

Ю. В. Соболев

ТЕОРИЯ СТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ



**ПОЛИТЕХНИКА
ИЗДАТЕЛЬСТВО**
Санкт-Петербург 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	11
Отзыв об учебном пособии профессора Ю. В. Соболева от его бывшего студента Н. П. Сапельникова	12

ЧАСТЬ I ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ

I.1. Расчёт элементов стальных конструкций на растяжение	17
I.1.1. Вязкое и хрупкое разрушение	—
I.1.2. Вязкое разрушение сварных швов	19
I.1.3. Расчёт сварных соединений	21
I.1.3.1. Стыковые швы	—
Пример 1 (23). Пример 2 (24).	
I.1.3.2. Угловые швы	25
Пример 1а (26). Пример 2а (26). Пример 3 (27).	
I.1.4. Выбор стали	28
Пример 4 (30).	
I.1.5. Назначение расчётного сопротивления при растяжении	31
Пример 5 (31). Пример 6 (34).	
I.1.6. Расчёт на усталость	35
I.1.7. Влияние однозначного объёмного напряжённого состояния на охрупчи- вание стали при растяжении	37
I.2. Научный подход к проблеме хрупкого разрушения	40
I.2.1. Энергетический критерий	—
Пример 7 (42). Пример 8 (42). Пример 9 (43).	
I.2.2. Расчёт конструкций на усталостную долговечность с учётом дефектов . . .	43
Пример 10 (44).	
I.3. Основы расчёта резервуаров на прочность	47
I.3.1. Расчёт конструкций ВЦР на малоцикловую усталость	—
I.3.2. Расчёт оболочек по моментной теории. Определение краевого эффекта . . .	52
Пример 11 (57).	
I.3.3. Расчёт днища ВЦР на краевой эффект методом перемещений	59
Пример 12 (62). Пример 13 (63).	

ЧАСТЬ II ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. АНАЛИЗ РАСЧЁТНЫХ МЕТОДИК

Проблема устойчивости МК. Общие положения	69
II.1. Расчёт устойчивости центрально-сжатых стержней	72
II.1.1. Бифуркационная теория	—
II.1.2. Деформационная теория	76
II.1.2.1. Определение типа сечения	78
Пример 1 (78).	
II.1.2.2. Методика расчёта коэффициента φ	79
II.1.3. Ограничение гибкости при центральном сжатии	85

II.2. Местная устойчивость поперечного сечения сжатых элементов	87
II.2.1. Расчёт устойчивости прямоугольных пластин	—
II.2.2. Нормативный расчёт местной устойчивости	88
II.3. Особенность расчёта на устойчивость центрально-сжатых стержней сквозного сечения	90
II.3.1. Бифуркационная теория	—
II.3.2. Деформационная теория	93
II.3.3. Поперечная сила в сквозных центрально-сжатых стержнях. Расчёт решётки безраскосной и раскосной	95
II.4. Прямой метод расчёта центрально-сжатых стержней	99
II.4.1. Постановка задачи	—
II.4.2. Вывод расчётных формул прямого метода	—
II.4.3. Удельные радиусы инерции	103
II.4.4. Алгоритмы расчёта центрально-сжатых стержней	106
А. Стержни сплошного (сплошностенчатого) сечения (106). Б. Стержни сквозного сечения двухветвевые на планках и с раскосной решёткой (108). В. Стержни сквозного сечения трёх- и четырёхветвевые на планках и с раскосной решёткой (109).	
II.4.5. Примеры расчёта центрально-сжатых стержней	111
Пример 1 (111). Пример 2 (113). Пример 3 (115). Пример 4 (118). Пример 5 (119). Пример 6 (122).	
II.5. Определение коэффициента расчётной длины μ	127
II.5.1. Постановка задачи	—
II.5.2. Определение коэффициента расчётной длины μ для стойки постоянного сечения с учётом её взаимодействия с отпорной системой	128
II.5.3. Определение обобщённых аппроксимирующих выражений $\bar{\mu}$	136
Пример 1 (136). Пример 2 (137). Пример 3 (139). Пример 4 (141). Итоговые аппроксимирующие формулы $\bar{\mu}$ (143). Пример 5 (144). Пример 6 (145). Пример 7 (146).	
II.5.4. Решение задачи для ступенчатых колонн	148
Пример 8 (148). Пример 9 (150).	
II.6. Расчёт устойчивости внецентренно сжатых и сжато-изогнутых стержней	153
II.6.1. Основы расчёта	—
II.6.2. Ограничение гибкости в плоскости изгиба ($\lambda_x \leq [\lambda_x]$)	156
II.7. Расчёт на внецентренное сжатие стержней в упругой стадии работы сечения	159
II.7.1. Определение коэффициента φ_e	—
II.7.2. Тонкостенные двутавры	162
Пример 1 (162). Пример 2 (163).	
II.7.3. Сквозные сечения двухветвевых колонн	164
Пример 3 (165). Пример 4 (169).	
II.7.4. Анализ расчётов сжато-изогнутых (внецентренно сжатых) стержней с использованием l_{ef}	172
II.8. Расчёт на внецентренное сжатие в упругопластической стадии	175
II.8.1. Приближённое аналитическое решение	—
II.8.2. Традиционное аналитическое решение (только для шарнирно опёртой симметричной схемы)	177
II.8.3. Обобщённое аналитическое решение	180
II.8.4. Численное решение задачи устойчивости	183
II.8.5. Оценка точности нормативного расчёта при несимметричных схемах внецентренно сжатых стержней	184
II.8.6. Анализ практического метода расчёта сжато-изогнутых (внецентренно сжатых) стержней	188

