



**Козицкий, С. В.** Курс теоретической механики [Текст] : учеб. пособие для студентов и курсантов учеб. заведений мор. профиля / С. В. Козицкий, В. Х. Кириллов, Ф. Н. Иванченко. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Одесса : Атлант, 2013. - 294 с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 293-294. - ISBN 978-966-2361-88-9.

Переработанное и дополненное учебное пособие также ориентировано для использования в высших учебных заведениях морского профиля.

Пособие традиционно включает разделы: статика, кинематика, динамика.

Во втором издании вместе с иллюстрацией решения, по каждому из разделов конкретных задач, возникающих в морской практике, содержатся задания для выполнения курсантами самостоятельных расчетно-графических работ (РГР), что делает изучаемый предмет более познавательным.

Разделы кинематики и динамика точки дополнены теоретической частью задач, связанных с морской тематикой.

Как и в предыдущем издании в учебном пособии содержатся методические указания к решению типовых задач по основным разделам теоретической механики. В примерах решениях некоторых задач, где имеются громоздкие вычисления, продемонстрирована возможность применения современной компьютерной математики Mathcad.

Учебное пособие будет полезным студентам высших и средних технических учебных заведений и преподавателям при организации самостоятельной работы студентов.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Теоретическая механика является обязательной базовой дисциплиной физико-математического цикла для получения высшего и среднего технического образования. Ее изучение способствует расширению научного мировоззрения, повышению общей научной культуры и развитию мышления. Знание теоретической механики, необходимо будущему специалисту для понимания механических явлений и методов воздействия на механизм их протекания. Кроме того, на материале теоретической механики базируются общенаучные и специальные дисциплины, такие как «Гидродинамика», «Сопrotивление материалов», «Теория машин и механизмов», «Теория и

устройство судна», «Теория управления судном», «Механизмы и системы на судне» и другие.

На изучение теоретической механики в высших и средних технических учебных заведениях отводится 2-3 кредита. Поэтому авторам пособий по теоретической механике приходится решать непростую задачу - подобрать теоретический материал, необходимый для усвоения и понимания студентами (курсантами) законов механики и умения их применять при решении практических задач.

В данном пособии, как и в предыдущем, мы ограничились рассмотренным заданием лишь классической теоретической механики, которая включает разделы «Статика», «Кинематика» и «Динамика».

Основная задача преподавания дисциплины «Теоретическая механика» заключается в том, чтобы студенты получили систематизированные и осознанные знания, овладели методами и алгоритмами исследований механических явлений и умели применять полученные знания при решении практических задач.

Для успешного усвоения теоретического материала и его применения при решении практических задач, после каждого из разделов приведены контрольные вопросы, которые составляют основу рабочей программы курса и могут быть использованы при экзаменационно-модульном контроле знаний студентов (курсантов).

Главное отличие данного пособия, от предыдущего и от ныне существующих, заключается в том, что при рассмотрении примеров к изложенному теоретическому материалу - студенты (курсанты) учатся применять общие принципы теоретической механики к решению задач, связанных с их профессиональной деятельностью на морском и речном транспорте. В настоящем пособии по сравнению с предыдущим дополнены теоретической частью разделы кинематика и динамика точки и содержатся задания для выполнения курсантами самостоятельных РГР. Задания для выполнения РГР связаны с морской тематикой и самостоятельное выполнение их курсантами (студентами) будет способствовать более глубокому усвоению теоретического материала курса. В предлагаемом учебном пособии наряду с традиционной методикой изложения курса, проводится также и компьютерная идеология, которая предполагает при решении задач механики использование не только аналитических методов, но и широкое применение численных расчётов с использованием современной системы компьютерной математики Mathcad.

Учебное пособие написано на основе многолетнего собственного опыта авторов, читающих курс «Теоретической механики» в Одесской национальной морской академии, Одесском национальном морском университете, в Одесском мореходном колледже технического флота и Одесской государственной академии холода.

Изложенный в учебном пособии материал базируется на полученных студентами знаниях по курсам «Физика», «Высшая математика» и «Информатика».

