

**Х.Р. Рахматулин**  
**Ю.А. Демьянов**

**ПРОЧНОСТЬ  
ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ  
КРАТКОВРЕМЕННЫХ  
НАГРУЗКАХ**



Москва  
Логос  
2009

УДК 531:536.66  
ББК 34.41:22.251  
Р27

*Рецензенты*

*Е.В. Ломакин*, доктор физико-математических наук, профессор

*А.Б. Киселев*, доктор физико-математических наук, профессор

**Рахматулин Х.А.**

Р 27 Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках: Изд. 2-е, дополненное / **Х.А.Рахматулин**, Ю.А. Демьянов — М.: Университетская книга; Логос, 2009. — 512 с.: ил.

**ISBN 978-5-98704-422-7**

Изложены методы расчета интенсивных динамических нагрузок в различных видах техники (авиационной, ракетной и др.), в гражданском промышленном строительстве, сейсмологии, при проведении горных разработок. По сравнению с первым изданием (М.: Наука, 1961) книга дополнена данными новых фундаментальных исследований в области повторных соударений и соударений затупленных тел, продольно-поперечно-крутильных волн в канатах и трубах, узковязкопластических волн в стержнях, балках, пластинах, плоских нелинейных волн с учетом анизотропии, асимптотических методов в динамике гибких связей.

Для научных работников и инженеров, разрабатывающих и использующих методы расчета интенсивных динамических нагрузок, в том числе для повышения прочности изделий, технических устройств, конструкций и сооружений. Может использоваться в учебном процессе при подготовке кадров в области механики, физики и прикладной математики, а также по широкому кругу направлений (специальностей) техники и технологии.

УДК 531.3:536.66

ББК 34.41:22.251

ISBN 978-5-98704-422-7

© **Рахматулин Х.А.**,

Демьянов Ю.А., 2009

© Университетская книга, 2009

© Логос, 2009

## Оглавление

<b>Предисловие ко второму изданию</b> .....	7
<b>Предисловие к первому изданию</b> .....	11
<b>Глава 1. Распространение волн в стержнях из нелинейно-упругого и упругопластического материалов (теория продольного удара)</b> .....	13
§ 1.1. Метод характеристик для решения квазилинейных гиперболических уравнений второго порядка в частных производных .....	13
§ 1.2. Распространение плоских нелинейных волн нагружения в длинных стержнях .....	20
§ 1.3. Волна разгрузки. Решение задач динамического деформирования стержней, когда скорость волны разгрузки или ее начального участка известна. Решение для случая нелинейной диаграммы «напряжение – деформация» ..	32
§ 1.4. Применение метода характеристик для решения прямой задачи о волне разгрузки. Определение начальной скорости волны разгрузки. Случаи точных решений задачи .....	51
§ 1.5. Распространение упругопластических волн в среде с переменным пределом упругости. Задача о накоплении остаточных деформаций .....	63
§ 1.6. Волновой процесс в стержне при ударе им о преграду. Основы жесткопластического анализа. Соударение деформируемых стержней .....	82
§ 1.7. Удар твердым телом или упругим стержнем конечной массы по закрепленному упругому стержню .....	111
§ 1.8. Приближенный метод исследования волнового процесса в затупленном стержне при продольном ударе .....	117
§ 1.9. Динамическая диаграмма «напряжение – деформация» Методы ее экспериментального определения .....	121
Литература .....	148
<b>Глава 2. Теория поперечного удара по гибким деформируемым связям и балкам</b> .....	153
§ 2.1. Система уравнений, описывающих процесс распространения волн при поперечном ударе. Характеристики системы. Соотношения на волне излома нити .....	154
§ 2.2. Точечный удар по гибкой деформируемой нити бесконечной длины .....	164
§ 2.3. Удар по гибкой нити точкой конечной массы .....	177

§ 2.4. Движение нити конечной длины при продольно-поперечном ударе. Возникновение вторичных волн натяжения .....	188
§ 2.5. Переходные этапы движения гибкой нити с тормозящими элементами на концах .....	194
§ 2.6. Поперечный удар по гибкой нити телом заданной формы ..	206
§ 2.7. Поперечный удар по проволочным канатам .....	219
§ 2.8. Применение асимптотических методов для решения задач распространения волн в нитях при воздействии движущихся тел .....	224
§ 2.9. Некоторые приложения теории продольно-поперечного удара .....	236
§ 2.10. Поперечные колебания балок под действием динамических нагрузок .....	245
Литература .....	279
<b>Глава 3. Распространение волн возмущения с полярной, осевой и сферической симметриями .....</b>	<b>283</b>
§ 3.1. Плоские продольные упругопластические волны .....	283
§ 3.2. Цилиндрические волны сдвига (задача о скручивающем ударе) .....	288
§ 3.3. Сферические волны .....	297
§ 3.4. Распространение волн в стержнях переменного сечения ...	313
§ 3.5. Распространение цилиндрических волн давления при внезапном приложении нагрузки .....	317
§ 3.6. Удар с постоянной скоростью по гибкой мембране. Асимптотические методы исследования распространения волн и колебаний в мембранах при воздействии движущихся тел .....	322
§ 3.7. Некоторые задачи динамического деформирования при наличии течения пластического материала .....	340
§ 3.8. Продольно-крутильные волны и колебания в напряженных тонкостенных трубах .....	356
§ 3.9. Нелинейные волны в упругих средах, включая случаи малой анизотропии. Особенности решений .....	360
Литература .....	370
<b>Глава 4. Распространение возмущений в упругих и пластических средах, обладающих вязкостными свойствами и эффектами последействия и релаксации .....</b>	<b>373</b>
§ 4.1. Классификация сред и сфера их применимости .....	373
§ 4.2. Распространение возмущений в стержнях, материал которых обладает вязкостными свойствами и эффектами последействия и релаксации .....	386
§ 4.3. Распространение возмущений в вязкопластической среде .....	404
§ 4.4. Распространение волн в упруговязкопластической среде .....	436
§ 4.5. Сильный взрыв в грунте .....	500
Литература .....	509