II.9. Новые варианты расчёта внецентренно сжатых стержней.	194
II.9.1. Итоги теории расчёта.	—
II.9.2. Прямой метод расчёта	197
Пример 1 (198).	
II.9.3. Графоаналитический метод расчёта сжато-изогнутых (внецентренно сжатых) стержней	203
Пример 2 (204).	
II.10. Пространственная потеря устойчивости внецентренно сжатых двутавровых стержней	207
II.10.1. Общие положения	—
II.10.2. Теоретические основы расчёта	209
II.10.3. Примеры расчёта	213
Пример 1 (213). Пример 2 (214). Пример 3 (215).	
II.11. Особенности расчёта рамных конструкций на устойчивость.	217
II.11.1. Общие положения	—
II.11.2. Методики расчёта	—
Пример (219).	
II.12. Обеспечение устойчивости арок	222
II.12.1. Общие положения	—
II.12.2. Рекомендации по расчёту арки на устойчивость	228
Пример 1 (230). Пример 2 (234).	
II.12.3. Определение деформативности параболической арки	236
II.13. Обеспечение устойчивости оболочек	241
II.13.1. Общие положения	—
II.13.2. Расчёт оболочек по безмоментной теории	242
II.13.3. Методика расчёта на устойчивость цилиндрических оболочек.	245
II.13.4. Методика расчёта на устойчивость усечённых конических оболочек	249
II.13.5. Методика расчёта на устойчивость замкнутых сферических оболочек	250
II.13.6. Приближённая методика расчёта на устойчивость произвольных гладких оболочек с положительной гауссовой кривизной их поверхности	252
Пример 1 (252). Пример 2 (253). Пример 3 (254).	

ЧАСТЬ III

ИЗГИБАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ — БАЛКИ, ФЕРМЫ. ОБЗОР КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ И ПРИМЕРЫ РАСЧЁТА

III.1. Стальные балки. Основы расчёта	259
III.1.1. Расчёт прокатных балок	263
Оптимальное расчётное сопротивление (263). Пример 1 (263). Пример 1а (265).	
III.1.2. Расчёт балок составного сечения	266
III.1.2.1. Определение высоты сечения	—
III.1.2.2. Определение толщины стенки и полки.	268
III.1.2.3. Оптимальное расчётное сопротивление.	270
Пример 2 (271).	
III.1.2.4. Расчёт оптимальных балок.	273
Пример 2а (273). Пример 2б (274). Пример 2в (275).	
III.1.2.5. Расчёт изменения сечения балки.	276
Пример 3 (277).	
III.1.2.6. Расчёт сварных соединений балки.	281
А. Соединение поясов со стенкой (281). Б. Соединение опорного ребра со стенкой (283).	