Авторы признательны рецензентам: профессору С. К. Асланову; профессору Д. Д. Лещенко, профессору В. А. Гришину за обсуждение данного пособия и уместные замечания по некоторым разделам.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	10
§1. Предмет теоретической механики. Простейшие понятия.....	10
<b>Раздел 1. Статика</b> .....	15
<b>Глава 1. Основные понятия и аксиомы статики</b> .....	15
§1. Предмет статики.....	15
§2. Сила и системы сил.....	15
§3. Момент силы относительно полюса и оси. Момент пары сил.....	17
§4. Аксиомы статики.....	21
§5. Связи и их реакции.....	23
<b>Глава 2. Условия равновесия твёрдого тела</b> .....	29
§1. Элементарные операции и их свойства.....	29
§2. Основная лемма статики.....	29
§3. Основная теорема статики.....	31
§4. Аналитическая форма условий равновесия. Частные случаи уравнений равновесия. Статически определённые и статически неопределённые задачи.....	32
§5. Решение задач статики.....	35
<b>Глава 3. Приведение системы сил к простейшему виду</b> .....	41
§1. Теорема об эквивалентности систем сил.....	41
§2. Теорема Вариньона.....	43
§3. Теорема Пуансо (о приведении системы сил к заданному центру).....	43
§4. Реакции сложных связей. Реакция жёсткой заделки. Трение качения.....	44
§5. Статические инварианты. Частные случаи приведения системы сил.....	46
<b>Глава 4. Центр параллельных сил и центр тяжести</b> .....	49
§1. Центр параллельных сил. Координаты центра параллельных сил.....	50
§2. Центр тяжести.....	51
§3. Центр тяжести объёма, поверхности и линии.....	52
§4. Методы определения центров тяжести.....	54
§5. Определение координат центра тяжести судна в практике судовождения. Статическая остойчивость судна.....	57
§6. Трение швартового каната о цилиндрическую поверхность. Кнехт....	63

<b>Раздел II. Кинематика</b> .....	68
<b>Введение</b> .....	68
<b>Глава 1. Кинематика точки</b> .....	68
§1. Скорость и ускорение точки.....	68
§2. Способы задания движения точки.....	70
2.1. Векторный способ задания движения.....	70
Вектор-функция скалярного аргумента, годограф	
вектор-функции, скорость и ускорение точки при векторном	
способе задания движения.....	70
2.2. Координатный способ задания движения.....	72
Скорость и ускорение точки в декартовых координатах .....	72
2.3. Естественный способ задания движения.....	73
Некоторые понятия дифференциальной геометрии .....	74
Скорость и ускорение точки при естественном способе задания	
Движения.....	77
Частные случаи движения материальной точки.....	80
§3. Решение задач кинематики точки.....	81
<b>Глава 2. Простейшие движения твёрдого тела</b> .....	94
§ 1. Поступательное движение тела.....	94
§2. Вращательное движение твердого тела вокруг неподвижной оси.....	96
Скорость и ускорение точек при вращении тела.....	99
Векторные формулы для скорости и ускорения точек	
при вращении тела.....	101
<b>Глава 3. Сложное движение материальной точки</b> .....	104
§1. Основные понятия.....	104
§2. Сложение скоростей.....	105
§3. Сложение ускорений (теорема Кориолиса).....	106
Ускорение Кориолиса и правило Жуковского.....	108
§4. Движение судна в области постоянного подводного течения.....	110
§5. Расхождение судов, движущихся пересекающимися курсами.....	118
<b>Глава 4. Плоскопараллельное движение твёрдого тела</b> .....	131
§1. Способ задания плоского движения. Уравнения движения.....	131
§2. Разложение плоского движения на простейшие движения .....	132
§3. Скорость точек при плоском движении.....	133
Распределение скоростей плоской фигуры (теорема Эйлера).....	133
Мгновенный центр скоростей (МЦС).....	136
§4. Ускорение точек плоской фигуры.....	138
§5. Кинематика кривошипно-шатунного механизма (КШМ).....	141
§6. Теоретическое исследование силовых и кинетических	
характеристик движения судна на циркуляции.....	144
6.1. Циркуляция судна и периоды циркуляции .....	144

