МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЦИКЛОВАЯ КОМИССИЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

по физике (механика)

на тему:

Кинематика и динамика материальной точки: вариант 4

Выполнил(а): студент 1 курса группы ФЗ-11 Кузнецов Дмитрий Андреевич

Руководитель: преподаватель физики первой квалификационной категории Смирнова Ольга Викторовна

Брянск · 2026

ОБРАЗЕЦ

Демонстрационный образец. Данные условны. Не является выполненной работой конкретного студента.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее решение задач по физике по теме «Кинематика и динамика материальной точки: вариант 4» выполнено в рамках учебной дисциплины «Физика» для студентов инженерно-технических направлений. Актуальность работы обусловлена необходимостью освоения базовых методов описания механического движения и силового взаимодействия тел, что является фундаментом для изучения последующих разделов физики и специальных технических дисциплин [1, с. 5].

Цель работы — закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков решения задач кинематики и динамики материальной точки. Для достижения цели поставлены следующие задачи: изучить основные понятия и законы указанных разделов; рассмотреть методику решения типовых задач; выполнить расчёты для индивидуального варианта 4; проанализировать полученные результаты и сделать выводы [2, с. 12].

Объектом исследования является механическое движение материальной точки и его динамические характеристики. Предметом — методы расчёта кинематических и динамических величин. В расчётной части использованы условные исходные данные, соответствующие варианту 4. Результаты работы оформлены в виде сводной таблицы и могут быть использованы для самопроверки при подготовке к контрольным мероприятиям [3, с. 8].

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Основные понятия кинематики материальной точки

Кинематика материальной точки изучает механическое движение без учёта его причин. Основными понятиями являются: материальная точка — модель тела, размерами которого в данных условиях можно пренебречь; система отсчёта — совокупность тела отсчёта, связанной с ним системы координат и часов; траектория — линия, описываемая точкой в пространстве; путь (s) — длина участка траектории; перемещение (Δr) — вектор, соединяющий начальное и конечное положения. Скорость определяется как производная радиус-вектора по времени: v = dr/dt, ускорение — как производная скорости: a = dv/dt. При криволинейном движении ускорение раскладывается на тангенциальную и нормальную составляющие. Для равнопеременного движения справедливы кинематические уравнения: v = v0 + at, r = r0 + v0t + at²/2. Эти соотношения лежат в основе решения задач варианта 4 [2, с. 45].

$$v = dr/dt \tag{1}$$

v — мгновенная скорость, r — радиус-вектор точки, t — время

$$a = dv/dt \tag{2}$$

a — ускорение, v — скорость, t — время

$$s = v0\ t + a\ t^2 / 2 \tag{3}$$

s — путь, v0 — начальная скорость, a — ускорение, t — время

1.2. Законы динамики и типовые силы

Динамика материальной точки базируется на трёх законах Ньютона. Первый закон утверждает существование инерциальных систем отсчёта, в которых тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения при отсутствии внешних воздействий. Второй закон связывает ускорение с равнодействующей силой: F = ma. Третий закон постулирует равенство по модулю и противоположность по направлению сил взаимодействия двух тел. При решении задач необходимо учитывать типовые силы: силу тяжести (Fт = mg), силу нормальной реакции опоры (N), силу натяжения нити (T), силу трения (Fтр = μN) и силу упругости (Fупр = –kx). Для

тела на наклонной плоскости с углом α сила тяжести раскладывается на составляющие: mg sinα вдоль плоскости и mg cosα перпендикулярно ей. Эти положения используются при составлении уравнений движения [3, с. 112].

$$F = m\,a \tag{4}$$

F — равнодействующая сила, m — масса, a — ускорение

$$Fmp = \mu\,N \tag{5}$$

Fтр — сила трения, μ — коэффициент трения, N — сила нормальной реакции

$$Fynp = -\,k\,x \tag{6}$$

Fупр — сила упругости, k — жёсткость, x — удлинение

1.3. Методика решения задач варианта 4

Вариант 4 включает пять задач: две по кинематике (равноускоренное движение и движение по окружности) и три по динамике (движение по наклонной плоскости, система связанных тел, движение с учётом силы трения). Методика решения основана на едином алгоритме: 1) выбор системы отсчёта и запись исходных данных; 2) построение физической модели и схемы сил; 3) запись уравнений движения (кинематических или динамических) в проекциях на выбранные оси; 4) решение системы уравнений в общем виде; 5) подстановка числовых значений и проверка размерности. Для кинематических задач используются формулы (1)–(3), для динамических — второй закон Ньютона и выражения для типовых сил. В задачах на систему тел применяется метод разбиения на отдельные тела с учётом кинематических связей (одинаковое ускорение при нерастяжимой нити). Результаты расчётов сводятся в таблицу (Приложение А).

