

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича  
Сибирского отделения Российской академии наук



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИТПМ СО РАН  
чл.-корр. РАН А.Н. Шиплюк

«24» 09 2018 г.

**Введение в физическую газодинамику**

Рабочая программа дисциплины

**Направление подготовки аспирантов Института 01.06.01: – «Математика и механика»**

**Направленность: 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»**

**Квалификация выпускника**

Исследователь. Преподаватель - исследователь.

**Форма обучения - очная**

Новосибирск

2018

## Содержание

Аннотация	3
1. Цели освоения дисциплины	4
2. Место дисциплины в структуре ООП	4
3. Компетенции обучающегося, формируемые при освоения дисциплины	5
«Введение в физическую газодинамику»	
4. Структура и содержание дисциплины «Введение в физическую газодинамику»	6
5. Образовательные технологии	7
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов	7
7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания	7
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	8
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	8
10. Фонд оценочных средств	9

## Аннотация

Программа курса «Введение в физическую газодинамику» составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 01.06.01 «математика и механика».

Цели курса - дать аспирантам знания об относительно новом направлении в механике сплошной среды, связанном с гиперзвуковыми течениями, плазменными и химически реагирующими потоками, релаксационными процессами и т. д., когда имеет место возбуждение внутренних степеней свободы, химические превращения, излучение и поглощение лучистой энергии.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, семинарские занятия, контрольные работы, консультации, самостоятельная работа аспиранта.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: Осуществляется контроль посещения лекций. Часть времени на лекциях отводится обсуждению с аспирантами практических задач.

Промежуточная аттестация: зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 академических часа.

- занятия лекционного типа – 26 часов;
- занятия семинарского типа – 4 часа;
- самостоятельная работа обучающегося – 24 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче зачета и зачет) – 18 часов.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, семинарского типа, групповые консультации, зачет) составляет 34 часа.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 4 часа.



## 1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина (курс) "Введение в физическую газодинамику" имеет своей целью: описать основные понятия и методы решения задач, возникающих при изучении динамики движения вязкого газа. Большинство излагаемых в нем вопросов с разной степенью полноты освещены в ряде монографий, приведенных в списке литературы. Некоторые специальные вопросы рассмотрены в научных статьях, также отраженных в списке литературы.

Данный курс является составной частью обширного раздела механики сплошных сред – газовой динамики. Круг задач, охватываемых термином «газовая динамика» чрезвычайно широк. Это в первую очередь т. н. традиционные и наиболее развитые задачи внешней и внутренней аэродинамики (задачи обтекания тел и течения в каналах) до и - сверхзвуковых скоростей. А также относительно новые направления, связанные с гиперзвуковыми течениями, плазменными и химически реагирующими потоками, когда описание процессов невозможно в рамках совершенного газа с постоянным составом и теплоемкостью. Класс подобных задач и относится к физической газодинамике. Характерной особенностью их является высокий уровень температуры, когда в газе начинают происходить такие процессы, как возбуждение внутренних степеней свободы (вращательных, колебательных и т.д.), диссоциация молекул и ионизация атомов, излучение и поглощение лучистой энергии. Атомно-молекулярные процессы влияют на динамику течения и, наоборот, высокоскоростное движение среды изменяет ее теплофизические, оптические, электрические свойства и кинетику процессов. В настоящем курсе в меньшей степени рассматриваются традиционные разделы газовой динамики и только в той части, где на простейших примерах можно получить понимание некоторых общих представлений (ударные волны, скорость ламинарного горения, детонационные ударные волны). Основное внимание уделено изучению роли физических процессов как диссоциация, ионизация, химические превращения, излучение и связанные с ними явления переноса.

Курс «Введение в физическую газодинамику» имеет своей целью: дать аспирантам представление об относительно новом направлении в механике сплошной среды, связанном с гиперзвуковыми течениями, плазменными и химически реагирующими потоками, релаксационными процессами и т. д., когда имеет место возбуждение внутренних степеней свободы, химические превращения, излучение и поглощение лучистой энергии. В настоящее время эти разделы физики и механики образуют научный фундамент многих важных технических и технологических задач. Основной целью освоения дисциплины является ознакомление с общими методами и подходами в исследованиях по данному направлению, включая получение новых практических результатов. Овладение данным курсом позволит аспирантам лучше ориентироваться в соответствующей научной и технической литературе, в практической деятельности даст возможность на уровне оценок и приближенных вычислений выделить основные аспекты решаемой проблемы, грамотно ставить и решать задачи, как в теоретическом, так и в экспериментальном плане.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина относится к группе вариативных дисциплин Блока 1 направления подготовки аспирантов Института - 01.06.01 - "Математика и механика" в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) по направленности - механика жидкости, газа и плазмы (физико-математические, технические науки).

