

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.И. Чуприс

«15» 2018 г.

Регистрационный № УД-5391/уч.

УПРАВЛЕНИЕ ПО ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛИ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 03 03 Прикладная математика (по направлениям)
направление специальности

1-31 03 03-01 Прикладная математика (научно производственная
деятельность)

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-31 03 03-2013 и учебных планов УВО №G31-173/уч. от 30.05.2013., №G31и-190/уч. от 30.05.2013.

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.М. Дмитрук, зав. кафедрой методов оптимального управления факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

Иванин А.П., ассистент кафедры методов оптимального управления Белорусского государственного университета;

Костюкевич Д.А., ассистент кафедры методов оптимального управления Белорусского государственного университета.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНОЙ:

Кафедрой методов оптимального управления Белорусского государственного университета

(протокол № 9 от 24 апреля 2018 г.)

Учебно-методической комиссией факультета прикладной математики и информатики

(протокол № 5 от 03.05.2018 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Управление по прогнозирующей модели» разработана в соответствии с учебными планами и образовательным стандартом высшего образования первой ступени по специальности: 1-31 03 03 «Прикладная математика (по направлениям)».

Учебная дисциплина «Управление по прогнозирующей модели» знакомит студентов с современными методами теории управления, в частности с чрезвычайно популярным в приложениях методом управления по прогнозирующей модели – Model Predictive Control (MPC). MPC – технология управления, основанная на решении в реальном времени последовательности специально сформулированных (прогнозирующих) задач оптимального управления с конечным горизонтом, в результате которого формируется реализация управления типа обратной связи, обеспечивающая различные полезные свойства замкнутой системы (асимптотическая устойчивость, робастность, оптимальность и др.) в зависимости от вида критерия качества и ограничений прогнозирующей задачи. Популярность MPC как среди исследователей, так и среди практиков обусловлена возможностью учитывать ограничения на движение объекта и управляющие воздействия, требования к качеству процесса управления, применимостью к нелинейным, многосвязным, мультиагентным системам.

Учебная дисциплина «Управление по прогнозирующей модели» относится к циклу дисциплин специализации.

Основой для изучения учебной дисциплины являются дисциплина государственного компонента первой ступени высшего образования «Методы оптимизации» и дисциплины специализации «Качественная теория оптимального управления», «Конструктивная теория оптимального управления и наблюдения», «Теория устойчивости динамических систем».

Цель преподавания учебной дисциплины «Управление по прогнозирующей модели» – познакомить студентов с теорией и алгоритмами управления по прогнозирующей модели, сформировать у них навыки решения практических задач. При изложении материала учебной дисциплины важно показать широкий спектр применения MPC в приложениях, а также познакомить их с разнообразными актуальными направлениями исследований в рамках этой теории.

Основные задачи, решаемые при изучении учебной дисциплины «Управление по прогнозирующей модели»:

- освоение базовых понятий, концепций, алгоритмов управления по прогнозирующей модели;
- формирование представлений об эффективных методах решения и навыков обоснованного выбора наиболее подходящего алгоритма, учитывающего особенности предлагаемых задач;
- практическое освоение программных средств для реализации изученных алгоритмов.

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- основные задачи теории управления;
- теоретические результаты MPC: условия, обеспечивающие асимптотическую устойчивость замкнутой системы, выполнение ограничений и рекуррентную разрешимость прогнозирующих задач; оценки экономических критериев качества в теории экономического MPC; принципы построения робастных схем;
- основные алгоритмы MPC в применении к задачам стабилизации и слежения, управления группами систем, управления экономическими процессами;

уметь:

- обосновывать выбор алгоритма управления в конкретной задаче, настраивать параметры схемы MPC;
- применять методы MPC на практике и анализировать полученные результаты;

владеть:

- техникой доказательства основных теоретических результатов управления по прогнозирующей модели;
- средствами и инструментами Matlab, YALMIP, CasADi для реализации схем MPC, моделирования и решения прикладных задач теории управления.

