

## **Билеты к ГКЭ: специализация «Управление динамическими системами»**

1. Понятие динамической системы. Пространство состояний. Фазовый портрет. Классификация траекторий системы по типу их предельных множеств. Притягивающие множества. Аттракторы.
2. Линейные системы с периодическими коэффициентами. Теорема Флоке-Ляпунова. Показатели Флоке. Матрица монодромии. Мультипликаторы Флоке. Устойчивость периодических решений.
3. Гиперболические неподвижные точки динамических систем и инвариантные многообразия в их окрестности. Теорема об устойчивом многообразии. Теорема Гробмана-Хартмана.
4. Негиперболические неподвижные точки динамических систем и инвариантные многообразия в их окрестности. Теорема о центральном многообразии. Редукция на центральное многообразие.
5. Интегрируемые гамильтоновы системы. Теорема Лиувилля-Арнольда. Переменные действие-угол. Теорема об усреднении квазипериодических движений на нерезонансном торе.
6. Теорема об усреднении в одночастотных системах. Асимптотические разложения. Методы нерезонансной теории возмущений: метод Крылова-Боголюбова, метод Линдштедта-Пуанкаре.
7. Описание линейных систем управления в пространстве состояний и с помощью соотношений вход-выход. Преобразование Лапласа. Передаточные функции звеньев и их типовые соединения.
8. Программное управление и управление с отрицательной обратной связью. Управляемость и наблюдаемость систем управления. Ранговые критерии управляемости и наблюдаемости.
9. Среднеквадратичная фильтрация ошибок измерений. Метод наименьших квадратов. Фильтр Калмана. Методы нелинейной фильтрации. Расширенный и сигма-точечный фильтры Калмана.
10. Классификации типов машинного обучения. Аспекты обучения моделей (на примере задачи регрессии): переобучение, недообучение, кривые обучения, регуляризация.
11. Искусственные нейронные сети. Многослойные сети персептронов. Сети радиально базисных функций. Машины с экстремальным обучением.
12. Регуляризация и стабилизация уравнений орбитального движения. Преобразования Сундмана, Шперлинга-Бюрде и Кустаанхеймо-Штифеля. Равноденственные орбитальные элементы.
13. Эволюция орбиты искусственного спутника под влиянием нецентральности гравитационного поля и сопротивления атмосферы. Солнечно-синхронные орбиты, орбита типа «Молния».
14. Необходимые условия оптимальности манёвров с конечной тягой по времени перелёта и по затраченному топливу. Понятие характеристической скорости ( $\Delta V$ ). Функция переключения.
15. Понятие базис-вектора Лоудена. Необходимые условия оптимальности импульсных манёвров. Гомановский перелёт и биэллиптический перелёт. Манёвр поворота плоскости орбиты.
16. Модель сопряжённых конических сечений. Разные способы определения сферы влияния: сфера действия, сфера тяготения, сфера Хилла. Гравитационный манёвр и его параметры.  $V_\infty$ -сфера.

17. Точки либрации круговой ограниченной задачи трёх тел, их (не)устойчивость. Ограниченные орбиты вокруг коллинеарных точек либрации, их (не)устойчивые инвариантные многообразия.
18. Линеаризованные уравнения относительного движения Хилла-Клоэсси-Уилтшира и Лоудена-Шонера-Хемпеля. Условия отсутствия векового дрейфа. Влияние второй зональной гармоники.
19. Гравитационный момент. Положения равновесия спутника относительно орбитальной системы координат при движении по круговой орбите, достаточные условия их устойчивости.
20. Вращательное движение динамически симметричного спутника. Положения равновесия его оси динамической симметрии в орбитальной системе координат при движении по круговой орбите.
21. Модели магнитного поля. Принцип работы и состав пассивных и активных магнитных систем управления ориентацией. Уравнения углового движения. Алгоритм стабилизации –Vdot.
22. Гироскопические системы управления ориентацией, их состав. Уравнения углового движения. Насыщение маховиков. Сингулярные положения гиродинов, нуль-движение для их обхода.
23. Алгоритмы управления ориентацией спутника на основе прямого метода Ляпунова: трёхосная и одноосная стабилизация опорного движения, заданного в инерциальных или орбитальных осях.

