V * (-1)^G$, %.

Остальные исходные данные задаются самостоятельно.

V – номер варианта, G – номер группы.

**Тема 2. Оценка управляемости
посредством имитационного моделирования**

1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЙ

Закрепление в смысле «Теории оптимального управления» понятий: «*управляемость*», «*фазовая траектория объекта*», «*управление*».

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ

Задача управляемости заключается в установлении следующего факта: существует ли на некотором отрезке времени $[t_0, t_1]$ хотя бы одно такое допустимое управление $u(t)$, что соответствующий этому управлению фазовый вектор $x(t)$ объекта удовлетворяет граничным условиям

$$x(t_0) \in M_0, \quad x(t_1) \in M_1.$$

В задаче управляемости не оценивается качество перехода из M_0 на M_1 .

3. ЗАДАНИЕ

Постановка задачи.

Требуется оценить управляемость откорма поросенка с начальной массой m_0 до массы m_1 за период времени 40 дней (с 61-го по 100-тый день) при кормлении «вволю» и следующих условиях:

- Объектом управления является поросенок, состояние которого характеризуется фазовой переменной «*масса*».
- Вектор управления характеризуется составом кормосмеси, включающей корма:
 1. Ячмень без пленки
 2. Обрат свежий
 3. Отруби пшеничные,

$$u(t) = u^1(t), u^2(t), u^3(t).$$

- $M_0 = \{x(t_0) \mid x = m_0\}$; $M_1 = \{x(t_1) \mid x \geq m_1\}$.
- $U = \{u(t) \mid 0 \leq u^1(t) \leq 65\%, 0 \leq u^2(t) \leq 80\%, 0 \leq u^3(t) \leq 60\%, u^1(t) + u^2(t) + u^3(t) = 100\%\}$.

3.1. Используя демонстрационную версию программы «КОРАЛЛ – Кормление свиней» (позиция меню «Планирование. Планирование кормосмеси. Расчет кормосмеси»), сформировать рецепт кормосмеси для кормления поросенка в течение первых десяти дней, добиваясь максимума прироста за период.

3.2. По каждому дню откорма i определить массу поросенка:

$$m_i = m_{i-1} + \Delta m_{i-1}$$

$$i = 62, 63, \dots, 70;$$

Δm – суточный прирост массы поросенка (определяется в результате анализа);

$$m_{61} = m_0.$$

3.3. Трижды повторить п.п. 3.1, 3.2, начиная управление соответственно с 71-го, 81-го и 91-го дня.

3.4. Оценить управляемость объекта из множества M_0 на множество M_1 .

3.5. Описать управление:

$$u(t) = (u^1(t_{61}), u^2(t_{61}), u^3(t_{61}); \dots; u^1(t_{100}), u^2(t_{100}), u^3(t_{100})).$$

3.6. Описать фазовую траекторию объекта:

$$x(t) = (x^1(t_{61}), x^1(t_{62}), \dots, x^1(t_{100})).$$

3.7. Для управления и фазовой переменной объекта построить графики зависимости от времени.

Указание:

- 1) Демонстрационную версию программы «КОРАЛЛ – Кормление свиней» переписать с сайта www.korall-agro.ru.
- 2) $m_0 = 22 + 0.4 \cdot B$, $m_1 = 31 + 0.5 \cdot B$; (B – вариант).

4. РАБОТА С ПРОГРАММОЙ

1. Выберите позицию меню «Планирование. Планирование кормосмеси. Задание кормосмеси вручную». Укажите группу животных.

Открывается диалоговое окно «Исходные показатели». Заполните поля окна необходимыми данными.

В поле «Код животного (№ группы)» заносится, если требуется, код или номер животного или хозяйственной группы животных.

Далее вводятся характеристики животного, его продуктивность и стоимостные показатели - цена продукции, стоимость животного и др.

Показатели продуктивности должны соответствовать тем, которые могут быть получены при полнорационном кормлении.

Значения стоимостных показателей следует задавать в соответствии с текущими или прогнозируемыми рыночными ценами с коррекцией по налогам и дотациям.

2. Щелкните на экранной кнопке «Задание кормосмеси и ее оценка». Раскрывается диалоговое окно «Задание кормосмеси при кормлении вволю».
3. Щелкните на экранной кнопке «Отмена всех кормов».
4. С помощью курсора и экранной кнопки "V" пометьте корма, входящие в кормосмесь. (Вместо щелчка на кнопке "V" корма можно пометить нажатием клавиши «Пробел»)
5. Установите курсор на первой строке столбца «%».
6. Нажмите клавишу ввода («Enter») и введите процентное содержание корма в кормосмеси. Повторно нажмите клавишу ввода.
7. Поочередно для всех кормов введите их процентное содержание в кормосмеси.
8. Убедитесь в правильности задания анализируемой кормосмеси.
9. Щелкните на кнопке «Рацион». Раскрывается окно «Масса рациона при

кормлении вволю», в котором приводятся рассчитанные значения масс кормов, потребляемых животным в составе кормосмеси в течение суток.

