

Министерство образования и науки Пермского края
Государственное бюджетное образовательное учреждение
«Академия первых»

ПРИНЯТА
педагогическим советом
ГБОУ «Академия первых»
Протокол от 14.02.2024 № 1

СОГЛАСОВАНО
на заседании экспертного совета
ГБОУ «Академия первых»
Протокол от 15.12.2023 № 1

УТВЕРЖДЕНА
приказом директора
ГБОУ «Академия первых»
от 14.02.2024 № 21

Трясцина Ю.В.

М.П.



ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБЩЕРАЗВИВАЮЩАЯ ПРОГРАММА

«Основы ракетостроения»

Возраст обучающихся: 15-17 лет (10 – 11 класс)

Срок реализации программы: 30 часов

Составители программы – сотрудники кафедры
«Ракетно-космическая техника и энергетические
системы»

ФГАОУ ВО «Пермского национального
исследовательского политехнического
университета»:

Бульбович Роман Васильевич,
д-р техн. наук, профессор;

Павлоградский Виктор Васильевич,
канд. техн. наук, доцент.

Пермь
2024

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Направленность (профиль) программы: настоящая дополнительная общеразвивающая программа «**Основы ракетостроения**» имеет научно-техническую направленность и относится к базовому уровню реализации. Предметная область программы – состояние и проблемы развития ракетно-космической техники на базе анализа научных основ ракетодинамики.

Актуальность программы: гордостью Пермского края являются предприятия ракетно-космической, авиационной и оборонных отраслей народного хозяйства. В большей степени кадровый потенциал этих отраслей пополняется за счёт выпускников школ Пермского края, получивших средне-специальное и высшее техническое образование в регионе. Задача закрепления учащихся на территории Пермского края является одной из приоритетных стратегических задач для обеспечения высокого уровня решения научно-технических, конструкторско-технологических и производственных задач. Для создания объективных условий выбора учащимися направления будущей профессиональной деятельности для дальнейшей эффективной реализации своего творческого потенциала необходимо на патриотической основе раскрывать аспекты профессиональной деятельности, представляющие стратегический интерес для Пермского края. Знания, полученные учащимися на базе научных основ ракетодинамики (реактивный принцип движения, газогидродинамика, аэродинамика, динамика полёта, основы проектирования и конструкция летательных аппаратов и др.), являются фундаментальными для общей технической культуры будущего инженера.

Отличительные особенности программы: программа «Основы ракетостроения» рассчитана на интенсивный краткосрочный курс обучения. Учащиеся в историческом аспекте познакомятся с достижениями российской космонавтики и теми задачами освоения космического пространства, которые предстоит решить; с принципами, конструктивными решениями и проблемами создания химических ракетных двигателей (твёрдотопливными

(РДТТ) и жидкостными (ЖРД)), с задачами, решаемыми аэродинамикой и динамикой полета летательного аппарата. Изучение программы сопровождается проведением экскурсии по «Лаборатории ракетных двигателей и ракет», в которой экспонируются образцы техники, созданные, в том числе, в разные годы и на предприятиях Пермского края.

В рамках практических занятий учащиеся приобретут навыки выбора проектных параметров многоступенчатой баллистической ракеты и расчёта внутрибаллистических характеристик РДТТ, познакомятся с разработкой программы численного исследования траектории движения одноступенчатой ракеты, решат поставленные исследовательские задачи с использованием освоенных программных продуктов.

Целью реализации настоящей дополнительной общеразвивающей программы является приобретение обучающимися знаний в области ракетодинамики, ознакомление с классификацией, областью применения, схемными решениями ракетных двигателей различного типа, состоянием и проблемами развития ракетно-космической техники на базе анализа научных основ ракетодинамики. Формирование навыков решения проектных задач (выбор проектных параметров многоступенчатой баллистической ракеты и расчёт внутрибаллистических характеристик РДТТ), разработки программы и проведения численного исследования (расчёт траектории движения одноступенчатой ракеты), решения поставленных исследовательских задач.

Задачи реализации программы разделяются в соответствии с кругом решаемых вопросов.