## Справочная литература

1. Perko, L. Differential Equations and Dynamical Systems. 3rd ed. — Texts in Applied Mathematics, Springer-Verlag, New York, 2001. — 555 p.
2. Verhulst, F. Nonlinear Differential Equations and Dynamical Systems. 2nd, revised and expanded ed. — Universitext, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1996. — 306 p.
3. Юмагулов М.Г. Введение в теорию динамических систем: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2015. — 272 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).
4. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. Изд. 5-е, стер. — М.: УРСС, 2003. — 416 с.  
Книга доступна по ссылке [http://inis.jinr.ru/sl/vol2/Physics/Classic\\_Mechanics/Арнольд\\_В.И.\\_Матем.методы\\_классической\\_механики,\\_1989.pdf](http://inis.jinr.ru/sl/vol2/Physics/Classic_Mechanics/Арнольд_В.И._Матем.методы_классической_механики,_1989.pdf)
5. Meyer, K.R., Hall, G.R., Offin, D. Introduction to Hamiltonian Dynamical Systems and the N-Body Problem. — Springer Science+Business Media, 2009. — 399 p.
6. Nayfeh, A.H. Perturbation Methods. — Wiley-VCH, 2000. — 437 p.  
Книга доступна по ссылке [http://www.iust.ac.ir/files/fnst/ssadeghzadeh\\_52bb7/perturbation.pdf](http://www.iust.ac.ir/files/fnst/ssadeghzadeh_52bb7/perturbation.pdf)
7. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. — М.: Наука, 1986. — 616 с.
8. Hespanha, J.P. Linear Systems Theory. — Princeton University Press, Princeton, 2009. — 280 p.
9. Митришкин Ю.В. Математические модели линейных объектов управления. — М.: МФТИ, 2014. — 280 с.

10. Платонов А.К., Иванов Д.С. Методы обработки измерений: Учебное пособие. — М.: МФТИ, 2013. — 107 с.  
Пособие доступно по ссылке [https://www.keldysh.ru/microsatellites/Measurement\\_processing\\_methods.pdf](https://www.keldysh.ru/microsatellites/Measurement_processing_methods.pdf)
11. Уиттекер Э., Робинсон Г. Математическая обработка результатов наблюдений. Изд. 2-е. — М.: ОНТИ, 1935. — 368 с.
12. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. Изд. 2-е. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2009. — 359 с.
13. Иванов Д.С., Трофимов С.П., Ширококов М.Г. Численное моделирование орбитального и углового движения космических аппаратов: Учебное пособие. Под общ. ред. М.Ю. Овчинникова. — М: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2016. — 118 с.  
Пособие доступно по ссылке <http://keldysh.ru/e-biblio/trofimov/>
14. Ильин В.А., Кузмак Г.Е. Оптимальные перелёты космических аппаратов. — М.: Наука, 1976. — 744 с.
15. Spacecraft Trajectory Optimization. Ed. by Bruce Conway. — Cambridge Aerospace Series, Cambridge University Press, 2010. — 312 p.
16. Koon, W.S., Lo, M., Marsden, J., Ross, S. Dynamical Systems: The Three-Body Problem and Space Mission Design. — Springer-Verlag New York, 2007. — 335 p.  
Книга доступна по ссылке [http://www.cds.caltech.edu/~koon/book/KoLoMaRo\\_DMissionBk.pdf](http://www.cds.caltech.edu/~koon/book/KoLoMaRo_DMissionBk.pdf)
17. Alfriend, K.T., Vadali, S.R., Gurfil, P., How, J., Breger, L. Spacecraft Formation Flying. Dynamics, Control and Navigation. — Elsevier Astrodynamics Series, Butterworth-Heinemann, 2009. — 402 p.
18. Белецкий В.В. Движение искусственного спутника относительно центра масс в гравитационном поле. — М.: Изд-во МГУ, 1975. — 308 с.
19. Sidi, M.J. Spacecraft Dynamics and Control. — Cambridge University Press, 2002. — 409 p.
20. Овчинников М.Ю. Введение в динамику космического полета: учебное пособие. — М.: МФТИ, 2016. — 208 с.
21. Vallado, D.A. Fundamentals of Astrodynamics and Applications. — Microcosm Press and Kluwer Academic Publishers, 2001. — 958 p.
22. Hughes, P.C. Spacecraft Attitude Dynamics. — John Wiley & Sons, New York, 1986. — 564 p.
23. Овчинников М.Ю., Пеньков В.И., Ролдугин Д.С., Иванов Д.С. Магнитные системы ориентации малых спутников. — М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2016. — 365 с.  
Пособие доступно по ссылке <http://keldysh.ru/e-biblio/ovchinnikov/>
24. Белецкий В.В., Яншин А.М. Влияние аэродинамических сил на вращательное движение искусственных спутников. — Киев: Наукова думка, 1984. — 188 с.