

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А. И. ГЕРЦЕНА»



Направление подготовки
09.03.01 Информатика и вычислительная техника

направленность (профиль)
«Технологии разработки программного обеспечения и обработки больших
данных»

Курсовая работа
по дисциплине «Информационные технологии в физике»

«Вычислительный эксперимент по исследованию влияния температуры и
давления на теплопроводность газа»

Обучающегося 1 курса
очной формы обучения
Фролова Андрея Алексеевича

Руководитель курсовой работы:
кандидат педагогических наук, доцент,
доцент
Гончарова Светлана Викторовна

Санкт-Петербург
2024

Оглавление

Введение.....	3
Теоретическая часть.....	4
Введение в проблему	4
Физическая интерпретация модели.....	4
Исходные данные для расчета	5
Этапы вычислений Для проведения эксперимента выполняются следующие шаги:	7
Ограничения эксперимента.....	8
Практическая часть.	9
График зависимости $k(T)$	9
График зависимости $k(P)$	9
3D-график зависимости $k(T, P)$	10
Общие выводы по графикам зависимости теплопроводности k :.....	10
Приложения.	12
Библиография.	15

Введение.

Современная наука и техника предъявляют высокие требования к моделированию процессов теплообмена, особенно в условиях изменяющихся температуры и давления. Теплопроводность газа — это одна из ключевых характеристик, определяющая эффективность теплопередачи. Изучение влияния температуры и давления на теплопроводность позволяет точнее прогнозировать поведение газов в высокотемпературных и высоконапорных системах, что важно для таких областей, как энергетика, машиностроение, аэродинамика и химическая промышленность.

Актуальность работы.

На сегодняшний день во многих инженерных задачах требуется точный расчёт теплопроводности. Если не учитывать её изменение при различных температурах и давлениях, это может привести к ошибкам в работе оборудования. Поэтому важно изучить, как эти параметры влияют на теплопроводность, и найти способы точного её расчёта.

Работа актуальна, потому что её результаты можно использовать в реальных инженерных расчётах. Например, полученные данные помогут улучшить системы теплообмена или разработать более эффективные энергетические установки.

Цель работы.

Целью работы является исследование влияния температуры и давления на теплопроводность газа с использованием эмпирической модели, подтвержденной справочными данными для воздуха.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Провести теоретический обзор зависимости теплопроводности газа от температуры и давления с использованием доступных эмпирических моделей.
- 2) Выявить основные параметры, влияющие на теплопроводность газа, и определить их значения для дальнейших расчётов.
- 3) Определить диапазоны температур и давлений, которые будут рассмотрены в ходе исследования, и обосновать их выбор.
- 4) Построить зависимости теплопроводности от температуры и давления, а также их комбинированное влияние.
- 5) Проанализировать полученные зависимости, выявить закономерности и определить наиболее значимые факторы, влияющие на теплопроводность газа.

Теоретическая часть.

Введение в проблему

Теплопроводность газа — это процесс переноса тепла через среду за счет хаотического движения молекул. Она играет ключевую роль в термодинамике, теплообмене и инженерных расчетах.

Зависимость теплопроводности газа от температуры и давления обусловлена:

- Увеличением средней кинетической энергии молекул с ростом температуры.
- Изменением плотности и частоты столкновений молекул с ростом давления.

Теплопроводность газа k рассчитывается по эмпирической зависимости, которая базируется на кинетической теории:

$$k \propto \rho \cdot c_p \cdot \lambda,$$

где:

- ρ — плотность газа,
- c_p — теплоёмкость при постоянном давлении,
- λ — длина свободного пробега молекул.

Эта формула усложняется для реальных газов, так как свойства газа зависят от внешних условий.

Физическая интерпретация модели.

Эмпирическая формула теплопроводности $k(T, P)$ была выбрана на основе фундаментальных законов термодинамики и кинетической теории газов. Она отражает следующее:

1) Зависимость от температуры:

- При повышении температуры молекулы газа получают больше кинетической энергии, что увеличивает их способность переносить тепло.