6.2. Краткая теория основных свойств несущего крыла.....	146
6.3. Маневренный период циркуляции.....	147
6.4. Воздействие на корпус судна гидродинамических сил и центробежных сил инерции в маневренный период циркуляции..	148
6.5. Эволюционный и установившийся периоды циркуляции.....	149
6.6 Кинематические характеристики движения судна на циркуляции.....	151
<b>Глава 5. Сложное движение твёрдого тела.....</b>	<b>154</b>
§1. Сложение поступательных движений.....	154
§2. Сложение вращений вокруг параллельных и пересекающихся осей.....	155
2.1. Сложение вращений вокруг параллельных осей.....	155
2.2. Сложение вращений вокруг пересекающихся осей .....	157
<b>Глава 6. Сферическое движение тела. Общий случай движения свободного тела.....</b>	<b>158</b>
§1. Вращение твердого тела вокруг неподвижной точки.....	158
§2. Общий случай движения тела.....	161
<b>Раздел III. Динамика.....</b>	<b>164</b>
Введение. Аксиомы динамики (законы Галилея-Ньютона).....	164
<b>Глава I. Динамика материальной точки.....</b>	<b>167</b>
§1. Дифференциальные уравнения движения материальной точки.....	167
§2. Основные задачи динамики точки.....	168
Примеры исследования динамических характеристик поступа- тельного движения судна при маневрах (прямой ход, реверс и пассивное торможение).....	177
§3. Дифференциальные уравнения относительного движения материальной точки.....	185
§4. Динамическая устойчивость судна.....	186
<b>Глава 2. Введение в динамику системы.....</b>	<b>190</b>
§1. Механическая система. Свойства внутренних сил системы .....	190
§2. Геометрия масс.....	191
Моменты инерции относительно полюса и оси.....	192
Моменты инерции относительно параллельных осей .....	194
Моменты инерции простейших однородных тел .....	195
<b>Глава 3. Общие теоремы динамики точки и системы .....</b>	<b>198</b>
§1. Дифференциальные уравнения движения системы.....	198
§2. Теорема о движении центра масс.....	199
§3. Теорема об изменении количества движения.....	208
Теорема об изменении количества движения точки.....	210
Теорема об изменении количества движения системы .....	211
§4. Теорема об изменении момента количества движения.....	217

Кинетический момент точки и системы.....	217
Кинетический момент тела относительно оси вращения.....	218
Теорема об изменении момента количества движения точки .....	219
Теорема об изменении кинетического момента.....	219
Дифференциальное уравнение вращения тела вокруг неподвижной оси.....	223
Бортовые свободные колебания (раскачивание) судна .....	224
Бортовые колебания судна при малых углах крена и при наличии сил вязкого сопротивления.....	226
Бортовые вынужденные колебания судна при действии на него возмущающего момента с учетом сил вязкого сопротивления.....	229
§5. Теорема об изменении кинетической энергии .....	233
Кинетическая энергия твердого тела.....	236
Теорема об изменении кинетической энергии точки.....	237
Теорема об изменении кинетической энергии системы.....	238
Вычисление работы внешних и внутренних сил твёрдого тела в простейших случаях.....	239
§6. Элементы теории потенциального силового поля.....	241
Важнейшие примеры потенциальных силовых полей материальной точки.....	243
Закон сохранения механической энергии точки .....	245
Случай консервативных сил механической системы.....	245
Однородное поле силы тяжести.....	246
Закон сохранения механической энергии системы.....	247
Примеры применения теоремы об изменении кинетической энергии системы.....	248
<b>Глава 4. Аналитические принципы механики.....</b>	<b>256</b>
§1. Принцип Даламбера.....	257
Уравнения кинетостатики.....	258
Главный вектор и главный момент сил инерции системы.....	259
Определение динамических реакций подшипников при вращении твердого тела вокруг неподвижной оси.....	261
§2. Принцип Лагранжа.....	266
Классификация связей.....	266
Понятие возможных перемещений системы .....	268
Идеальные связи.....	269
Принцип возможных перемещений.....	269
§3. Обобщенный принцип Даламбера - Лагранжа.....	272
<b>Раздел IV. Гироскопы. Гироскопические силы.....</b>	<b>277</b>
§1. Понятие о гироскопе. Кинетический момент быстро	

вращающегося гироскопа.....	277
§2. Свободный трехстепенной гироскоп.....	279
§3. Прецессия трехстепенного гироскопа.....	281
§4. Гироскоп с двумя степенями свободы. Взаимодействие закрепленной оси гироскопа с подшипниками при воздействии на нее силы (пары сил).....	283
§5. Маневры судна и влияние гироскопических сил на его управление.....	287
§6. Килевая качка судна и влияние на его управление гироскопических сил.....	290
§7. Практические расчеты гироскопических сил и их моментов при маневрах и килевой качке судна.....	291
Литература.....	293