

А. И. Васильев

ГРУЗОПОДЪЁМНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Москва Вологда
Инфра-Инженерия
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	9
ВВЕДЕНИЕ.....	10
ГЛАВА 1. ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА МОСТОВ.....	13
1.1. Классификация потребительских свойств	13
1.2. Критерии обеспеченности потребительских свойств	15
1.2.1. Износ	15
1.2.2. Три критерия обеспеченности потребительских свойств мостов	16
1.3. Грузоподъёмность	17
1.4. Долговечность.....	23
1.5. Живучесть.....	26
Резюме по главе 1	30
ГЛАВА 2. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОСТОВ	31
2.1. Система натуральных исследований	31
2.1.1. Понятие и основные принципы системного подхода.....	31
2.1.2. Матрица натуральных исследований.....	33
2.2. Обследование мостовых конструкций	37
2.2.1. Виды обследований	37
2.2.2. Сбор и анализ имеющейся предварительной информации о сооружении, обмеры.....	41
2.2.3. Визуальное освидетельствование конструкций	43
2.2.4. Инструментальные исследования	46
2.2.4.1. Измерения, определяющие конфигурацию сооружения и подмостового пространства.....	46
2.2.4.2. Измерения размеров дефектов и повреждений	48
2.2.4.3. Исследование свойств и состояния материалов	48
2.2.4.4. Исследование НДС мостовых конструкций	49
2.3. Испытания моделей	51
2.4. Испытания мостов	52
2.4.1. Статические испытания	53

2.4.1.1. Испытательная нагрузка	54
2.4.1.2. Места измерений напряжений и деформаций	58
2.4.1.3. Оценка результатов испытаний	61
2.4.2. Динамические испытания	63
2.4.2.1. Динамический коэффициент.....	64
2.4.2.2. Колебания пролётных строений	65
2.4.3. Особенности испытаний эксплуатируемых мостов.....	67
2.5. Мониторинг технического состояния	68
2.5.1. Общие положения.....	68
2.5.2. Строительный мониторинг	70
2.5.3. Мониторинг эксплуатируемых мостов	73
2.5.4. Непрерывный удалённый мониторинг. Компьютерные измерительные системы	74
2.6. Анализ результатов натурных исследований. Паспорт моста	76
Резюме по главе 2	80
ГЛАВА 3. ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГРУЗОПОДЪЁМНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МОСТОВ.....	81
3.1. Классификация дефектов и повреждений	81
3.2. Дефекты и повреждения железобетонных конструкций.....	85
3.2.1. Дефекты изготовления.....	85
3.2.2. Повреждения бетона.....	88
3.2.3. Трещины в бетоне	90
3.2.3.1. Трещины в балочных конструкциях с ненапряжённой арматурой	92
3.2.3.2. Трещины в железобетонных опорах	98
3.2.4. Механические повреждения железобетонных конструкций.....	100
3.3. Характерные дефекты и повреждения стальных пролётных строений.....	101
3.4. Характерные дефекты и повреждения сталежелезобетонных пролётных строений	106
3.5. Повреждения, связанные с угоном конструкций мостов	107
Резюме по главе 3	108
ГЛАВА 4. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ПРИРОДА НАГРУЗОК И ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ.....	110

4.1. Запас прочности. Методики расчёта.....	110
4.2. Методика расчёта по предельным состояниям. Основная идея.....	113
4.3. Первое и второе предельные состояния	114
4.4. Расчётные коэффициенты к нагрузкам.....	117
4.5. Коэффициенты надёжности к нагрузкам	119
4.6. Коэффициенты сочетания нагрузок.....	121
4.7. Прочностные характеристики и коэффициенты надёжности конструкционных материалов.....	122
4.8. Влияние величины коэффициента вариации прочности бетона на расход цемента	124
4.9. Вероятностные оценки надёжности мостов.....	125
4.9.1. Оценка Н. С. Стрелецкого.....	125
4.9.2. Оценка А. Р. Ржаницына	126
Резюме по главе 4	128
ГЛАВА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЁМНОСТИ ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ	129
5.1. Предельный изгибающий момент в поперечных сечениях балок.....	129
5.2. Перерасчёт грузоподъёмности мостовых конструкций, запроектированных по методу допускаемых напряжений, при переходе на расчёты по предельным состояниям.....	132
5.3. Появление и развитие пространственных методов расчёта.....	133
5.4. Расчёты по методу конечных элементов	134
Резюме по главе 5	135
ГЛАВА 6. МЕТОДИКА ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ СНИЖЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЁМНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА	136
6.1. Общие соображения.....	136
6.2. Анализ нормативно-методических документов по оценке остаточного ресурса долговечности мостов	138
6.3. Критерии физического износа мостовых конструкций. Предельные состояния по грузоподъёмности	140
6.4. Анализ воздействий на мостовые элементы нагрузок от тяжёлых автотранспортных средств.....	142