- Показатель n характеризует скорость роста теплопроводности с температурой. Для большинства газов n лежит в диапазоне 0.7 – 1.0

2) Зависимость от давления:

- С увеличением давления плотность газа возрастает, что увеличивает частоту столкновений молекул. Это приводит к увеличению теплопроводности, однако эффект давления выражен слабее, чем эффект температуры, что объясняется меньшим значением m ($m < n$)

3) Фактические ограничения модели:

- При очень низких давлениях ($P \rightarrow 0$) теплопроводность ограничивается длиной свободного пробега молекул.
- При экстремально высоких давлениях ($P \rightarrow \infty$) возможны нелинейные эффекты, которые модель не учитывает.

Формула для расчета теплопроводности:

$$k(T, P) = k_0 * \left(\frac{T}{T_0}\right)^n * \left(\frac{P}{P_0}\right)^m,$$

где:

- k_0 – теплопроводность газа при стандартных условиях (T_0, P_0),
- T, P – текущие значения температуры и давления,
- n, m – показатели степени.

Исходные данные для расчета

Для эксперимента используется воздух (состав: 78% азота, 21% кислорода 1% другие газы). Основные параметры взяты из табличных данных:

Параметр	Значение
k_0	$0.026 \frac{\text{Вт}}{\text{м*К}}$
T_0	300К
P_0	0.1 МПа
n	0.76

m	0.25
Диапазон температур	300К – 1500К (Шаг 100К)
Диапазон давления	0.1МПа – 10Мпа (шаг 0.5 МПа)

Пояснение к выбору единиц измерения:

1) Температура(T) – Кельвины (K):

- Кельвины являются стандартной единицей измерения температуры в научных расчетах. Они позволяют учитывать абсолютное нулевое значение температуры (0 K), при котором движение молекул останавливается
- Использование Кельвинов исключает отрицательные значения температуры, что важно для корректного расчета теплопроводности

2) Давление(P) – Мегапаскали (МПа):

- Паскали (Па) – это стандартная единица давления в системе СИ, но для удобства работы с высокими значениями давления, мы используем Мегапаскали ($1\text{Мпа} = 10^6\text{ Па}$)
- Диапазон давлений 0,1 – 10 МПа выбран, чтобы охватить реальные условия, характерные для атмосферы (от пониженного до повышенного давления, например в компрессорах или турбинах).

3) Теплопроводность(k) – Ватты на метр на Кельвин ($\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$)

- Единицы $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ используются для описания количества тепла, проходящего через единичный слой газа толщиной 1 м, при разности температур 1 К. Это стандартная единица измерения теплопроводности в физике и инженерии.

4) Показатели степени (n и m):

- $n = 0.76$: взято из экспериментальных данных, которые показывают, что теплопроводность воздуха растет почти линейно с температурой в рассматриваемом диапазоне.

- $m = 0.25$: значение для давления указывает на слабое, но заметное влияние плотности воздуха на теплопроводность. Так же взято из экспериментальных данных.

5) Диапазон температур и давлений:

- Температура (300 – 1500 K)
Нижний предел 300K соответствует комнатной температуре. Верхний предел 1500K выбран, чтобы охватить высокотемпературные процессы, например, в двигателях или турбинах.
- Давление (0.1 – 10.1 МПа)
Нижний предел 0.1 Мпа представляет разреженные условия, характерные для высотной атмосферы. Верхний предел 10.1 Мпа охватывает высокое давление, встречающееся в компрессорах и промышленных системах.

Этапы вычислений

Для проведения эксперимента выполняются следующие шаги:

- 1) Задание диапазонов температур и давлений.
- 2) Вычисление теплопроводности для каждого сочетания T и P:

$$k(T, P) = k_0 * \left(\frac{T}{T_0}\right)^n * \left(\frac{P}{P_0}\right)^m,$$

- 3) Построение графиков. Для анализа результатов эксперимента будут построены три графика:

- График зависимости теплопроводности от давления ($k(P)$):
Температура фиксирована.
Цель: показать, как давление влияет на теплопроводность при неизменной температуре.
- График зависимости теплопроводности от температуры ($k(T)$):
Давление фиксировано.
Цель: показать, как температура влияет на теплопроводность при неизменном давлении.
- 3D-график зависимости теплопроводности от температуры и давления ($k(T, P)$):

Температура и давление изменяются одновременно.