10. В окне «Масса рациона при кормлении вволю» щелкните на кнопке «Эффективность». По значениям показателей в раскрывшемся окне «Эффективность рациона» проведите предварительный анализ кормосмеси. Закройте окно.
11. Щелкните последовательно на кнопках «Питательность» и «Потери по продуктивности». Выпишите наименования компонентов питания, отклонения которых от нормы приводит к наибольшим потерям.
12. Вернитесь в окно «Задание кормосмеси при кормлении вволю» и постарайтесь улучшить состав кормосмеси.
13. Повторяйте п.п. 9 – 12 пока возможно улучшение кормосмеси.

Тема 3. Оптимизация управления выращиванием поросят

1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЙ

Закрепление знаний понятийного аппарата «Теории оптимального управления» и получение практических навыков в оптимизации управления динамическими процессами сельскохозяйственного производства.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ

Задача оптимального управления заключается в нахождении таких допустимого управления $u^*(t)$ и соответствующей ему траектории объекта $x^*(t)$, переводящей объект из множества начальных состояний M_0 на множество конечных состояний M_1 , что при этом функционал качества $J(u(t), x(t))$ принимает минимальное значение, т.е.

$$J(u^*(t), x^*(t)) = \min J(u(t), x(t)).$$

3. ЗАДАНИЕ

Постановка задачи.

Требуется откормить поросенка при кормлении «вволю» с начальной массой m_0 до массы m_1 за период времени 40 дней (с 61-го по 100-тый день) при сохранении его здоровья в заданных пределах и следующих условиях:

- Объектом управления является поросенок, состояние которого характеризуется двумя фазовыми переменными: «масса» и «сохранность здоровья».

Сохранность здоровья измеряется индексом сохранности здоровья (z), который вычисляется по формуле:

$$z_i = 1 - \sum_{j=1}^i P_{цжс j} / (0.1 * C_{жс} * i)$$

z_i - индекс сохранности здоровья в i -тый день откорма;

$P_{цжс j}$ - потери по ценности животного в j -тый день откорма, вызываемые дисбалансом рациона;

i - текущий день откорма;

$C_{жс}$ - продуктивная стоимость животного.

Таким образом, фазовый вектор объекта является двумерным:

$$\mathbf{x}(t) = (x^1(t), x^2(t)); x^1(t) = m(t); x^2(t) = z(t).$$

- В качестве управления выступает кормосмесь из трех произвольно выбираемых кормов, состав которой может меняться каждые 10 дней.
- За функционал качества принимается стоимость кормов, расходуемых на одного поросёнка за период откорма:

$$J(\mathbf{u}^*(t), \mathbf{x}^*(t)) = \min \sum_{j=1}^{40} C_{рац j},$$

$C_{рац j}$ - стоимость рациона в j -тый день откорма.

- $M_0 = \{ \mathbf{x}(t_0) \mid x^1 = m_0, x^2 = 1 \}$.
- $M_1 = \{ \mathbf{x}(t_1) \mid x^1 \in [m_1, m_1+2]; x^2 \in [0.5, 1] \}$.

3.1. Описать класс допустимых управлений.

3.2. В фазовой плоскости объекта графически выделить множества M_0 и M_1 (Фазовой плоскостью объекта является плоскость с осями координат x^1 , x^2).

3.3. Используя демонстрационную версию программы «КОРАЛЛ – Кормление свиней», сформировать 4 рецепта кормосмесей для кормления поросенка по каждому из рецептов в течение десяти дней.

3.4. Выполнить оптимизацию управления в соответствии с поставленной задачей.

3.5. Записать значение функционала качества.

3.6. Построить график изменения функционала качества во времени.

3.7. Описать найденное управление:

$$\mathbf{u}^*(t) = (\mathbf{u}(t_{61}), \mathbf{u}(t_{62}), \dots, \mathbf{u}(t_{100})).$$

3.8. Описать фазовую траекторию объекта:

$$\mathbf{x}^*(t) = (x^1(t_{61}), x^2(t_{61}); x^1(t_{62}), x^2(t_{62}); \dots, x^1(t_{100}), x^2(t_{100})).$$

3.9. Отобразить траекторию объекта на фазовой плоскости.

3.10. Построить графики $x^1(t)$ и $x^2(t)$.

Указание:

1) Демонстрационную версию программы «КОРАЛЛ – Кормление свиней» переписать с сайта www.korall-agro.ru.