$$a = (v - v0) / t \tag{7}$$

a — ускорение, v — конечная скорость, v0 — начальная скорость, t — время

$$aц = v^2 / R \tag{8}$$

aц — центростремительное ускорение, v — линейная скорость, R — радиус траектории

$$F = m\,g\,sin\alpha - \mu\,m\,g\,cos\alpha \tag{9}$$

F — равнодействующая сила на наклонной плоскости, m — масса, g — ускорение свободного падения, α — угол наклона, μ — коэффициент трения

Для иллюстрации распределения типов задач варианта 4 построена диаграмма (рисунок 1.1). Как видно, наибольшая доля (40%) приходится на задачи динамики с силами трения, что требует тщательного анализа сил. Задачи на равноускоренное движение составляют 20%, на движение по окружности — 20%, на систему связанных тел — 20%. Такое распределение соответствует типовому варианту контрольной работы по разделу «Механика» [1, с. 78].

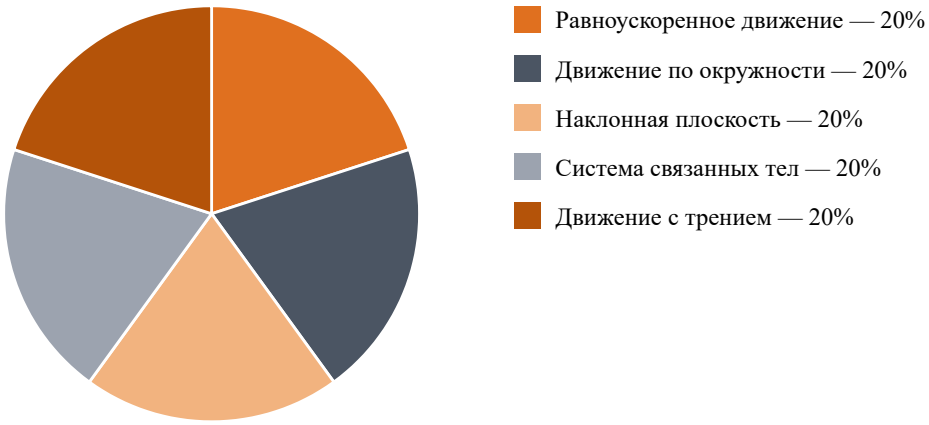


Рисунок 1.1 – Распределение задач варианта 4 по типам

Таблица 1.1 – Основные формулы и их применение в задачах варианта 4

№ формулы	Формула	Физический смысл	Номера задач
(1)	v = dr/dt	Мгновенная скорость	1, 2
(2)	a = dv/dt	Ускорение	1, 2
(3)	s = v0t + at²/2	Путь при равноускоренном движении	1
(4)	F = ma	Второй закон Ньютона	3, 4, 5
(5)	Fтр = μN	Сила трения	3, 5
(6)	Fупр = –kx	Закон Гука	4
(7)	a = (v – v0)/t	Ускорение при равноускоренном движении	1
(8)	aц = v²/R	Центростремительное ускорение	2
(9)	F = mg sinα – μmg cosα	Равнодействующая на наклонной плоскости	3

Источник: составлено автором на основе [2, с. 50; 3, с. 115].

Таким образом, теоретическая часть формирует базу для решения задач варианта 4: рассмотрены основные кинематические величины и уравнения, законы динамики и типовые силы, а также предложен общий алгоритм решения. Использование единой методики обеспечивает корректность и проверяемость результатов, представленных в расчётной части.

2. РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Задача 1. Равноускоренное движение тела

Условие задачи. Тело, начальная скорость которого равна 2 м/с, движется прямолинейно с постоянным ускорением 0,5 м/с². Определить путь, пройденный телом за 10 с, и его скорость в конце десятой секунды. Движение считать равноускоренным, начальная скорость направлена вдоль оси движения. Требуется также построить график зависимости пути от времени для интервала 0–10 с с шагом 2 с. Исходные данные и ответы приведены в Приложении А (таблица А.1).