Цель: визуализировать комбинированное влияние температуры и давления на теплопроводность.

Ограничения эксперимента

- Предполагается, что воздух ведет себя как идеальный газ.
- Формула применима только в диапазоне температур (300 – 1500 К) и давлении (0.1 – 10 МПа).
- Фазовые переходы не учитываются (например, конденсация газа).

Практическая часть.

График зависимости $k(T)$.

График зависимости $k(T)$ с неизменным значением $P = 1.0$ МПа можно наблюдать в приложении 1.

1) Физический смысл:

а. Основное влияние температуры на теплопроводность:

- Увеличение температуры связано с ростом средней кинетической энергии молекул газа. Чем выше энергия молекул, тем быстрее передается тепло в среде, что приводит к увеличению теплопроводности.

Этот график особенно полезен для оценки поведения теплопроводности в процессах, где давление остаётся неизменным (например, в камерах сжатия при постоянном атмосферном давлении).

2) Особенности графика:

- а. На низких температурах ($T < 600$ К) рост теплопроводности менее выражен. Это связано с меньшей скоростью молекул газа и их слабым взаимодействием.
- б. На высоких температурах ($T > 1000$ К) теплопроводность растет быстрее из-за увеличения свободного пробега молекул.

График зависимости $k(P)$.

График зависимости $k(P)$ при неизменном значении $T = 600$ К можно наблюдать в приложении 2.

1) Физический смысл:

а. Роль давления в увеличении плотности газа:

- При увеличении давления молекулы газа становятся ближе друг к другу, что увеличивает частоту их столкновений.
- Увеличение плотности способствует более эффективной передаче тепла, что и приводит к росту теплопроводности

Этот график важен для процессов с изменяющимся давлением (например, в турбомашинах, компрессорах или газопроводах).

2) Особенности графика:

- a. На малых давлениях ($P < 2.0$ МПа) рост k выражен сильнее. В этом диапазоне увеличение плотности газа оказывает заметное влияние на передачу тепла.
- b. При высоких давлениях ($P > 5.0$ МПа) зависимость становится практически плоской. Это связано с тем, что при высоких давлениях плотность достигает насыщения, и дальнейшее сжатие уже мало влияет на теплопроводность.

3D-график зависимости $k(T, P)$.

График зависимости $k(T, P)$ можно наблюдать в приложении 3.

1) Физический смысл:

- a. Комбинированное влияние температуры и давления:
 - Температура напрямую влияет на кинетическую энергию молекул и длину их свободного пробега.
 - Давление влияет на плотность газа, увеличивая частоту столкновений молекул.

Этот график наиболее полезен для анализа реальных процессов, где оба параметра изменяются одновременно, например, в реактивных двигателях, энергетических установках или при моделировании процессов теплообмена.

2) Особенности графика:

- a. Температура оказывает значительно более влияние на k , что выражается крутым наклоном поверхности вдоль оси T .
- b. Давление оказывает более слабое влияние, особенно при высоких значениях P , что видно по “уплощению” поверхности вдоль оси P .
- c. На низких значениях T и P теплопроводность минимальная, что соответствует реальным физическим свойствам газа.

Общие выводы по графикам зависимости теплопроводности k :

- 1) Температура как основной фактор.

Влияние температуры на теплопроводность газа значительно сильнее, чем влияние давления. Это связано с фундаментальными процессами передачи энергии между молекулами, которые интенсивно зависят от кинетической энергии молекул, определяемой температурой.

2) Давление как второстепенный фактор.

Давление играет заметную роль в изменении теплопроводности только при низких температурах и малых значениях давления. При высоких значениях давление оказывает менее значительное влияние.

3) Совместное влияние параметров:

Максимальная теплопроводность достигается при одновременном увеличении температуры и давления, однако основной вклад в изменение величины вносит температура.

4) Практическая применимость:

Полученные зависимости позволяют моделировать поведение теплопроводности газа в различных инженерных процессах, таких как теплообмен в энергетических установках, высокотемпературные системы и компрессоры.