Обучающие задачи:

- познакомить обучающихся с основами ракетодинамики, схемными решениями ракетных двигателей различного типа, состоянием и проблемами развития ракетно-космической техники;
- познакомить обучающихся с научно-исследовательским аппаратом ракетодинамики;

- научить принципам решения проектных и исследовательских задач (выбор проектных параметров многоступенчатой баллистической ракеты и расчёт внутриваллистических характеристик РДТТ);

- научить процессу алгоритмизации постановки и решения технической задачи (на примере численного расчёта траектории движения одноступенчатой ракеты);

- научить элементам планирования, проведения исследования и анализа полученных результатов;

- создать условия для личностного развития обучающихся.

Развивающие задачи:

- удовлетворить индивидуальные потребности обучающихся в интеллектуальном развитии за счёт создания творческой обстановки при решении проблемных ситуаций;

- выявить и сформировать умение мыслить логически и принимать компромисные технические решения;

- обеспечить необходимый уровень подготовки обучающихся для проведения программирования и использования имеющихся программных продуктов;

- выявить и поддержать талантливых обучающихся.

Воспитательные задачи:

- обеспечить возможности духовно-нравственного воспитания обучающихся на основе патриотических достижений советской и российской ракетодинамики;

- помочь в позитивной социализации и профессиональном самоопределении обучающихся на основе предоставления информации о приоритетных стратегических задачах, решаемых предприятиями Пермского края.

Адресат программы: программа предназначена для детей 15-17 лет, обучающихся в 10-11 классах общеобразовательных организаций, которые

уже освоили начальный курс физики, информатики и математики. Основой будет умение понимать физические процессы, умение хорошо считать в рамках школьного курса математики. Набор на обучение осуществляется на основании результатов конкурсного отбора на обучение, позволяющего оценить уровень готовности ребенка к обучению. Материалы и критерии конкурсного отбора разрабатываются и формируются Экспертным советом ГБОУ «Академия первых» (Приложение 1).

Срок реализации программы: 30 академических часов.

Форма обучения: настоящая программа предполагает очное обучение.

Формы и режим занятий: групповые занятия проводятся в формате лекций, практических занятий (разбор и решение задач).

Режим занятий: программа реализуется в течение одной учебной недели в соответствии с календарным графиком учреждения, в один учебный день – 6 академических часов занятий (за исключением воскресенья).

Ожидаемые результаты обучения и способы определения их результативности:

В результате освоения дополнительной общеразвивающей программы учащийся должен знать:

- основные понятия и перспективы развития ракетодинамики и космических исследований;
- основные типы и схемные решения химических (РДТТ, ЖРД), области их применения, их преимущества, недостатки и области применения;
- задачи, решаемые аэродинамикой и динамикой полёта летательных аппаратов;
- классификацию траекторий движения космического летательного аппарата;
- методику выбора проектных параметров многоступенчатой баллистической ракеты и расчёта внутрибаллистических характеристик РДТТ;
- технические параметры, характеризующие совершенство РДТТ, и их достигнутый уровень в России и за рубежом;

- этапы алгоритмизации и составления программы вычислений;
- методику проведения численного исследования траектории движения одноступенчатой ракеты на основе метода Рунге-Кутты;
- экологические проблемы ракетодинамики;
- достижения проектных и производственных предприятий Пермского края в области ракетодинамики.

В результате освоения дополнительной общеразвивающей программы обучающийся **должен уметь:**

- выбирать проектные параметров многоступенчатой баллистической ракеты на основе использования программы «RBX-AI» (разработка кафедры РКТЭС ПНИПУ);
- рассчитывать внутрибаллистические характеристики РДТТ;
- обосновывать преимущества и недостатки различных ракетных двигателей и области их применения;
- оценивать сходимость численной процедуры интегрирования.

В результате освоения дополнительной общеразвивающей программы обучающийся **должен владеть:**

- основными навыками работы по составлению вычислительных программ в интегрированной среде программирования;
- численными методами интегрирования системы дифференциальных уравнений на основе метода Рунге-Кутты.

Ожидаемый результат по обучающему компоненту программы:

Обучающийся овладеет навыками логического и критического мышления, решения задач по обсуждаемым темам.

Ожидаемый результат по развивающему компоненту программы:

Обучающийся продемонстрирует способности к самостоятельному поиску решения проблемных заданий, творческому поиску; научится точнее формулировать свои идеи; получит поддержку в развитии своего таланта.