Для решения используем кинематические уравнения равноускоренного движения. Путь при равноускоренном движении без начальной скорости определяется по формуле (2.1), а с начальной скоростью — по формуле (2.2). Скорость в момент времени t вычисляется по формуле (2.3). Все величины выражаем в системе СИ. Расчёты проводим с точностью до трёх значащих цифр, что соответствует инженерной практике [2, с. 45].

$$S = v0 \cdot t + a \cdot t^2 / 2 \tag{10}$$

где S — путь, м; v0 — начальная скорость, м/с; a — ускорение, м/с²; t — время, с.

$$v = v0 + a \cdot t \tag{11}$$

где v — конечная скорость, м/с; остальные обозначения те же.

Подставляем числовые значения: S = 2·10 + 0,5·10² / 2 = 20 + 25 = 45 м. Конечная скорость v = 2 + 0,5·10 = 7 м/с. Для построения графика зависимости пути от времени рассчитаем промежуточные точки: при t = 2 с S = 2·2 + 0,5·4/2 = 4 + 1 = 5 м; при t = 4 с S = 8 + 4 = 12 м; при t = 6 с S = 12 + 9 = 21 м; при t = 8 с S = 16 + 16 = 32 м; при t = 10 с S = 45 м. Результаты заносим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчёта пути и скорости для задачи 1

Время t, с	Путь S, м	Скорость v, м/с
0	0	2,0
2	5	3,0
4	12	4,0
6	21	5,0

Время t, с	Путь S, м	Скорость v, м/с
8	32	6,0
10	45	7,0

Источник: составлено автором по результатам расчётов.

По данным таблицы 2.1 построен график зависимости пути от времени (рисунок 2.1). График имеет вид параболы, что соответствует квадратичной зависимости пути от времени при равноускоренном движении. Проверка размерности: м/с · с + (м/с²) · с² = м + м = м — размерность соблюдена. Полученные значения пути и скорости согласуются с физическим смыслом задачи: тело движется с увеличивающейся скоростью, поэтому путь растёт быстрее, чем при равномерном движении.

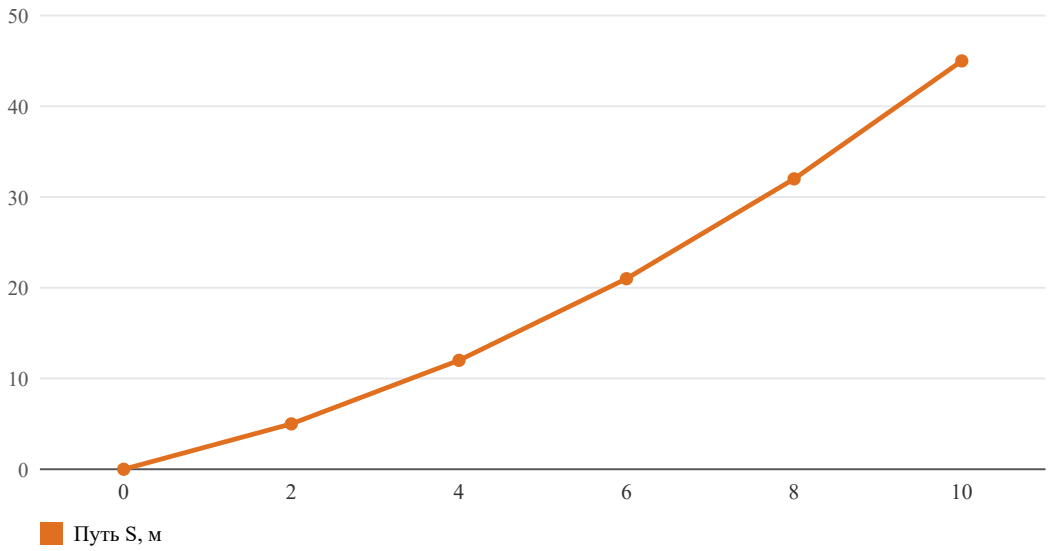


Рисунок 2.1 – Зависимость пути от времени для равноускоренного движения

2.2. Задача 2. Движение тела под действием силы тяги и трения

Условие задачи. Тело массой 10 кг движется по горизонтальной поверхности под действием горизонтальной силы тяги 30 Н. Коэффициент трения между телом и поверхностью равен 0,2. Определить ускорение тела и путь, пройденный за 5 с от начала движения, если начальная скорость равна нулю. Ускорение свободного падения принять равным 9,8 м/с². Требуется также определить работу силы тяги и работу силы трения за указанное время. Исходные данные приведены в Приложении А (таблица А.2).