5) Адаптивность модели:

Представленная модель с эмпирическими коэффициентами n и m показывает согласованность с теоретическими ожиданиями и может быть применена для анализа теплопроводности других газов с соответствующей настройкой параметров.

Приложения.

Приложение 1.

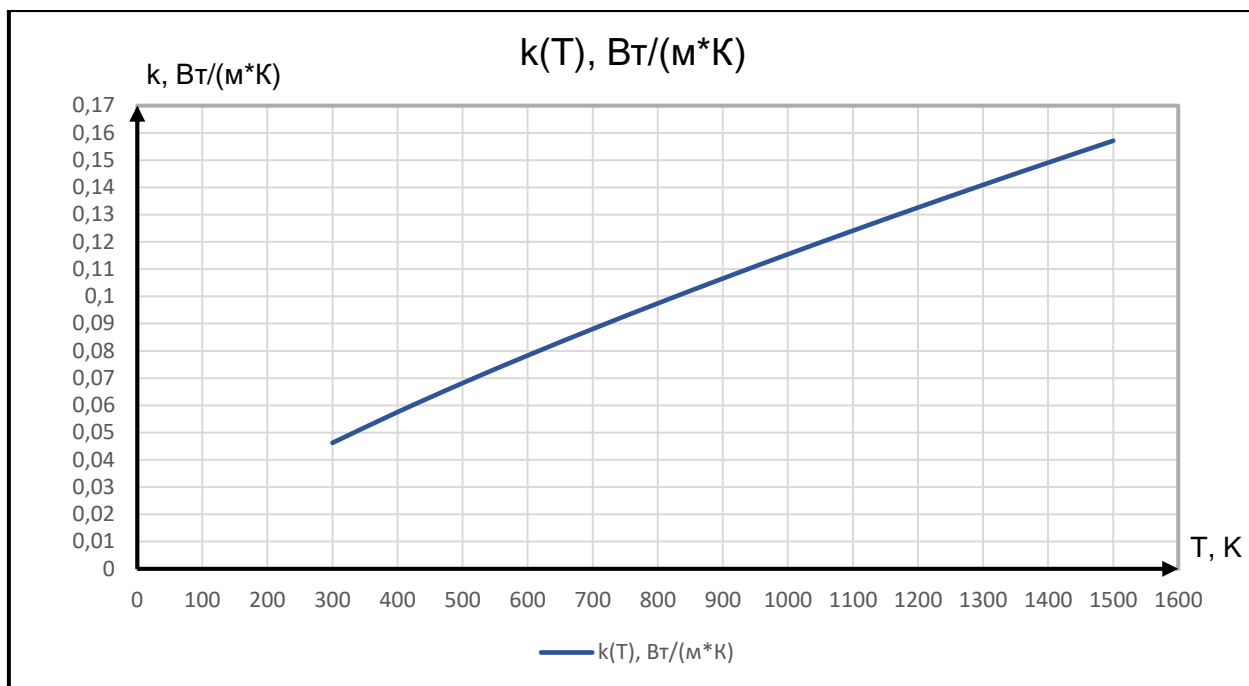
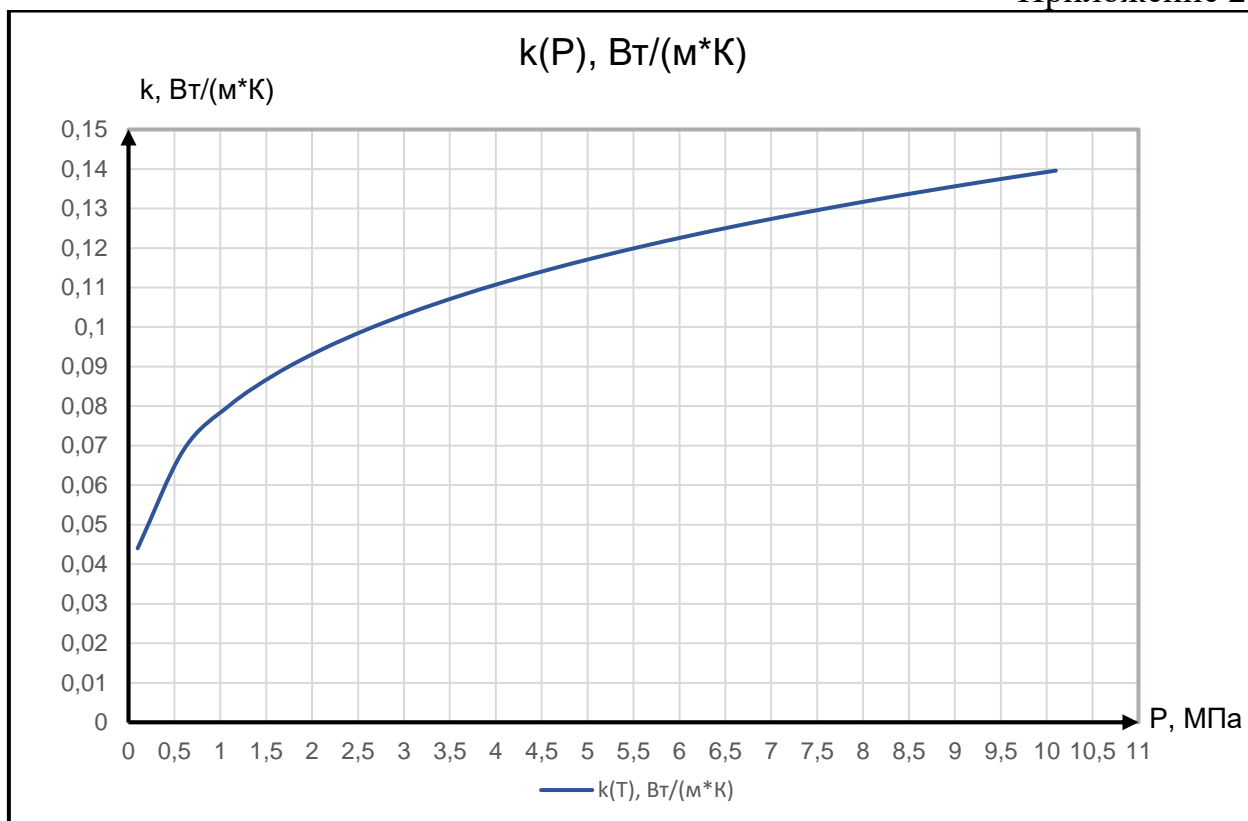