Ожидаемый результат по воспитательному компоненту программы:

Обучающийся осознает, что самостоятельность в решении задач является основным фактором развития и будет негативно относиться ко всем вариантам заимствования решений.

Способы определения результативности:

- педагогическое наблюдение;
- изучение активности обучающихся на занятиях;
- проверка задач, решенных самостоятельно;
- ведение рейтинга обучающихся;
- ведение журнала учета.

Формы подведения итогов реализации программы. Промежуточный мониторинг знаний осуществляется при проведении коллоквиумов, а также выполнением учащимися отчётов о порученных исследовательских работах. Итоговый мониторинг осуществляется в виде презентации результатов выполненных исследований.

2. УЧЕБНЫЙ ПЛАН

дополнительной общеразвивающей программы

«Основы ракетостроения»

№	Название раздела, темы	Количество часов			Форма аттестации / контроля
		Всего	Теория	Практика	
1	Основы ракетодинамики. Ракетные двигатели жидкого топлива.	6	2	4	Задачи, тест
2	Ракетные двигатели твердого топлива. Методика выбора проектных параметров РДТТ	6	2	4	Отчёт по исследовательской работе
3	Расчёт внутрибаллистических характеристик РДТТ.	6	2	4	Отчёт по работе
4	Аэродинамика. Динамика полёта. Расчёт траектории полёта.	6	2	4	Тест, отчёт по работе, сочинение
5	Итоговое занятие: презентация результатов исследовательских работ.	6	–	6	Защита презентации
	Итого	30	8	22	

3. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Тема 1. Основы ракетодинамики. Ракетные двигатели жидкого топлива (6 часов).

Теория: Классификация и области применения ракетных двигателей. Уравнение И.М. Мещерского, формула К.Э. Циолковского. Конечная скорость, дальности полёта ракеты.

Энергетические характеристики твёрдых и жидких ракетных топлив. Требования к ракетным топливам.

Область использования ЖРД, их преимущества и недостатки. Различные схемы ЖРД. Стехиометрическое соотношение компонентов, коэффициент избытка окислителя.

Процессы в камере сгорания ЖРД. Способы и схемы охлаждения стенок камер сгорания ЖРД. Форсунки ЖРД. Турбонасосный агрегат.

Практика: Решение задач по основам ракетодинамики. Проведение тестирования знаний. Пример тестовых вопросов приведён в приложении 1.

Тема 2. Ракетные двигатели твердого топлива. Методика выбора проектных параметров РДТТ (6 часов).

Теория: Состав, достоинства и недостатки РДТТ. Твёрдые ракетные топлива (ТРТ).

Факторы, влияющие на скорости горения ТРТ. Тепловая защита. Динамика развития конструктивно-компоновочных схем РДТТ. Уровень достигнутых показателей совершенства РДТТ в РФ и за рубежом.

Техническое задание на проектирование ракеты. Методика определения основных параметров РДТТ.

Практика: Методика выбора проектных параметров РДТТ. Программа выбора основных проектных параметров многоступенчатой баллистической ракеты твёрдого топлива «РВХ-А1». Определение проектных параметров РДТТ в соответствии с техническим заданием. Вариант технического задания

на проектирование твёрдотопливной ракеты и проведение соответствующего исследования приведён в приложении 1. При организации практического занятия используется командный принцип.

Тема 3. Расчёт внутрибаллистических характеристик РДТТ (6 часов).

Теория: Формы зарядов РДТТ и способы их крепления. Горение заряда ТРТ (прогрессивный, нейтральный и дегрессивный законы горения). Методика проектирования заряда РДТТ. Способы обеспечения постоянства поверхности горения при выгорании заряда. Расчёт внутрибаллистических характеристик двигателя.

Практика: Проектирование заряда РДТТ первой ступени. Определение толщины оболочки корпуса, наружного и внутреннего диаметра и длины заряда, Расчёт площади поверхности горения по выгоранию. Расчёт зависимости давления и тяги по времени работы двигателя.

Экскурсия по «Лаборатории ракетных двигателей и ракет». Технические решения при создании ракет на твёрдом и жидком топливе с временной исторической привязкой. Вклад проектных и производственных предприятий Пермского края в обороноспособность страны и развитие космонавтики.