**Предмет изучения.** Общая система уравнений механики сплошной среды. Замыкающие уравнения. Обобщение исходной системы на случай учета переноса излучения и электромагнитного поля. Основные понятия термодинамики: первый, второй и третий законы термодинамики; уравнение состояния; основные термодинамические функции.

Ударные волны, предельные случаи сильной и слабой ударной волны. Изменение энтропии в ударной волне. Оценка толщины ударного перехода. Постановка задачи о



структуре ударной волны. Элементарная теория ударной трубы. Распространение фронта горения в газе. Ударные волны в реагирующем газе, детонация. Точка Чепмена – Жуге, оценка скорости детонационной волны.

Потенциалы взаимодействия. Столкновение частиц. Сечение рассеяния. Эффективное сечение столкновений. Элементарная теория столкновений: средняя частота столкновений, средняя длина свободного пробега, длина свободного пробега для смеси частиц различного сорта. Элементарная кинетическая теория переноса: теплопроводность, вязкое трение, диффузия. Диффузия в смеси двух газов. Амбиполярная диффузия в плазме. Теплопроводность ионизованного газа при наличии диффузионных потоков массы. Статистические методы в теории переноса. Уравнение Больцмана,  $\tau$  - приближение, коэффициенты взаимности Онзагера.

Обобщение основных термодинамических тождеств на случай системы с переменным числом частиц. Условие равновесия, закон действующих масс. Универсальное уравнение равновесия для систем со слабым взаимодействием. Диссоциация двухатомных молекул. Ионизация. Уравнение Саха. Снижение потенциала ионизации. Равновесный состав газа при наличии химических реакций. Основные термодинамические соотношения для однократно ионизованного газа.

**Общие термины и понятия.** Химические реакции и методы расчета констант скоростей реакций: теория столкновений, метод активированного комплекса. Релаксационные процессы в газах. Вращательная релаксация. Колебательная релаксация. Уравнение кинетики диссоциации двухатомных молекул и время релаксации. Скорости рекомбинации атомов и диссоциации двухатомных молекул. Скорости реакции при химических превращениях. Кинетика ионизационных процессов: ионизация и рекомбинация, электронное возбуждение (общее представление). Ионизация возбужденных атомов электронным ударом. Ионизация атомов ударами тяжелых частиц. Фотоионизация и фоторекомбинация. Возбуждение атомов из основного состояния электронным ударом, дезактивация. Ионизация невозбужденных атомов электронным ударом.

Методы описания излучения. Равновесное излучение и абсолютно черное тело. Уравнения радиационной газодинамики, приближение лучистого теплообмена. Уравнение переноса излучения. Процессы испускания, поглощения и рассеяния света в газах. Закон Кирхгофа. Интегрирование уравнения переноса излучения. Квазистационарность поля излучения. Модель плоского слоя. Эффективная и яркостная температура поверхности. Предельные приближения: приближение Планка; приближение Росселанда; разбиение спектра по оптической плотности, степени черноты плоского слоя и полусферического объема; приближение «серой материи»; многогрупповое приближение. Радиационные процессы: свободно-свободные, связанно-свободные и связанно-связанные электронные переходы. Лучеиспускающая способность и коэффициент поглощения в непрерывном и дискретном спектрах излучения. Полосатые спектры молекул. Правила отбора для электронных переходов. Структура молекулярных спектров. Расчет спектрального коэффициента поглощения. Прикладные вопросы переноса излучения.

### **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Введение в физическую газодинамику»**

В процессе изучения дисциплины формируются следующие компетенции:

способность свободно владеть фундаментальными разделами математики и механики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач механики жидкости, газа и плазмы (ПК-1);

способность использовать знания современных проблем и новейших достижений механики жидкости газа и плазмы в своей научно-исследовательской деятельности (ПК-2);

способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области механики жидкости, газа и плазмы, а также решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** основные понятия и методы решения задач, возникающих при изучении динамики движения вязкого газа.
- **Владеть:** современными методами и подходами в исследовании протекающих там процессов.
- **Уметь:** использовать полученные теоретические знания при решении практических задач.