Рисунок 1. График зависимости $k(T)$.

Рисунок 2. График зависимости $k(P)$.

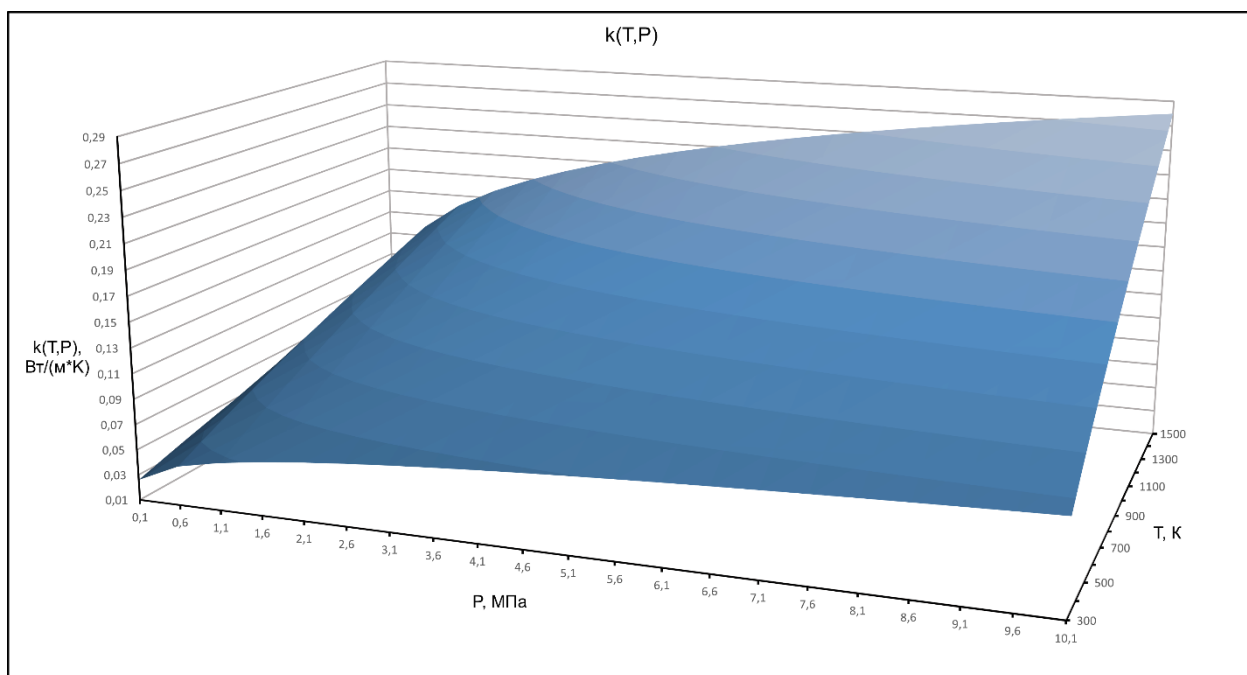


Рисунок 3. График зависимости $k(T,P)$.

Библиография.

1. Гусев, А. А. Механика жидкости и газа: учебник для вузов / А. А. Гусев. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 232 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05485-9. / Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/535604> (дата обращения: 15.11.2024). — Текст: электронный.
2. Грабовский, Р. И. Курс физики / Р. И. Грабовский. — 14-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 608 с. — ISBN 978-5-507-47391-5. / Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://reader.lanbook.com/book/367019> (дата обращения: 15.11.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей. — Текст: электронный.
3. Кораблев, В. А. Лабораторный практикум по курсу теория тепло- и массообмена. Общая часть: учебное пособие / Н.Ф. Гусарова. - Редакционноиздательский отдел Университета ИТМО. - URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1928.pdf> (дата обращения: 15.11.2024). - Режим доступа: Электронно-библиотечная система ИТМО. - Текст: электронный.
4. Крайко А.Н. Механика жидкости и газа. Избранное / ред. А. Н. Крайко. — Москва: Физматлит, 2003. — 384 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69129> (дата обращения: 15.11.2024). — ISBN 978-5-9221-0444-9. — Текст: электронный.
5. Кузнецов, В. А. Гидрогазодинамика: учебное пособие для вузов / В. А. Кузнецов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 120 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11813-1. / Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/542712> (дата обращения: 15.11.2024). — Текст: электронный.
6. Лебедев, В. М. Программирование на VBA в MS Excel: учебное пособие для вузов / В. М. Лебедев. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 312 с. — (Высшее образование). — ISBN 978- 5-534-15949-3. / Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL:

- <https://urait.ru/bcode/536729> (дата обращения: 15.11.2024). — Текст: электронный.
7. Попов, И. С. Современные методы математического моделирования задач теоретической и математической физики: учебно-методическое пособие: [16+] / И. С. Попов; Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского. — Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского (ОмГУ), 2024. — 68 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=714123> (дата обращения: 15.11.2024). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-7779-2672-2. — Текст: электронный.
 8. Попов, И. С. Численные методы и математическое моделирование в задачах теоретической физики: учебно-методическое пособие: [16+] / И. С. Попов, В. Н. Бородихин; Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского. — Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского (ОмГУ), 2024. — 53 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=714122> (дата обращения: 15.11.2024). — ISBN 978-5-7779-2670-8. — Текст: электронный.
 9. Прикладная информатика: учебное пособие / составитель Т. Ю. Гусева. — пос. Караваево: КГСХА, 2021. — 96 с. / Лань: электроннобиблиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/252020> (дата обращения: 15.11.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей. — Текст: электронный.
 10. Стародубцева, Г. П. Физика. Курс лекций: учебное пособие для вузов / Г. П. Стародубцева, С. И. Любая, Е. И. Рубцова. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 156 с. — ISBN 978-5-8114-7521-6. — URL: <https://e.lanbook.com/book/174968> (дата обращения: 15.11.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей. — Лань: электронно-библиотечная система. — Текст: электронный.