III.1.2.7. Расчёт опорного ребра и рёбер жёсткости	284
Пример 4 (286).	
III.1.2.8. Расчёт укрупнительного (монтажного) стыка сварной балки	288
Сварной укрупнительный стык (288). Стык на высокопрочных болтах (289). Монтажный стык с фрикционным соединением (291). Пример 5 (292). Монтажный фланцевый стык (293). Пример 6 (296).	
III.1.3. Расчёт облегчённых балок	297
Общие положения	—
III.1.3.1. Расчёт бистальной балки	299
Пример 7 (301).	
III.1.3.2. Расчёт перфорированной балки	302
Пример 8 (305).	
III.1.3.3. Расчёт предварительно напряженной балки	308
Пример 9 (312).	
III.1.3.4. Расчёт балки с гибкой стенкой	316
Пример 10 (319).	
III.1.3.5. Расчёт балки с гофрированной стенкой	323
Пример 11 (326).	
III.1.3.6. Повышение эффективности балок	328
Пример 12 (331).	
III.2. Стальные фермы	335
Введение	—
III.2.1. Оптимизация стропильных ферм	339
III.2.1.1. Определение массы фермы	—
III.2.1.2. Определение минимальной высоты фермы	341
III.2.1.3. Транспортные габариты фермы	346
III.2.1.4. Учёт приведённых затрат для фермы	347
III.2.1.5. Прямой метод расчёта ферм	—
III.2.1.6. Типовое проектирование ферм	349
III.2.1.7. Программа снижения металлоёмкости ферм	351
III.2.2. Определение усилий в элементах ферм	354
III.2.2.1. Допущенная идеализация при расчёте ферм	—
III.2.2.2. Определение усилий в элементах ферм при расцентровке узлов	355
III.2.2.3. Определение усилий в элементах ферм при внеузловой нагрузке	356
III.2.2.4. Формулы ручного расчёта усилий в элементах ферм	359
III.2.3. Расчётные длины стержней	362
III.2.4. Примеры расчёта. Подбор сечений элементов стропильной фермы	364
III.2.4.1. Бистальная ферма из парных равнополочных уголков по ГОСТ 8509–93	367
III.2.4.2. Ферма из электросварных прямошовных труб по ГОСТ 10704–91	369
III.2.4.3. Ферма с элементами из гнутых замкнутых сварных квадратных профилей по ГОСТ 30245–94	370
III.2.5. Узлы ферм	371
III.2.5.1. Узлы ферм с фасонками	—
Пример 1 (372). Рекомендации по проектированию ферм с фасонками (372). Примеры конструирования узлов ферм с фасонками (374)	
III.2.5.2. Фермы с бесфасоночными узлами	375
Бесфасоночные узлы трубчатых ферм (376). Пример 2 (377). Бесфасоночные узлы ферм из ЗГСП (380). Укрупнительные стыки трубчатых элементов на сварке (383).	

Монтажные соединения трубчатых элементов на болтах (385). Пример 3 (386).
Монтажные соединения элементов из ЗГСП на болтах (387). Пример 4 (390).
Пример 5 (391).

III.2.6. Конструирование и расчёт узлов по данным примеров 30-метровой стропильной фермы.	392
III.2.6.1. Ферма из уголков	—
III.2.6.2. Трубчатая ферма	400
III.2.6.3. Фермы из ЗГСП	405
III.2.7. Оценка результатов статических расчётов стержневых систем, выполненных вручную (по упрощённой расчётной схеме) и с применением специальных программных комплексов на ЭВМ	410
III.2.7.1. Стержневые несущие системы покрытия пролётом 12 м (прутковые прогоны)	—
Пример 1 (411). Пример 1а (414).	
III.2.7.2. Уточнение расчёта одностоечной шпренгельной балки.	415
III.2.7.3. Подстропильная ферма	416
Пример 2 (416).	
III.2.7.4. Двухстоечные малоуклонные шпренгельные балки в качестве стропильных ферм пролётом $L = 18 + 36$ м	421
Пример 3 (421). А. Уточнение расчёта рассмотренной двухстоечной шпренгельной балки (424). Пример 3а (426). Пример 4 (428). Б. Двухстоечная шпренгельная система для двухскатной малоуклонной кровли (430). Пример 4а (432).	
III.2.7.5. Типовые фермы с параллельными поясами для малоуклонных покрытий гражданских и промышленных зданий	438
Пример 5 (442).	

