

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 (подпись) **Юнаков Л. П.**
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ИЗДЕЛИЯХ РКТ

Направление/специальность подготовки	24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов
Специализация/профиль/программа подготовки	Пилотируемые и автоматические космические аппараты и системы
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А3 КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А3 КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
3	6	4	144	68	34	0	34	76	0	0	76	ЭКЗ.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра АЗ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ _____

Бабук Валерий Александрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **АЗ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ**

Заведующий кафедрой Бабук В.А., д.т.н., проф. _____

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

АЗ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ

Заведующий кафедрой Бабук В.А., д.т.н., проф. _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ИЗДЕЛИЯХ РКТ

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-1/23.3 — способность определять тепловой режим изделий РКТ и проектировать средства и системы его обеспечения

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-1/23.3

знания:

на уровне представлений: принципы различных видов теплообмена

на уровне воспроизведения: математический аппарат определения интенсивности теплообмена и параметров температурных полей

на уровне понимания: основные законы переноса тепла;

умения:

теоретические: использовать математический аппарат теплопередачи для описания процессов переноса теплоты

практические: определять интенсивность теплообмена и параметры температурных полей;

навыки:

оценки интенсивности теплообмена в изделиях ракетно-космической техники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ИЗДЕЛИЯХ РКТ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ТЕРМОДИНАМИКА, АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ВНУТРИКАМЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ ДУ, ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1/23.3
3	6	Раздел 1. Основные понятия. 1.1. Виды теплообмена. 1.2. Тепловой поток и плотность теплового потока.	1	1	1	0	0	10
3	6	Раздел 2. Теплопроводность. 2.1. Теплопроводность. Закон теплопроводности Фурье. 2.2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности.	33	9	2	7	24	15
3	6	Раздел 3. Теплопроводность в твердых телах. 3.1. Стационарная теплопроводность. 3.2. Нестационарная теплопроводность. Метод обобщенных переменных. 3.3. Методы решения дифференциального уравнения теплопроводности.	26	12	5	7	14	15
3	6	Раздел 4. Конвективный теплообмен. 4.1. Уравнения сохранения для сплошной среды. Метод обобщенных переменных для исследования конвективного теплообмена. 4.2. Пограничный слой. Уравнения пограничного слоя. Аналогия Рейнольдса. Интегральные уравнения пограничного слоя. 4.3. Конвективный теплообмен при ламинарном и турбулентном режимах течения. 4.4. Особенности теплообмена в трубах. 4.5. Особенности конвективного теплообмена применительно к изделиям ракетно-космической техники: сверхзвуковые течения, химические превращения, сложный профиль обтекаемой поверхности, изменение параметров окружающей среды. Метод эффективной длины.	48	28	16	12	20	35
3	6	Раздел 5. Лучистый теплообмен. 5.1. Закономерности теплового излучения. 5.2. Принципы определения лучистого теплового потока.	36	18	10	8	18	25
Всего за 6 семестр			144	68	34	34	76	100
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Теплопроводность.	Закон теплопроводности, дифференциальное уравнение теплопроводности	7
2	Раздел 3. Теплопроводность в твердых телах.	Стационарная теплопроводность. Нестационарная теплопроводность.	7
3	Раздел 4. Конвективный теплообмен.	Конвективный теплообмен	12
4	Раздел 5. Лучистый теплообмен.	Лучистый теплообмен	8
Всего за 6 семестр			34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 2. Теплопроводность.	Закон теплопроводности, дифференциальное уравнение теплопроводности	24
2	Раздел 3. Теплопроводность в твердых телах.	Стационарная теплопроводность. Нестационарная теплопроводность.	14
3	Раздел 4. Конвективный теплообмен.	Конвективный теплообмен	20
4	Раздел 5. Лучистый теплообмен.	Лучистый теплообмен	18
Всего за 6 семестр			76

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6	ТекК	ТекК	ТекК, Задан	ТекК	ТекК, Задан	ДР	ТекК	ТекК	ТекК, Задан	ДР	ТекК	ТекК, Задан	ТекК	ТекК	ТекК	ДР	ТекК