Тема 4. Аэродинамика. Динамика полёта. Расчёт траектории полёта (6 часов).

Теория: Аэродинамика ракеты и решаемые задачи. Физические причины возникновения аэродинамических сил. Центры масс и давления. Связанная и скоростная системы координат. Компоненты полной аэродинамической силы и аэродинамического момента. Статическая устойчивость летательного аппарата (ЛА). Элементы компоновки ракеты. Аэродинамические коэффициенты. Составляющие лобового сопротивления ракеты.

Задачи, решаемые динамикой полета. Траектория движения ракеты. Методика расчёта активного участка траектории (АУТ) (структура системы уравнений движения ракеты). Методика расчёта пассивного участка траектории ракеты. Дальности полета

Практика: Составление программы расчёта активного участка траектории. Система уравнений движения. Начальные условия. Численный метод интегрирования уравнений движения ракеты – метод Рунге-Кутты. Составление программы. Проведение вычислений.

Написание учащимися сочинений на тему: «Ракетостроение: вчера, сегодня, завтра».

Тема 5. Итоговое занятие: презентация результатов исследовательских работ (6 часов).

Практика: Защита учащимися презентаций, включающих результаты проведённых исследований в структуре:

- выбор проектных параметров многоступенчатой баллистической ракеты (чертёж) в соответствии с техническим заданием;
 - результаты исследовательской части;
 - результаты расчета поверхности горения и зависимости давления и тяги от времени работы двигателя;
 - результаты расчёта траектории активного участка;
 - сочинение на тему: «Ракетостроение: вчера, сегодня,
- Проведение викторины и награждение победителей.

4. КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК

дополнительной общеразвивающей программы

«Основы ракетостроения»

№ п/п	Месяц	Число	Время проведения занятия	Форма занятия	Кол-во часов	Тема занятия	Место проведения	Форма контроля
1.	Месяц, число и время проведения занятий определяются конкретным периодом организации и проведения профильных смен (периодов реализации общеразвивающей программы)				6 ч., в т.ч.:	Основы ракетодинамики. Ракетные двигатели жидкого топлива		Задачи, тест
1.1				Лекция	2	Классификация и области применения ракетных двигателей. Уравнение И.М. Мещерского, формула К.Э. Циолковского. Конечная скорость, дальности полёта ракеты. Энергетические характеристики твёрдых и жидких ракетных топлив. Требования к ракетным топливам. Область использования ЖРД, их преимущества и недостатки. Различные схемы ЖРД. Стехиометрическое соотношение компонентов, коэффициент избытка окислителя. Процессы в камере сгорания ЖРД. Способы и схемы охлаждения стенок камер сгорания ЖРД. Форсунки ЖРД. Турбонасосный агрегат.	Учебный класс	
1.2				Практика	4	Решение задач по основам ракетодинамики. Схемы ЖРД, задачи.	Учебный класс	

2.			6 ч., в т.ч.:	Ракетные двигатели твердого топлива Методика выбора проектных параметров РДТТ		Отчёт по исследовательской работе
2.1		Лекция	2	Состав, достоинства и недостатки РДТТ. Твёрдые ракетные топлива (ТРТ). Факторы, влияющие на скорости горения ТРТ. Тепловая защита. Динамика развития конструктивно-компоновочных схем РДТТ. Уровень достигнутых показателей совершенства РДТТ в РФ и за рубежом. Техническое задание на проектирование ракеты. Методика определения основных параметров РДТТ.	Учебный класс	
2.2		Практика	4	Методика выбора проектных параметров РДТТ. Программа выбора основных проектных параметров многоступенчатой баллистической ракеты твёрдого топлива «RBX-AI». Определение проектных параметров РДТТ в соответствии с технически заданием. Проведение расчётов в соответствии с исследовательским заданием. Выполнение индивидуального группового занятия. Работа в программе «RBX-AI».	Учебный класс	