Требования к академическим компетенциям специалиста

Специалист должен:

- Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- Владеть системным и сравнительным анализом.
- Владеть исследовательскими навыками.
- Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Требования к социально-личностным компетенциям специалиста

Специалист должен:

- быть способным к критике и самокритике (критическое мышление);
- уметь работать в команде.

Требования к профессиональным компетенциям специалиста

Специалист должен быть способен:

- Работать с научно-технической, нормативно-справочной и специальной литературой.
- Профессионально ставить задачи, выработать идеи и принимать решения.

- Разрабатывать, эксплуатировать и сопровождать соответствующие программные компьютерные системы.
- Разрабатывать новые информационные технологии на основе математического моделирования и оптимизации.
- Взаимодействовать со специалистами смежных профессий.
- Владеть методами оптимизации и оптимального управления экономических систем.
- Анализировать варианты и находить оптимальные проектные решения.

Организационно-управленческая деятельность

- Владеть современными средствами телекоммуникаций.
- Следовать профессиональным этическим нормам и правилам.
- Учитывать индивидуально-психологические и личностные особенности людей разных возрастов, стилей их жизнедеятельности, познавательной и профессиональной деятельности.

Дисциплина изучается в седьмом семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Управление по прогнозирующей модели» отведено 159 часов, в том числе 68 аудиторных часа, из них: лекции – 34 часа, лабораторные – 30 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 4 зачетные единицы.
Форма текущей аттестации – зачет и экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение. Введение в курс. Цели и задачи курса. Основные задачи теории управления. Принцип управления по прогнозирующей модели.

Тема 2. Обзор результатов теории устойчивости и стабилизации. Понятия устойчивости, асимптотической устойчивости. Понятие знакоопределенной, знакопостоянной и знакопеременной функции. Функции Ляпунова, теоремы Ляпунова об устойчивости. Теорема Барбашина-Красовского. Устойчивость по первому приближению. Постановка задачи стабилизации и оптимальной стабилизации. Применение второго метода Ляпунова для оптимальной стабилизации.

Тема 3. Обзор результатов теории оптимального управления. Основные сведения из теории оптимального управления: постановки задач, основные понятия и результаты. Принцип максимума и динамическое программирование. Оптимальная программа и оптимальная обратная связь. Задачи оптимального управления на бесконечном полуинтервале времени. Численные методы решения нелинейных задач оптимального управления.

Тема 4. Основные положения МРС. Прогнозирующая модель. Ограничения. Критерий качества. Базовая формулировка прогнозирующей задачи оптимального управления с конечным горизонтом. Базовый алгоритм МРС.

Тема 5. Управление по прогнозирующей модели в задачах стабилизации. Решение на основе динамического программирования. Первая схема МРС: линейные системы, терминальные ограничения-равенства. Классическая схема для нелинейных объектов. Правила выбора терминальных ингредиентов: целевого множества и терминального слагаемого в критерии качества. Монотонность функции цены. Анализ асимптотической устойчивости, субоптимальности, робастности замкнутой системы. Практическая устойчивость. Схемы без стабилизирующего терминального ограничения.

Тема 6. Робастное управление по прогнозирующей модели. Задачи управления в условиях неопределенности. Типы неопределенности. Задачи построения оптимальной программы и оптимальной стратегии управления. Min-max МРС. Робастные постановки задач оптимального управления: параметризация стратегий управления, динамическое программирование, коррекция движений. Tube-based МРС. Явные схемы.

Тема 7. Экономическое МРС. Обоснование экономического подхода в теории управления по прогнозирующей модели, основные отличия и трудности в сравнении с классической схемой. Анализ усредненного критерия качества процесса, связь с диссипативностью. Условия асимптотической устойчивости.