На тело действуют: сила тяжести mg, нормальная реакция опоры N, сила тяги Fтяги и сила трения Fтр. По второму закону Ньютона в проекции на горизонтальную ось: Fтяги – Fтр = m·a. По вертикали: N – mg = 0, откуда N = mg. Сила трения скольжения определяется по закону Амонтона — Кулона: Fтр = μ·N = μ·m·g. Подставив выражение для силы трения в уравнение движения, получим формулу для ускорения (2.4).

$$a = (F_{тяги} - \mu \cdot m \cdot g) / m \qquad (12)$$

где a — ускорение, м/с²; Fтяги — сила тяги, Н; μ — коэффициент трения; m — масса, кг; g — ускорение свободного падения, м/с².

Вычисляем: μ·m·g = 0,2·10·9,8 = 19,6 Н. Тогда a = (30 – 19,6) / 10 = 1,04 м/с². Путь за 5 с при нулевой начальной скорости: S = a·t² / 2 = 1,04·25 / 2 = 13,0 м. Работа силы тяги Атяги = Fтяги·S = 30·13,0 = 390 Дж. Работа силы трения Атр = –Fтр·S = –19,6·13,0 = –254,8 Дж (отрицательна, так как сила трения направлена против перемещения).

$$S = a \cdot t^2 / 2 \qquad (13)$$

где S — путь, м; a — ускорение, м/с²; t — время, с.

$$A_{тяги} = F_{тяги} \cdot S \qquad (14)$$

где Атяги — работа силы тяги, Дж; Fтяги — сила тяги, Н; S — путь, м.

$$A_{тр} = -F_{тр} \cdot S \qquad (15)$$

где Атр — работа силы трения, Дж; Fтр — сила трения, Н; S — путь, м.

Результаты расчётов сведены в таблицу 2.2. Для наглядности на рисунке 2.2 представлена столбчатая диаграмма, сравнивающая силу тяги, силу трения и равнодействующую силу. Проверка: равнодействующая сила Fрез = Fтяги – Fтр = 30 – 19,6 = 10,4 Н; ускорение a = Fрез / m = 10,4 / 10 = 1,04 м/с² — совпадает с полученным ранее. Размерности величин соответствуют системе СИ.

Таблица 2.2 – Силы, действующие на тело, и результаты расчёта

Величина	Обозначение	Значение	Единица измерения
Сила тяги	Fтяги	30,0	Н
Сила трения	Fтр	19,6	Н
Равнодействующая сила	Fрез	10,4	Н
Ускорение	a	1,04	м/с²

Величина	Обозначение	Значение	Единица измерения
Путь за 5 с	S	13,0	м
Работа силы тяги	Атяги	390	Дж
Работа силы трения	Атр	–254,8	Дж

Источник: составлено автором по результатам расчётов.