#### 4. Структура и содержание дисциплины «Введение в физическую газодинамику».

Общая трудоемкость составляет 2 зачетных единицы, 72 академических часа

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов, и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (период сессии) (в часах)
				Аудиторные часы			Сам.работ а в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Семинары	Лабораторные работы		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Проблемы физической газовой динамики	1	4	2			4	
2.	Элементы газовой динамики	2-3	6	4			4	
3.	Введение в теорию переноса в газах	4-6	8	6			4	
4.	Прием заданий	7	3		1			
5.	Термодинамика и равновесный состав химически реагирующего газа	8	6	4			4	
6.	Прием заданий	9	3		1			
7.	Кинетика физико-химических процессов	10-11	6	4			4	
8.	Прием заданий	12	3		1			
9.	Основы теории переноса излучения	13-17	12	6			4	
10.	Прием заданий	18	3		1			
11.	Групповая консультация		2					2



12.	Самостоятельная подготовка обучающегося к зачету		14					14
13.	Зачет		2					2
Итого			72	26	4		24	18

## 5. Образовательные технологии

В учебном процессе широко используются активные и интерактивные формы проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Демонстрация основных физических явлений проводится на действующих аэродинамических установках, таких как аэродинамические трубы ИТПМ СО РАН Т-327, Т-325, Т-324, Т-326, Т-313, АТ-303, ИТ-302, на моделях летательных аппаратов и их элементов. В процессе обучения используются серии видеофильмов по авиационной тематике, плакаты, видео-презентации. Аспиранты привлекаются к семинарам института, в том числе к интерактивному видео -семинару по аэрогидромеханике (фундаментальные исследования) ЦАГИ-ИТПМ-СПбГПУ-НИИМех МГУ.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Самостоятельная работа аспирантов поддерживается учебным пособием:

Кацнельсон С.С. «Введение в физическую газодинамику» Новосибирск: НГУ.-2006. -127 С.- 9,4 печ. листа.- ISBN 5-94356-363-6.

Система контроля включает текущий (по ходу семестра) контроль освоения практического материала, а также зачет.

Текущий контроль по практике: осуществляется в ходе семестра путем проведения контрольных работ и приема обязательных заданий.

Окончательная оценка работы аспиранта в течение семестра происходит на зачете. Зачет проводится в конце семестра по билетам, в устной форме.

## 7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания

Освоение компетенций оценивается по двухбалльной шкале «сформирована / не сформирована». Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции сформирована в полном объеме в части, относящейся к содержанию дисциплины.

### Контролирующие материалы

Формы контроля

**Итоговый контроль.** Для контроля усвоения дисциплины учебным планом предусмотрен зачет.

**Текущий контроль.** Осуществляется контроль посещения лекций. Предусмотрено проведение коллоквиума, который проводится в середине семестра. Часть времени на лекциях отводится обсуждению с аспирантами практических задач.

Для оценки достижений аспирантов в ходе изучения дисциплины применяется балльно-рейтинговая система. Рейтинг определяется как сумма оценки деятельности в течение семестра и оценки, полученной на зачете. Продолжительность подготовки к ответу 100 минут. Продолжительность ответа на билет – 10 минут. Список контрольных вопросов представлен ниже.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Рекомендованная литература к теоретическому курсу:**

1. Кацнельсон С.С. «Введение в физическую газодинамику» Новосибирск: НГУ.-2006. -127 С.- 9,4 печ. листа.- ISBN 5-94356-363-6.
2. С.С. Кацнельсон, Г.А. Ковальская Теплофизические и оптические свойства аргоновой плазмы. Новосибирск: Наука. Сиб. Отделение. 1985

### **б) Дополнительная литература:**

1. Гиршфельдер Дж., Кертисс Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей.// М.: ИЛ, 1961.
2. Блох А.Г. Основы теплообмена излучением.// М.-Л.: Госэнергоиздат. 1962.
3. Грим. Г. Уширение спектральных линий в плазме. М.: Мир. 1978.
4. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. М.: Изд-тво АН СССР, 1962. Т. II
5. Базаров И.П. Термодинамика.// М.: Высш. шк., 1991.
6. Радиационный теплоперенос в высокотемпературных газах: Справочник/ Головнев И.Ф. Замураев В.П. Кацнельсон С.С. и др.; Под редакцией Р.И. Солоухина.//М.: Энергоатомиздат, 1984.
7. Четверушкин Б.Н. Математическое моделирование задач динамики излучающего газа.

### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы ИТПМ.**

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- Компьютеры, видеопроекторы.
- Действующие аэродинамические трубы ИТПМ СО РАН Т-327, Т-325, Т-324, Т-326, Т-313, АТ-303, ИТ-302, модели летательных аппаратов и их элементов.
- Плакаты.
- Видео-презентации.



## 10. Фонд оценочных средств

### 1. Семестровые задания по курсу «Введение в физическую газодинамику»

#### Задание 1

1. Каковы должны быть параметры газа высокого давления (гелий) в ударной трубе, чтобы получить  $M=10$  ударной волны в газе (70% ксенона, 30% криптона). Рассмотреть возможные варианты.
2. Определить скорость распространения волны горения с учетом температурной зависимости коэффициента теплопроводности.
3. Найти скорость газа за фронтом сильной детонационной волны если известен тепловой эффект химической реакции.
4. Оценить сечение столкновения молекул в газе с потенциалом взаимодействия Леннарда-Джонса (6-12).
5. На основе уравнения Больцмана в « $\tau$ -приближении» определить коэффициент теплопроводности в газе, при наличии малого градиента температуры. Время релаксации  $\tau \approx 1/\nu$ . Для нахождения частоты столкновений  $\nu$  использовать эффективное сечение для потенциала  $U = -\alpha/r^6$  (модель Сюзерленда) [1].
6. Рассчитать коэффициенты взаимной диффузии и термодиффузии в водороде при  $T = 2000\text{K}$  и  $p = 10^5\text{Па}$ . Использовать литературные данные по потенциалу диссоциации и газокинетическим сечениям.
7. Определить коэффициент бародиффузии в изотермической смеси двух газов.
8. Рассчитать равновесный состав метана в реакции  $\text{CH}_4 = \text{C} + 4\text{H}$  для  $T = 2000\text{K}$ ,  $p = 10^5\text{Па}$ . Константа диссоциации  $K_D(T) = P_C P_H^4 / P_{\text{CH}_4}$  задана полиномом [12]:

$$\lg K_D(x) = k_0 + k \ln x + k_{-2}x^{-2} + k_{-1}x^{-1} + k_1x + k_2x^2 + k_3x^3 + k_4x^4 + k_5x^5 + k_6x^6 + k_7x^7$$

( $x = T \cdot 10^{-4}$ ;  $293,15 \leq T \leq 6000\text{K}$ )

$k_0$	$k$	$k_{-2} \cdot 10^4$	$k_{-1}$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$
38,4581	5,7413	-2,231	-8,5207	-32,69	54,451	-70,08	48,147	5,300	-33,52	16,64

Здесь  $K_D [at^4]$  ( $1 at = 9,8 \cdot 10^4 \text{н} / \text{м}^2$ )

9. Во сколько раз изменится давление в водородной плазме при увеличении температуры от  $10^4$  до  $1,5 \cdot 10^4$  К. Давление в газе при  $T = 300\text{K}$  равнялось  $10^5\text{Па}$

10. Рассчитать коэффициенты скоростей ионизации ( $\kappa_f^e$ ), рекомбинации ( $\kappa_r^e$ ) и времени релаксации ( $\tau_e$ ) в аргоне при  $T = 15000\text{K}$  и  $p = 10^5\text{Па}$ .

#### Задание 2

1. Найти яркостную температуру плоского изотермического слоя в приближении «серой материи». Заданы: толщина слоя  $d$ , температура  $T$ , коэффициент поглощения  $\kappa(T)$ .
2. Медная пластина толщиной 2 мм и массой 100 г. нагрета до температуры 1000 С и помещена в вакуумированную емкость. Степень черноты поверхности пластины  $\varepsilon = 0,1$ , оценить время, за которое пластина остынет до  $T=500\text{C}$ , до комнатной температуры?

3. Найти лучеиспускательную способность фоторекомбинационного излучения в газе в приближении водородоподобности атомов и захвата электрона на основной уровень.
4. Определить лучеиспускательную способность тормозного излучения и средний планковский коэффициент поглощения при  $T = 2 \cdot 10^4 \text{ К}$ ,  $p = 10^5 \text{ Па}$ .
5. Определить температуру, при котором резонансное уширение линии аргона  $\nu_0 = 2,86 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  станет равно доплеровскому уширению при давлении  $10^5 \text{ Па}$ .
6. Определить коэффициент излучения (лучеиспускательную способность) линии аргона  $\nu_0 = 2,86 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  для  $T = 1,5 \cdot 10^4 \text{ К}$ ,  $p = 10^5 \text{ Па}$ . Значение штарковской полуширины взять из [9, 10].
7. Вычислить сечение поглощения при связанно-связанных переходах и среднюю длину свободного пробега фотона в центре линии при переходах в водороде с уровня с  $n=1$  на уровень с  $n=2$  (линия Лайма). Сила осциллятора этого перехода  $f_{12}=0.146$ .