2) $m_0 = 22 + 0.15 \cdot B$; $m_1 = 30 + 0.2 \cdot B$

(B – вариант).

Тема 4. Линейная задача быстрогодействия в приложении к откорму животных

1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЙ

Получение практических навыков в формализации задач оптимального управления динамическими процессами сельскохозяйственного производства и поиске оптимальных решений; закрепление знаний понятийного аппарата «Теории оптимального управления».

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ

Линейная задача быстрогодействия является простейшей задачей оптимального управления. Динамика объекта в этой задаче описывается системой линейных дифференциальных уравнений

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{u}, \quad (1)$$

где \mathbf{x} – n -мерный вектор фазового состояния объекта;

\mathbf{u} – n -мерный вектор управления, на который наложено ограничение $\mathbf{u}(t) \in U$;

\mathbf{A} – постоянная матрица размером $n \times n$.

Зная некоторую допустимую функцию управления $\mathbf{u}(t)$ и начальное состояние объекта $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0$, можно получить единственную функцию $\mathbf{x}(t)$ вектора фазового состояния объекта как решение системы дифференциальных уравнений (1).

Начальное и конечное состояния объекта выбираются как элементы подмножеств M_0 и M_1 соответственно из n -мерного фазового пространства.

Критерием качества служит время перехода из множества M_0 на множество M_1 , т.е.

$$J(\mathbf{u}(t), \mathbf{x}(t)) = t_1 - t_0.$$

Таким образом, *линейная задача быстрогодействия* заключается в нахождении допустимого управления $\mathbf{u}^*(t)$ и соответствующего ему решения $\mathbf{x}^*(t)$ уравнения (1), переводящего объект из множества начальных состояний M_0 на множество конечных состояний M_1 за минимальное время.

Постановка задачи.

Требуется откормить свинью с начальной массой $m_{\text{нач}}$ до конечной массы ($m_{\text{кон}} \pm 1$) за минимальное количество дней при следующих условиях:

- Объектом управления является свинья, состояние которой характеризуется двумя фазовыми переменными: «масса» и «суточный прирост массы».
- Потенциальный суточный прирост массы $\Delta m_{\text{пот}}$ определяется выражением:

$$\Delta m_{\text{пот}} = 10 * m, \text{ (г/сут)},$$

где m – текущая масса свиньи, кг.

- Величина суточного прироста массы на начало рассматриваемого периода откорма может находиться в интервале $[300, \Delta m_{\text{пот нач}}]$ г/сут;

$$\Delta m_{\text{пот нач}} = 10 * m_{\text{нач}}, \text{ (г/сут)}$$

- Для обеспечения высокого качества мяса прирост массы в конце откорма должен находиться в интервале $[300, 400]$ г/сут.
- Увеличение / уменьшение прироста регулируется изменением сбалансированности рациона. Сбалансированность рациона может изменяться в пределах от 40 до 100%. Изменение сбалансированности в очередной день откорма не может отличаться более чем на 10% от сбалансированности рациона предыдущего дня.

$$m_{\text{нач}} = 60 + 0.15 * B; \quad m_{\text{кон}} = 80 + 0.2 * B; \quad (B - \text{номер варианта}).$$

3. ЗАДАНИЕ

3.1. Привести задачу к стандартному виду теории оптимального управления:

- Задать фазовые переменные;
- Задать переменные управления;
- Описать класс допустимых управлений;
- Описать множества начальных и конечных состояний объекта управления;
- Записать функционал качества управления.

3.2. В фазовой плоскости объекта графически выделить множества M_0 и M_1 .

3.3. Найти решение задачи методом имитационного моделирования, используя демонстрационную версию программы «КОРАЛЛ – Кормление свиней».

- 3.4. Записать значение функционала качества.
- 3.5. Отобразить траекторию объекта на фазовой плоскости.
- 3.6. Построить график траектории управления.
- 3.7. Построить графики $x^1(t)$ и $x^2(t)$.

Указание:

Демонстрационную версию программы «КОРАЛЛ – Кормление свиней» переписать с сайта www.korall-agro.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благодатских В.И. Введение в оптимальное управление. – М.: Высш. шк., 2001
2. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005
3. Лукьянов Б.В., Лукьянов П.Б. КОРАЛЛ – Комплексная оптимизация рационов, комбикормов, премиксов. Руководство Пользователя, 2010 (файл «рацион.doc»)
4. Лукьянов Б.В., Лукьянов П.Б. Новая информационная технология оптимизации рационов для сельскохозяйственных животных (Компьютерные программы «КОРАЛЛ»): Учебно-методическое пособие – М.: Изд-во РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009
5. Методы оптимизации // www.bigor.bmstu.ru