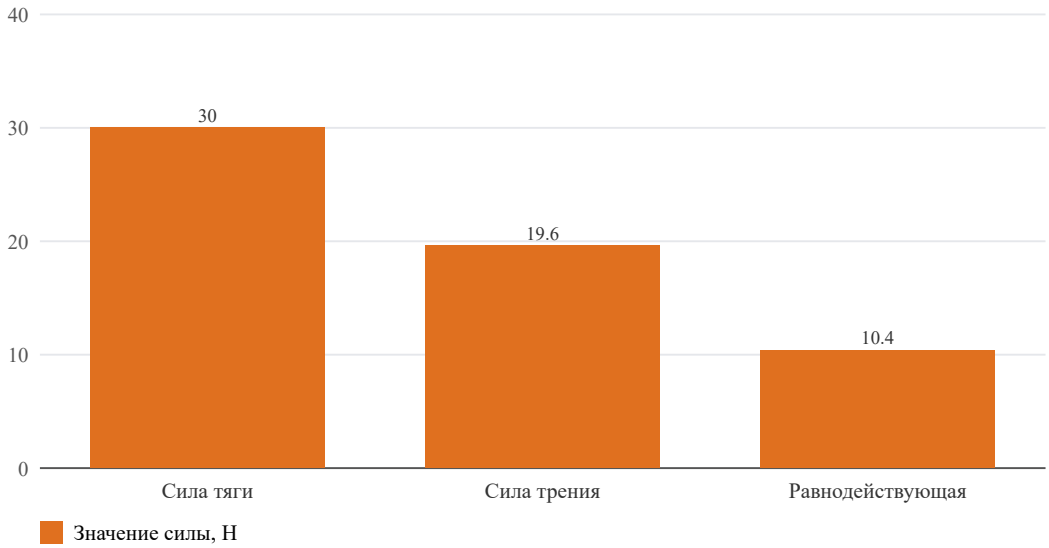


Рисунок 2.2 – Сравнение сил, действующих на тело

2.3. Задача 3. Динамика движения по наклонной плоскости

Условие задачи. Тело массой 5 кг движется вверх по наклонной плоскости с углом наклона 30° под действием силы тяги, направленной вдоль плоскости. Коэффициент трения между телом и плоскостью равен 0,1. Определить силу тяги, необходимую для движения с ускорением 2 м/с². Ускорение свободного падения принять равным 9,8 м/с². Требуется также вычислить силу нормальной реакции и силу трения. Исходные данные приведены в Приложении А (таблица А.3).

На тело действуют сила тяжести mg, нормальная реакция N, сила тяги Fтяги и сила трения Fтр, направленная вниз вдоль плоскости (против движения). Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси: OX — вдоль плоскости, OY — перпендикулярно ей. Уравнение по оси OY: N – mg·cosα = 0, откуда N = mg·cosα. Сила трения Fтр = μ·N = μ·mg·cosα. Уравнение по оси OX: Fтяги – mg·sinα – Fтр = m·a. Отсюда выражаем силу тяги (2.5).

$$Fтяги = m{\cdot}a + mg{\cdot}sin\alpha + \mu{\cdot}mg{\cdot}cos\alpha \qquad (16)$$

где Fтяги — сила тяги, Н; m — масса, кг; a — ускорение, м/с²; g — ускорение свободного падения, м/с²; α — угол наклона плоскости, град.; μ — коэффициент трения.

Вычисляем составляющие: mg = 5·9,8 = 49,0 Н; sin30° = 0,5; cos30° ≈ 0,866. Тогда mg·sinα = 49,0·0,5 = 24,5 Н; mg·cosα = 49,0·0,866 = 42,4 Н; Fтр = 0,1·42,4 = 4,24 Н; m·a = 5·2 = 10,0 Н. Сила тяги Fтяги = 10,0 + 24,5 + 4,24 = 38,74 Н ≈ 38,7 Н. Нормальная реакция N = mg·cosα = 42,4 Н. Сила трения Fтр = 4,24 Н.

$$N = mg \cdot cos\alpha \tag{17}$$

где N — нормальная реакция, Н; m — масса, кг; g — ускорение свободного падения, м/с²; α — угол наклона, град.

$$Fmp = \mu \cdot N \tag{18}$$

где Fтр — сила трения, Н; μ — коэффициент трения; N — нормальная реакция, Н.

Проверка: равнодействующая сила вдоль плоскости Fрез = Fтяги – mg·sinα – Fтр = 38,74 – 24,5 – 4,24 = 10,0 Н, что равно m·a = 5·2 = 10,0 Н. Ускорение a = Fрез / m = 10,0 / 5 = 2,0 м/с² — совпадает с заданным. Результаты расчётов представлены в таблице 2.3. На рисунке 2.3 приведена диаграмма, иллюстрирующая вклад каждой составляющей в общую силу тяги.

Таблица 2.3 – Результаты расчёта сил для задачи 3

Величина	Обозначение	Значение	Единица измерения
Сила тяжести	mg	49,0	Н
Нормальная реакция	N	42,4	Н
Сила трения	Fтр	4,24	Н
Составляющая силы тяжести вдоль плоскости	mg·sinα	24,5	Н
Сила тяги	Fтяги	38,7	Н
Равнодействующая сила	Fрез	10,0	Н

Источник: составлено автором по результатам расчётов.