3.			6 ч., в т.ч.:	Расчёт внутрибаллистических характеристик РДТТ		Отчет по работе
3.1		Лекция	2	Формы зарядов РДТТ. Горение заряда ТРТ (прогрессивный, нейтральный и дегрессивный законы горения). Методика проектирования заряда РДТТ. Способы обеспечения постоянства поверхности горения при выгорании заряда. Расчёт внутрибаллистических характеристик двигателя.	Учебный класс	
3.2		Практика	2	Проектирование заряда РДТТ первой ступени. Определение толщины оболочки корпуса, наружного и внутреннего диаметров и длины заряда, Расчёт площади поверхности горения по выгоранию. Расчёт зависимости давления и тяги по времени работы двигателя. Выполнение расчётов облика двигателя первой ступени ракеты. Анализ результатов расчёта и оформление раздела отчёта.	Учебный класс	
3.3		Практика	2	Экскурсия в «Лабораторию ракетных двигателей и ракет». Технические решения при создании ракет на твёрдом и жидком топливе с временной исторической привязкой. Вклад проектных и производственных предприятий Пермского края в обороноспособность страны и развитие космонавтики.	Лаборатория ракет и ракетных двигателей ПНИПУ	

4.			6 ч., в т.ч.:	Аэродинамика. Динамика полёта. Расчёт траектории полёта		Тест, отчёт по работе, сочинение
4.1		Лекция	2	<p>Аэродинамика ракеты и решаемые задачи. Физические причины возникновения аэродинамических сил. Центры масс и давления. Связанная и скоростная системы координат. Компоненты полной аэродинамической силы и аэродинамического момента. Статическая устойчивость летательного аппарата (ЛА). Элементы компоновки ракеты. Аэродинамические коэффициенты. Составляющие лобового сопротивления ракеты.</p> <p>Задачи, решаемые динамикой полета. Траектория движения ракеты. Методика расчёта активного участка траектории (АУТ) (структура системы уравнений движения ракеты). Методика расчёта пассивного участка траектории ракеты. Дальности полета</p>	Учебный класс	
4.2		Практика	4	<p>Составление программы расчёта активного участка траектории. Система уравнений движения. Начальные условия. Численный метод интегрирования уравнений движения ракеты – метод Рунге-Кутты. Составление программы вычислений. Проведение вычислений. Выполнение расчёта активного участка траектории. Анализ результатов расчёта и оформление раздела отчёта. Сочинение на тему: «Ракетостроение: вчера, сегодня, завтра».</p>	Учебный класс	

5.			6 ч., в т.ч.:	Итоговое занятие: презентация результатов исследовательских работ.		Защита презентации
5.1		Практика	4	<p>Оформление итогового отчёта и презентации в структуре:</p> <ul style="list-style-type: none"> – выбор проектных параметров многоступенчатой баллистической ракеты (чертёж) в соответствии с техническим заданием; – результаты исследовательской части; – результаты расчета поверхности горения и зависимости давления и тяги от времени работы двигателя; – результаты расчёта траектории активного участка; – сочинение на тему: «Ракетостроение: вчера, сегодня. 	Учебный класс	
5.2		Практика	2	<p>Защита учащимися презентаций, включающих результаты проведённых исследований.</p> <p>Проведение викторины и награждение победителей.</p>	Учебный класс	

5. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

5.1. Материально-технические условия реализации программы

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лаборатории	Вид занятий	Оборудование, программное обеспечение
Учебный класс	Лекция. Практическое занятие.	Учебный класс. Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска
Компьютерный класс	Практическое занятие.	Компьютеры. Программное обеспечение. Презентации
Лаборатория ракет и ракетных двигателей	Практическое занятие.	Образцы ракет и ракетных двигателей.

5.2 Учебно-методическое обеспечение программы

Дополнительная общеразвивающая программа содержит теоретическую и практическую подготовку, большее количество времени уделяется практической деятельности.

Кроме традиционных методов используются эвристический метод; исследовательский метод, самостоятельная работа; диалог и дискуссия; приемы дифференцированного обучения, обеспечивающие обучение каждого обучающегося на уровне его возможностей и способностей.

Для реализации настоящей программы используются основные методы работы – развивающего обучения (проблемный, поисковый, творческий).

Занятия проводит педагог, имеющий высшее образование. Программа составлена с учетом санитарно-гигиенических требований к порядку проведения занятий и адаптирована к возрастным особенностям обучающихся.