ЧАСТЬ IV ОПОРНЫЕ УЗЛЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ И ПРИМЕРЫ РАСЧЁТА

IV.1. Базы стальных колонн	449
IV.1.1. Общие положения.	—
Пример 1 (451).	
IV.1.2. Расчёт опорная плиты базы и анкеров	453
IV.1.2.1. Расчёт без учёта работы анкеров	454
Пример 2 (455).	
IV.1.2.2. Расчёт с учётом работы анкеров	456
Пример 3 (458).	
IV.1.3. Расчёт толщины опорной плиты.	460
Пример 4 (464).	
IV.1.4. Расчёт траверсной базы общего типа.	464
Пример 5 (465).	
IV.1.5. Расчёт траверсы раздельного типа для базы сплошностенчатой колонны	468
Пример 6 (469).	
IV.1.6. Расчёт раздельной базы для сквозной колонны	471
Пример 7 (471).	
IV.2. Шарнирные опоры с равномерно распределённой передачей давления на фундаменты	475
IV.2.1. Расчёт балансирной опоры.	—

IV.2.2. Расчёт шаровой опоры.	476
IV.2.3. Расчёт цилиндрических (катковых) и шаровых опор на диаметральное сжатие при свободном касании.	478
IV.2.4. Конструктивные решения неподвижных и подвижных опор при большой длине мостовых пролётных строений.	480
IV.3. Оголовки стальных колонн.	484
IV.3.1. Общие положения.	—
Пример 8 (486).	
IV.3.2. Свободное опирание балок.	489
IV.3.3. Опирание балок на колонну сбоку.	492
IV.3.4. Свободное опирание ферм.	493
IV.3.5. Шарнирное и жёсткое сопряжение ферм с колонной.	494

ЧАСТЬ V СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Введение.	499
V.1. Теория колебаний стальных конструкций.	502
V.1.1. Колебания одномассовой системы.	—
V.1.1.1. Свободные или собственные колебания.	—
V.1.1.2. Свободные затухающие колебания.	503
V.1.1.3. Вынужденные колебания.	—
V.1.1.4. Внутреннее поглощение энергии колебаний в конструкции.	504
V.1.1.5. Сейсмические воздействия.	505
V.1.1.6. Спектральный динамический коэффициент.	506
V.1.2. Колебание систем с произвольными степенями свободы.	—
V.1.2.1. Поперечные свободные колебания континуальных систем.	—
V.1.2.2. Свободные колебания дискретных систем.	508
Шарнирно опёртая по концам балка или стойка (509). Консольная балка или стойка постоянного сечения (509). Двухмассовая дискретная система (510). Трёхмассовая дискретная система (511).	
V.1.3. Расчёты свободных колебаний стальной консоли.	513
V.1.3.1. Двухмассовая система.	—
V.1.3.2. Трёхмассовая система.	515
V.1.4. Спектральный коэффициент формы колебания.	517
V.1.4.1. Континуальная модель.	518
V.1.4.2. Дискретная модель.	519
V.2. Особенности проектирования зданий и сооружений по действующим нормам СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах»	521
V.2.1. Общие указания.	—
V.2.2. Расчётные рекомендации.	522
V.2.3. Объёмно-планировочные и конструктивные рекомендации.	524
V.2.4. Вопросы дальнейшего совершенствования методов расчёта стальных конструкций на сейсмические воздействия.	526
V.3. Примеры расчёта на сейсмостойкость.	528
Пример 1 (528). Пример 2 (530). А. Одномассовая модель (531). Б. Двухмассовая дискретная модель (531). В. Дискретная модель с двумя стационарными и инерционными массами (533). Г. Дискретная модель балки с тремя инерционными массами (533). Д. Континуальная модель балки (535). Заключение (536).	
Литература.	539
Благодарность Учителю.	541