6.4.1. Анализируемые параметры.....	142
6.4.2. Статистический анализ параметров грузового автомобильного движения.....	142
6.4.3. Моделирование случайной автомобильной колонны.....	145
6.4.4. Загружение случайными автомобильными колоннами поверхностей влияния усилий в элементах мостовых пролётных строений и построение распределения вероятностей этих усилий.....	146
6.4.5. Критерий предельного состояния и срока первого ремонта.....	149
6.5. Коррозионный износ мостовых конструкций.....	150
6.5.1. Влияние степени коррозионного износа на грузоподъёмность мостовых пролётных строений.....	150
6.5.2. Исследование коррозионных процессов металлоконструкций и арматуры.....	152
6.5.2.1. Формализация процесса коррозии.....	152
6.5.2.2. Модель процесса коррозии.....	153
6.5.2.3. Диффузионная стадия (до начала коррозии).....	154
6.5.2.4. Влияние на скорость коррозии влажности, условий местности и агрессивности внешней среды.....	155
6.5.2.5. Экспериментальная оценка скорости коррозии металла в процессе обследования мостовых конструкций.....	157
6.5.2.6. Особенности оценки предельного износа и ресурса долговечности железобетонных изгибаемых элементов.....	158
6.5.3. Исходные данные для оценки снижения грузоподъёмности мостовых конструкций в результате коррозионного износа.....	159
6.6. Усталостный износ металлоконструкций и арматуры.....	159
6.6.1. Природа и процесс усталости стали. Кривая усталости.....	160
6.6.2. Основные положения методики оценки снижения долговечности мостовых конструкций в результате усталостного износа.....	162
6.6.3. Алгоритм определения степени усталостного износа и оценки остаточного срока службы мостовых несущих конструкций.....	164
6.7. Ослабление натяжения высокопрочной арматуры в железобетонных мостовых пролётных строениях коробчатого сечения с поперечными стыками.....	165

6.7.1. Конструктивно-технологические особенности составных по длине железобетонных пролётных строений	165
6.7.2. Нормативные требования к составным по длине железобетонным пролётным строениям	167
6.7.3. Не очень приятная история составных по длине железобетонных пролётных строений	168
6.7.4. Содержание специфических работ по обследованию составных пролётных строений	169
6.7.4.1. Визуальное обследование стыков	170
6.7.4.2. Определение коррозионного состояния рабочей напрягаемой арматуры	170
6.7.4.3. Определение остаточного усилия предварительного напряжения в рабочей напрягаемой арматуре	171
6.7.4.4. Определение фактических суммарных напряжений в бетоне от постоянных нагрузок	172
6.7.4.5. Специальные экспериментальные исследования стыков	173
6.7.5. Оценка остаточного ресурса долговечности по критерию несущей способности стыков на сдвиг	175
6.7.6. Рекомендации по обеспечению безопасной работы стыков на сдвиг	175
Резюме по главе 6	176
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	178
ПРИЛОЖЕНИЕ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ	179
П1. Исследования свойств и состояния бетона мостовых конструкций	179
П1.1. Измерения прочности бетона в конструкции	179
П1.2. Измерения толщины защитного слоя бетона	182
П1.3. Определение глубины карбонизации защитного слоя бетона	183
П1.4. Определение степени диффузии хлорид-ионов в бетон	184
П1.5. Определение водонепроницаемости бетона в конструкциях	185
П1.6. Определение влажности бетона	185
П1.7. Определение марки морозостойкости бетона	186
П1.8. Определение ширины раскрытия и глубины трещин в бетоне	186

П2. Оценка коррозионного состояния арматуры	187
П2.1. Измерения электрического потенциала арматуры.....	187
П2.2. Методы измерения силы натяжения напряжённой арматуры.....	188
П2.3. Исследование свойств металлических мостовых конструкций.....	190
П2.4. Исследование начального напряжённого состояния по методу частичной разгрузки.....	190
НОРМАТИВНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	192
ЛИТЕРАТУРА.....	194