5.3. Список источников и литературы

Основная литература:

1. Алемасов В.Е. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигателях и энергетических установках: учебное пособие для вузов / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.С. Черенков. – Москва: Химия, 2000. – 520 с.
2. Алемасов В.Е. Теория ракетных двигателей: учебное пособие для вузов / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.П. Тишин; Под ред. В.Е. Алемасова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1969. – 547 с.
3. Бульбович Р.В. Проектная оценка параметров ракетного двигателя твердого топлива: учебно-методическое пособие / Р.В. Бульбович, В.В. Павлоградский. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – 112 с.
4. Григорьев А.А. Введение в авиационную и ракетную технику: учебное пособие для вузов / А.А. Григорьев. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014. – 175 с. (ЭБ ПНИПУ: <http://elib.pstu.ru/view.php?fDocumentId=3010>).
5. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели / М.В. Добровольский; под ред. Д.А. Ягодникова. – 3-е изд. доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 460 с.
6. Дорофеев А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчёт и проектирование: учебник для вузов / А.А. Дорофеев; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 463 с.
7. Фахрутдинов И.Х. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: учебник для вузов / И.Х. Фахрутдинов, А.В. Котельников. – Москва: Машиностроение, 1987. – 325 с.

Электронные ресурсы:**Презентации (разработка кафедры РКТЭС ПНИПУ):**

Наименование файла	Содержание презентации
Лекция 1. Введение в ракетодинамику	Введение в ракетодинамику
Лекция 2. ЖРД	Ракетные двигатели на жидком топливе
Лекция 3. РДТТ	Ракетные двигатели на твёрдом топливе
Лекция 4. Методика проектирования ракет	Методика проектирования твёрдотопливных ракет
Лекция 5. Расчёт ВБХ	Расчёт внутрибаллистических характеристик РДТТ
Лекция 6. Аэродинамика	Аэродинамика
Лекция 7. Динамика полёта	Динамика полёта
Лекция 8. ЭРД	Электроракетные двигатели
Лекция 9. ЯРД	Ядерные ракетные двигатели

**Критерии отбора обучающихся на программу
«Основы ракетостроения»**

Отборочное задание для открытого набора обучающихся:

1. Какие знаменательные события для СССР (России) в освоении космоса Вы знаете?

4 балла.

2. Какие компоненты жидкого ракетного топлива являются перспективными с позиции экологических требований и почему?

2 балла.

3. Какие ближайшие задачи в освоении космоса будут решаться?

2 балла.

4. На какие этапы (участки траектории) раскладывается полёт ракеты с поверхности Земли до поверхности Марса?

2 балла.

5. Для каких целей используется принцип деления ракеты на ступени?

3 балла.

6. Какая предельная скорость теоретически может быть достигнута для космического летательного аппарата?

2 балла.

7. Сколько геостационарных спутников необходимо, чтобы поддерживать круглосуточную связь между научными станциями на Северном и Южном полюсах?

4 балла.

8. Предложить способ определения массы планеты по известному радиусу орбиты и периоду вращения по орбите ее спутника.

4 балла.

9. Космонавты на орбитальной станции занимались бегом по внутренней поверхности станции, представлявший собой цилиндр диаметром около 6 м. С какой скоростью надо бежать в таких условиях, чтобы ощутить вес, равный обычному весу астронавта на Земле?

5 баллов.

10. Определить массу Луны в единицах массы Земли, если первый искусственный спутник Луны Луна-10 обращался вокруг нее с периодом 2 час. 58 мин. в пределах высоты над ее поверхностью от 361 км до 1007 км. Принять радиус Луны $R_L = 1737$ км.

6 баллов.

11. Вычислить на каком расстоянии от Земли находится точка, в которой притяжение Земли и Луны одинаковы, зная, что расстояние между Землей и Луной равно 60 радиусам Земли, а масса Земли и Луны относятся как 81:1. Может ли космический корабль зависнуть в этой точке без движения?

6 баллов.

12. Сквозь земной шар прорыта шахта. Как, используя эту шахту, можно запускать ракеты в космос? Какова при этом экономия топлива? Какую форму должна иметь шахта, если ее построить между:

- 1) Северным и Южным полюсами;
- 2) диаметрально противоположными точками на экваторе?

10 баллов.

Максимальное количество баллов по тесту – 50.