Тема 8. Применение МРС в задачах управления группами объектов. Задачи управления группами динамических систем, мультиагентные системы. Централизованное, децентрализованное, кооперативное управление. Новые постановки задач: консенсус, синхронизация. Групповые

цели. Локальные задачи оптимального управления. Схемы распределенного МРС и анализ поведения замкнутой системы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество часов				Количество часов УСП	Форма контроля знаний
		Аудиторные					
		Лекции	Практ. И сем. Занятия	Лаб. Занятия	Иное		
1.	Введение	1					
2.	Обзор результатов теории устойчивости и стабилизации	3					
3.	Обзор результатов теории оптимального управления	4					
3.1.	Численные методы решения задач оптимального управления			4			
4.	Основные положения MPC	4					
5.	Управление по прогнозирующей модели в задачах стабилизации	4					Коллоквиум
5.1.	Основные алгоритмы MPC	4					Опрос
5.2.	Программная реализация простейшего алгоритма			4			Отчет по лаб. работе
5.3.	Реализация алгоритма квази-бесконечного MPC			6			Отчет по лаб. работе
5.4.	Контрольная работа					2	Контр. раб.
6.	Робастное управление по прогнозирующей модели	2					
6.1.	Явные схемы MPC. Tube-based MPC	4					Опрос
6.2.	Программная реализация алгоритмов робастного MPC			6			Отчет по лаб. работе
7.	Экономическое MPC	4					Коллоквиум
7.1.	Решение задач экономического роста с помощью MPC			4			Отчет по лаб. работе
8.	Применение MPC в задачах управления группами объектов	4					Опрос
8.1.	Задачи консенсуса и синхронизации			6			Отчет по лаб. работе
8.2.	Исследовательский проект					2	Презентации по групп. заданиям
ИТОГО		34		30		4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Grüne L. Nonlinear model predictive control / L. Grüne, J. Pannek. – Springer London, 2011.
2. Rawlings, J.B. Model Predictive Control: Theory and Design / J.B. Rawlings, D.Q. Mayne. – Madison: Nob Hill Publishing, 2009. – 576 p.

Дополнительная

1. Fontes, F.A.C.C. A general framework to design stabilizing nonlinear model predictive controllers / F.A.C.C. Fontes // Systems & Control Letters. – 2001. – Vol. 42, no. 2. – P. 127–143.
2. Ellis, M. A tutorial review of economic model predictive control methods / M. Ellis, H. Durand, P.D. Christofides // Journal of Process Control. – 2014. – Vol. 24, no. 8. – P. 1156–1178.
3. Distributed model predictive control: A tutorial review and future research directions / P.D. Christofides [et. al] // Computers & Chemical Eng. – 2013. – Vol. 51. – P. 21–41.
4. Angeli, D. On average performance and stability of economic model predictive control / D. Angeli, R. Amrit, J.B. Rawlings. // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2012. – Vol. 57, no. 7. – P. 1615–1626.

Перечень используемых средств диагностики по учебной дисциплине «Управление по прогнозирующей модели»

Для диагностики компетенций в рамках учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы:

1. Устная форма: опросы, выступления с презентацией по групповым заданиям;
2. Письменная форма: коллоквиум, отчеты по лабораторным работам, отчет о научно-исследовательском проекте.

Примерный перечень заданий управляемой самостоятельной работы студентов

УСР проводится в форме контрольной работы и отчета с презентацией по исследовательскому проекту по темам:

Тема 1. «МРС-регуляторы для стабилизации динамических систем» (контрольная работа).

Задание 1. Найти параметры МРС-регулятора, обеспечивающего асимптотическую устойчивость замкнутой нелинейной системы (по вариантам индивидуальных заданий).

Задание 2. Предложить алгоритм МРС и доказать асимптотическую устойчивость замкнутой системы в предложенной задаче управления.

Тема 2. «Приложения МРС» (исследовательский проект).

Задание 1. Применение экономической версии МРС в задачах управления химическими реакторами.

Задание 2. Распределенные схемы для управления системами мобильных роботов.

Задание 3. Встроенная оптимизация для реализации алгоритмов нелинейного МРС.

Задание 4. МРС в задачах с неполными и неточными измерениями.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положение о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 № 382-ОД);
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2003 г.).

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название Кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Асимптотические методы оптимального управления	Методов оптимального управления	Предложений нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения, протокол № 9 от 24.04.2018 г

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ

на ____ / ____ учебный год

№№ Пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
методов оптимального управления (протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой

к.ф.-м.н., доцент _____

Н.М.Дмитрук

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

к.ф.-м.н., доцент _____

П.А. Мандрик