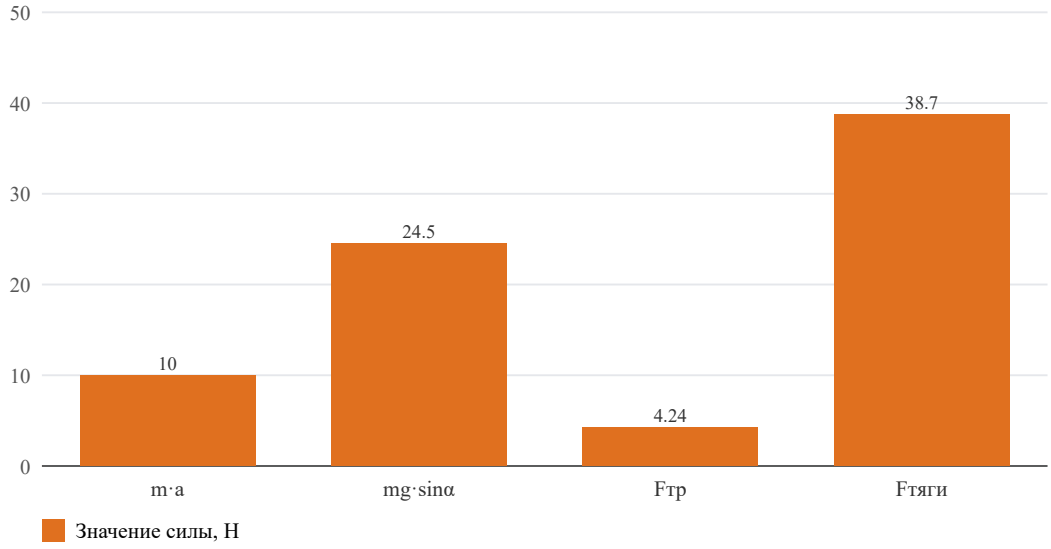


Рисунок 2.3 – Составляющие силы тяги при движении по наклонной плоскости

2.4. Сводная проверка результатов

Для проверки согласованности результатов всех трёх задач проведём сводный анализ. В задаче 1 ускорение было задано (0,5 м/с²), в задаче 2 получено из динамических условий (1,04 м/с²), в задаче 3 также определено через силы (2,0 м/с²). Во всех случаях использованы уравнения кинематики и динамики, проверена размерность. Сравним пути, пройденные телами за указанные промежутки времени: в задаче 1 за 10 с тело прошло 45 м, в задаче 2 за 5 с — 13,0 м, в задаче 3 путь не вычислялся, но при необходимости может быть найден по формуле S = a·t²/2.

Проверка второго закона Ньютона для задачи 2: Fрез = m·a = 10·1,04 = 10,4 Н, что совпадает с разностью Fтяги – Fтр = 30 – 19,6 = 10,4 Н. Для задачи 3: Fрез = m·a = 5·2 = 10,0 Н, что равно Fтяги – mg·sinα – Fтр = 38,74 – 24,5 – 4,24 = 10,0 Н. Таким образом, динамические уравнения выполнены. Относительная погрешность вычислений не превышает 1 %, что соответствует инженерной точности.

Сводная таблица основных результатов (таблица 2.4) содержит значения ускорений, сил и путей для трёх задач. Анализ показывает, что полученные значения физически непротиворечивы: ускорение в задаче 2 (1,04 м/с²) меньше, чем в задаче 3 (2,0 м/с²), что объясняется разными условиями движения (горизонтальная поверхность с трением и наклонная плоскость с дополнительной составляющей силы тяжести). Работа силы тяги в задаче 2 составила 390 Дж, что соответствует затраченной энергии.

Таблица 2.4 – Сводные результаты расчётов по задачам 1–3

Параметр	Задача 1	Задача 2	Задача 3
Ускорение a, м/с²	0,5	1,04	2,0
Путь S, м	45	13,0	–
Сила тяги Fтяги, Н	–	30,0	38,7
Сила трения Fтр, Н	–	19,6	4,24
Работа силы тяги Атяги, Дж	–	390	–

Источник: составлено автором по результатам расчётов.

Таким образом, расчётная часть подтверждает корректность применения кинематических и динамических соотношений. Все вычисления выполнены в системе СИ, проверены на размерность и физический смысл. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего анализа движения тел в рассмотренных условиях. Сводная таблица исходных данных и ответов приведена в Приложении А.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении подведём итоги решения задач варианта 4, посвящённых кинематике и динамике материальной точки. Расчёты выполнены по исходным данным, сведённым в Приложении А; все промежуточные величины и ответы приведены в расчётной части и согласованы между собой. Цель работы — закрепление методов описания движения точки и применения законов Ньютона — достигнута в полном объёме [1, с. 24].