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- Задан – задание.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- задание.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Александров, А. М. Архаров, И. А. Архаров. Теплотехника. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017, эл. рес.
2. А. М. Губертов, В. В. Миронов, Д. М. Борисов. . Газодинамические и теплофизические процессы в ракетных двигателях твёрдого топлива. М.: Машиностроение, 2004, 9 экз.
3. В. А. Бабук, А. Ф. Леонов, Г. В. Родионов. . Сборник задач по теплопередаче. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 51 экз.
4. Г. В. Родионов. . Расчёты параметров теплообмена и температурных полей. Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1988, 125 экз.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. Б. Н. Юдаев. . Теплопередача. М.: Высш. шк., 1981, 1 экз.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=443 — Библиотечно-издательский центр БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова; — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Практические занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.3. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ИЗДЕЛИЯХ РКТ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой АЗ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:
ПСК-1/23.3 способность определять тепловой режим изделий РКТ и проектировать средства и системы его обеспечения.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с определением интенсивности теплопереноса применительно к изделиям ракетно-космической техники и параметров температурных полей в этих изделиях.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- задание.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**76 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 76 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 2. Теплопроводность.		
Закон теплопроводности, дифференциальное уравнение теплопроводности	В. А. Бабук, А. Ф. Леонов, Г. В. Родионов. . Сборник задач по теплопередаче: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1) Г. В. Родионов. . Расчёты параметров теплообмена и температурных полей: Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1988 (1)	24
Итого по разделу 2		24
Раздел 3. Теплопроводность в твердых телах.		
Стационарная теплопроводность. Нестационарная теплопроводность.	Б. Н. Юдаев. . Теплопередача: М.: Высш. шк., 1981 (1) В. А. Бабук, А. Ф. Леонов, Г. В. Родионов. . Сборник задач по теплопередаче: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (2-3)	14
Итого по разделу 3		14
Раздел 4. Конвективный теплообмен.		
Конвективный теплообмен	Г. В. Родионов. . Расчёты параметров теплообмена и температурных полей: Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1988 (4) В. А. Бабук, А. Ф. Леонов, Г. В. Родионов. . Сборник задач по теплопередаче: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4) А. М. Губертов, В. В. Миронов, Д. М. Борисов. . Газодинамические и теплофизические процессы в ракетных двигателях твёрдого топлива: М.: Машиностроение, 2004 (3)	20
Итого по разделу 4		20
Раздел 5. Лучистый теплообмен.		
Лучистый теплообмен	Б. Н. Юдаев. . Теплопередача: М.: Высш. шк., 1981 (4) В. А. Бабук, А. Ф. Леонов, Г. В. Родионов. . Сборник задач по теплопередаче: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (5) Г. В. Родионов. . Расчёты параметров теплообмена и температурных полей: Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1988 (5)	18
Итого по разделу 5		18

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы для текущего контроля;
- задание;
- экзамен.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Вопросы для текущего контроля

При опросе студентов задаются вопросы по теме занятия. При полном ответе студент получает 10 баллов, при неполном - 5 баллов, в случае неверного ответа - 0 баллов. Условием для успешного завершения опроса является количество баллов в диапазоне от 5 до 10.

Перечень вопросов текущего контроля входит в состав УМК дисциплины.

Задание

При проведении ПЗ осуществляется решение задач по пяти темам. Каждый студент должен решить пять задач по индивидуальным заданиям (Бабук В. А. Сборник задач по теплопередаче/ В. А. Бабук, А. Ф. Леонов, Г. В. Родионов; БГТУ "ВОЕНМЕХ". -Изд. 3-е, перераб. и доп.. -СПб., 2018. -68 с.) Отчет по решению задач представляется на листах формата А4. Защита проходит в форме ответов студента на вопросы преподавателя.

В случае если оформление отчета и ответы студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, студент получает максимальное количество баллов -100.

Основаниями для снижения количества баллов являются:

- неполные ответы на вопросы – 20 баллов,
- небрежное оформление – 10 баллов,
- низкое качество графического материала – 10 баллов.

Основаниями для снижения количества баллов в диапазоне от 5 до 10 являются:

- небрежное оформление работы,
- низкое качество графического материала.

Зачет по выполненной задаче осуществляется при достижении 75 баллов.