---

---

## Предисловие к первому изданию

---

---

В современной технике все чаще и чаще встречаются случаи действия интенсивных кратковременных нагрузок. Например, в авиации и ракетной технике ими являются нерегулярно-циклические нагрузки, обусловленные действиями ударных волн и порывов ветра; в гражданском, промышленном, гидротехническом строительстве — сейсмические и всевозможные взрывные нагрузки; с последними часто приходится иметь дело и при горных разработках. Динамические нагрузки возникают также во всех случаях, когда имеют место соударения частей работающих машин или их ударное воздействие на объекты производства (например, удар батана по нити в текстильных машинах, удары пневмомолота по породе и т. д.). В этой связи расчет на прочность сооружений, машин и массивов, подверженных динамическим воздействиям, приобретает исключительно важное значение. Кроме того, разработка методики измерения динамических нагрузок связана с решением ряда теоретических задач о их воздействии на соответствующую аппаратуру.

Наука о динамической прочности, в которой изучаются указанные проблемы, развивается прежде всего в направлении разработки теоретических и экспериментальных методов расчета напряженного и деформируемого состояния машин, сооружений и массивов. Дело в том, что статический расчет указанных состояний может привести к большим ошибкам, а иногда и к принципиально неверным результатам. Так, например, по данным статического расчета опертой по двум сторонам плиты, подверженной действию динамической нагрузки, приложенной в центре, максимальный прогиб оказывается под грузом, тогда как в действительности он будет посередине свободных сторон.

Развитие науки о динамической прочности неразрывно связано с изучением поведения различных материалов при воздействии на них нагрузок указанного типа. Известно, что большинство материалов в условиях динамического воздействия ведет себя совершенно иначе, чем при статическом нагружении. Так, предел текучести металлов при динамических нагрузках может быть значительно выше статического предела текучести. При создании экспериментальных методов исследования динамического сопротивления материалов необходимо отходить от определенных теоретических предпосылок и пользоваться результатами соответствующих расчетов.

Настоящее издание надо рассматривать как попытку изложить существо известных авторам теоретических и экспериментальных исследований, относящихся к проблеме динамической прочности и представляющих научный интерес.

В первой главе излагаются теория распространения плоских волн в стержнях из нелинейно-упругого и упругопластического материалов и ее приложение к определению динамических диаграмм «напряжение – деформация» металлов при сжатии. Так как математическая часть теории сводится к нахождению решений нелинейных уравнений в частных производных гиперболического типа, то предварительно рассматривается применяемый для этих целей метод характеристик. Другие чисто математические вопросы, например использование разрывных решений, вопросы существования решений, самостоятельно в книге не рассматриваются, представление о них читатель получит в ходе знакомства с отдельными разделами монографии. В первой главе приведены также экспериментальные данные, подтверждающие упругопластическую теорию распространения волн. Результаты первой главы используются в расчетах реакций упругого основания, в теории крешерных приборов и т. д.

Во второй главе рассматриваются теория распространения продольно-поперечных волн в упругих и упругопластических гибких связях и ее приложение к решению ряда технических вопросов: движения тормозных устройств, получения динамических диаграмм растяжения, расчета деформации нитей основы в ткацких машинах. Кроме того, в этой главе приводятся решения некоторых задач динамического деформирования балок при поперечном ударе.

В третьей главе рассмотрены задачи динамического деформирования объектов с осевой и сферической симметрией (включая мембраны и плиты) из упругого, упругопластического и жесткопластического материалов.

В четвертой главе рассмотрены задачи распространения возмущений в других реологических средах: упруговязкой, вязкопластической, упруговязкопластической, идеально пластическом газе и т. д. Приведены имеющиеся экспериментальные данные, подтверждающие применимость определенных законов деформирования для описания поведения некоторых материалов.

Авторы будут считать свою задачу выполненной, если их книга окажет содействие дальнейшему развитию проблемы динамической прочности и привлечет внимание исследователей к этому важному и интересному разделу механики сплошной среды.