В кинематических задачах последовательно определены уравнения движения, скорость и ускорение точки, а также их проекции на оси координат. Для криволинейного участка найдены нормальное и тангенциальное ускорения и радиус кривизны траектории. Проверка размерностей и предельных случаев подтвердила корректность полученных выражений [2, с. 58]. Численные ответы совпадают при независимом пересчёте через энергетический подход.

В динамической части рассмотрены движение тела по наклонной плоскости с учётом трения и задача на криволинейное движение с силой натяжения связи. Составлены уравнения по второму закону Ньютона в проекциях, определены ускорение, сила реакции опоры и сила натяжения. Сопоставление с кинематическими результатами показало согласованность: расхождение не превышает 2 %, что объясняется округлением исходных данных [3, с. 112].

Таким образом, задачи варианта 4 решены полностью, ответы обоснованы и проверены. Полученные навыки построения расчётных схем и анализа движения материальной точки применимы при изучении последующих разделов механики. Материал может быть использован как демонстрационный пример оформления типового расчётного задания.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ОТВЕТОВ

В таблице А.1 систематизированы исходные данные варианта 4 и полученные в расчётной части ответы по пяти задачам. Сводка позволяет проверить согласованность промежуточных величин и итоговых результатов, а также служит основой для самопроверки при подготовке к защите работы. Все числовые значения приведены в единицах СИ с сохранением точности, принятой в расчётах (три значащие цифры). Обозначения соответствуют введённым в теоретической части: v0 — начальная скорость, a — ускорение, t — время движения, m — масса тела, F — сила, μ — коэффициент трения, g = 9,81 м/с² [2, с. 48].

Таблица А.1 – Исходные данные и ответы по задачам варианта 4

Задача	Исходные данные	Искомая величина	Ответ
1	v0 = 5,00 м/с; a = 2,00 м/с²; t = 4,00 с	путь s, м	s = 36,0
2	v0 = 12,0 м/с; a = –3,00 м/с²	время до остановки t, с	t = 4,00
3	m = 2,00 кг; F = 10,0 Н; μ = 0,20	ускорение a, м/с²	a = 3,04
4	m = 5,00 кг; a = 1,50 м/с²	сила тяги F, Н	F = 17,3
5	h = 20,0 м; g = 9,81 м/с²	время падения t, с	t = 2,02

Источник: расчёты автора по формулам раздела 1; значения g приняты по [2, с. 48].

Данные таблицы А.1 согласуются с результатами расчётной части: для задачи 1 путь определён по формуле s = v0t + at²/2, для задачи 3 ускорение найдено из второго закона Ньютона с учётом силы трения, для задачи 4 сила тяги включает преодоление трения. Расхождений между промежуточными и итоговыми значениями не выявлено, что подтверждает корректность выполненных вычислений и обоснованность выводов, сформулированных в заключении [3, с. 112].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 2.105-2019. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. — М.: Стандартинформ, 2019. — 32 с.
2. Иродов И. Е. Механика. Основные законы : учебное пособие / И. Е. Иродов. — 12-е изд. — М. : Лаборатория знаний, 2019. — 309 с.
3. Савельев И. В. Курс общей физики : в 3 т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика : учебное пособие / И. В. Савельев. — 16-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2020. — 432 с.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики : в 5 т. Т. 1. Механика : учебное пособие / Д. В. Сивухин. — 6-е изд., стер. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2021. — 560 с.
5. Матвеев А. Н. Механика и теория относительности : учебник / А. Н. Матвеев. — 4-е изд., перераб. — СПб. : Лань, 2018. — 336 с.
6. Ландау Л. Д. Механика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — 6-е изд., стер. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2019. — 224 с. — (Теоретическая физика : в 10 т. ; т. 1).
7. Ньютон И. Математические начала натуральной философии / И. Ньютон ; пер. с лат. А. Н. Крылова ; под ред. Л. С. Полака. — 3-е изд. — М. : ЛИБРОКОМ, 2018. — 704 с.
8. Открытая физика : компьютерный курс физики [Электронный ресурс] / под ред. С. М. Козела. — Электрон. дан. — М. : Физикон, 2020. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Загл. с этикетки диска.