Примечание: Все численные расчеты должны быть представлены с приведением расчетных схем

## 2. Билеты по курсу «Введение в физическую газодинамику»

### Билет № 1

1. Система уравнений механики сплошной среды. Учет излучения.
2. Релаксационные процессы в газах: вращательная релаксация.

### Билет № 2

1. Ударные волны в газовой динамике.
2. Релаксационные процессы в газах: колебательная релаксация.

### Билет № 3

1. Изменение энтропии в ударной волне. Оценка толщины ударного перехода.
2. Кинетика ионизационных процессов: ионизация невозбужденных атомов электронным ударом.

### Билет № 4

1. Элементарная теория ударной трубы.
2. Кинетика ионизационных процессов: ионизация невозбужденных атомов ударом тяжелых частиц.

### Билет № 5

1. Распространении фронта горения в газе, способном к химической реакции.
2. Кинетика ионизационных процессов: фотоионизация и фоторекомбинация.

### Билет № 6

1. Ударные волны в реагирующем газе. Детонация.
2. Основные понятия теории переноса излучения. Равновесное излучение и абсолютно черное тело. Учет излучения в уравнениях РГД.

### Билет № 7

1. Частота столкновений и средняя длина свободного пробега.
2. Замыкающее уравнение системы уравнений РГД (вывод).

### Билет № 8

1. Элементарная кинетическая теория переноса. Коэффициенты диффузии, вязкого трения, проводимости.
2. Излучение плоского слоя.

### Билет № 9

1. Столкновение частиц. Сечение рассеяния. Эффективное сечение столкновений.
2. Предельные приближения в теории переноса излучения: однородные модели, приближение Планка.

### Билет № 10

1. Потенциалы взаимодействия. Оценка эффективных сечений столкновений.
2. Предельные приближения в теории переноса излучения: диффузионное приближение, приближение Росселанда.

### Билет № 11

1. Уточнение моделей переноса: диффузия в смеси двух газов.



2. Предельные приближения в теории переноса излучения: разбиение спектра по оптической плотности. Степени черноты.

**Билет № 12**

1. Уточнение моделей переноса: теплопроводность.
2. Приближение «серой материи». Многогрупповое приближение для расчета переноса излучения.

**Билет № 13**

1. Расчет транспортных коэффициентов на основе уравнения Больцмана в “ $\tau$  – приближении”. Коэффициенты взаимности Онзагера.
2. Лучеиспускательная способность и коэффициент поглощения тормозного излучения.

**Билет № 14**

1. Термодинамика и равновесный состав химически реагирующего газа.
2. Фоторекомбинация и фотоионизация.

**Билет № 15**

1. Диссоциация двухатомных молекул. Равновесный состав газа при наличии химических реакций.
2. Спектральный коэффициент поглощения плазмы в непрерывном спектре.

**Билет № 16**

1. Расчет состава низкотемпературной плазмы. Снижение потенциала ионизации.
2. Интегральный коэффициент поглощения в непрерывном спектре.

**Билет № 17**

1. Химические реакции и методы расчета скорости реакции: теория столкновений.
2. Связанно-связанные переходы, спектральный коэффициент поглощения в линии.

**Билет № 18**

1. Химические реакции и методы расчета скорости реакции: теория переходного состояния.
2. Полосатые спектры молекул.

**Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:**

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ;

2. Приказ Министерства образования и науки РФ от 19.11.2013 года № 1259 «Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;

3. Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования по направлениям подготовки кадров высшей квалификации: 01.06.01 - “Математика и механика” - приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 866.

Разработчики:

д.ф.-м.н., профессор

С. С. Кацнельсон

## ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ

за 20\_\_/20\_\_ учебный год

В рабочую программу \_\_\_\_\_

для специальности \_\_\_\_\_

вносятся следующие дополнения и/или изменения:

Дополнения и изменения внес \_\_\_\_\_

(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ТПМ Института

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

протокол № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой ТПМ \_\_\_\_\_

(подпись)

(Ф.И.О.)