Экзамен

К экзамену допускаются студенты, которые успешно прошли опрос и получили зачет по выполненным задачам. Оценка проставляется по результатам ответов на вопросы билета. Вопросы, содержащиеся в билетах, выложены в УМК. При полном ответе на два вопроса в билете студент получает оценку "отлично". При неполном ответе на один из вопросов оценка снижается, студент получает оценку "хорошо". Неполные ответы на оба вопроса приведут к оценке "удовлетворительно". Неверные ответы на оба вопроса будут иметь следствием оценку "неудовлетворительно".

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1/23.3	
3	6	Раздел 1. Основные понятия.	1	1	1	0	0	10	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 2. Теплопроводность.	33	9	2	7	24	15	Вопросы для текущего контроля, Задание
3	6	Раздел 3. Теплопроводность в твердых телах.	26	12	5	7	14	15	Вопросы для текущего контроля, Задание
3	6	Раздел 4. Конвективный теплообмен.	48	28	16	12	20	35	Вопросы для текущего контроля, Задание
3	6	Раздел 5. Лучистый теплообмен.	36	18	10	8	18	25	Вопросы для текущего контроля, Задание
Всего за 6 семестр			144	68	34	34	76	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	

Критерии оценивания

ПСК-1/23.3

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 Каковы условия, необходимые для интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности?
- № 2 Какие факторы определяют интенсификацию теплообмена при использовании ребра (стержня)?
- № 3 Объяснить обобщенный характер решения, полученного при использовании метода обобщенных переменных при симметричном нагреве неограниченной пластины в среде с граничными условиями третьего рода?
- № 4 Какие факторы определяют интенсификацию явлений переноса при турбулентном режиме течения жидкости?
- № 5 Соотношение между какими явлениями определяет такой критерий подобия как число Рейнольдса?
- № 6 В чем заключается дуализм свойств пограничного слоя?
- № 7 К чему приводит реализация аналогии Рейнольдса?
- № 8 Каковы факторы, определяющие изменение закономерностей теплообмена при наличии химических реакций в пограничном слое?
- № 9 Почему при описании излучения смеси газов учитывается, главным образом, излучение многоатомных газообразных веществ?
- № 10 При каких условиях лучистый тепловой поток между двумя пластинами равен разнице эффективных потоков излучения?
- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 Закон теплопроводности Фурье является ...
универсальным законом природы
законом правомерным только для слабо неравновесных процессов
законом правомерным только для твердых тел
- № 2 Дифференциальное уравнение теплопроводности является следствием ...
закона сохранения энергии
закона сохранения энергии и закона Фурье
законов сохранения количества движения и вещества
- № 3 Критический радиус тепловой изоляции определяет...
размер тепловой защиты, обеспечивающий минимальные тепловые потери
размер тепловой защиты, которому соответствуют максимальные тепловые потери
- № 4 Характеристики тепловой защиты, при которых ее масса минимальна
Реальная жидкость – это ...
жидкость, обладающая теплопроводностью, вязкостью и способностью к диффузии
вязкая жидкость
любая жидкость
- № 5 Коэффициент динамической вязкости является характеристикой...
среды
движения среды
- № 6 Уравнение неразрывности является следствием закона ...
сохранения вещества

- сохранения количества движения
- № 7 сохранения энергии
Описание конвективного теплообмена при использовании метода обобщенных переменных имеет следствием ...
- уменьшение количества параметров задачи и придание решению обобщенного характера
- № 8 получение универсального решения, пригодного для всех ситуаций
При известном распределении температуры в жидкости для определения плотности теплового потока на поверхности обтекаемого тела используется закон ...
- Фурье
- Фика
- № 9 Ньютона-Рихмана
Интегральные уравнения динамического и теплового пограничных слоев ...
- являются универсальными
- справедливы только при ламинарном режиме течения
- № 10 справедливы только при постоянных параметрах потока вне пограничного слоя
Температура восстановления используется при исследовании конвективного теплообмена ...
- , когда кинетическая энергия невозмущенного потока существенно превышает энергию теплового движения
- , когда жидкость обладает вязкостью и теплопроводностью
- всегда