

12-10276
Т. 3 кн. 3

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ:

теория, расчет, конструкция, использование

Том 3

ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Книга 3

22-06705

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АГРОИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ»**

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ:
ТЕОРИЯ, РАСЧЕТ, КОНСТРУКЦИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

Том 3

В.А. Жилкин

**ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ
РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Книга 3

**Под редакцией академика Россельхозакадемии
доктора технических наук, профессора
В.В. Бледных**

**Зерноград
2012**

Печатается по решению ученого совета
ФГБОУ ВПО АЧГАА

**Сельскохозяйственные машины:
теория, расчет, конструкция, использование**

Редакционный совет:

Таранов М.А., чл.-кор. РАСХН, д.т.н., профессор, председатель
Бондаренко А.М., д.т.н., профессор, зам. председателя
Липкович Э.И., академик РАСХН, зам. председателя
Долгов И.А., академик РАСХН, зам. председателя
Члены совета: Краснощеков Н.В., академик РАСХН;
Черноиванов В.И., академик РАСХН; Зайдинер В.И., д.и.н., профессор;
Драгайцев В.И., д.э.н., профессор; Бельтюков Л.П., д.с.-х.н., профессор;
Вахрушев Н.А., д.с.-х.н., профессор; Краусп В.Р., д.т.н., профессор;
Шабанов Н.И., д.т.н., профессор; Семенихин А.М., д.т.н., профессор;
Карташов Б.А., к.т.н., профессор; Секанов Ю.П., д.т.н., профессор

Ж 72 Жилкин В.А. Прочность и жесткость рамных конструкций
/ под ред. В.В. Бледных. – 2-е изд., доп. и перераб. – Т. 3. – Кн. 3. –
Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. – 568 с.

ISBN 978-5-91833-056-2

В книге 3 третьего тома излагаются некоторые главы целостной работы профессора ЧГАА под общим наименованием «Расчеты на прочность и жесткость элементов сельскохозяйственных машин».

Редакционным советом было принято решение включить ряд вопросов по расчету элементов конструкции сельхозмашин: рам, пластин, стержней, в том числе и гибких; теорию удара, а также модель почвы и ее деформацию, устойчивость стеблей и стеблестоя.

К этим, да и к другим вопросам приходится нередко обращаться конструкторам сельскохозяйственных машин даже при использовании современных методов машинного проектирования. Приведенный в настоящей книге материал может облегчить решение возникающих задач. Он подчеркивает важнейшее свойство современного действия, которое именуется проектированием: чем более широко мы пользуемся ЭВМ, тем глубже и объемнее следует представлять механику работы проектируемых объектов и их частей.

Книга может быть полезна преподавателям вузов и студентам старших курсов, изучающим методы проектирования сельхозмашин и их использования.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ КОНСТРУКЦИЙ	7
1.1. Напряжения в элементах конструкций, движущихся с ускорением.....	9
1.1.1. Поступательное движение стержня....	9
1.1.2. Вращающиеся стержневые системы...	10
1.1.2.1. Напряжения в тонкостенном вращающемся кольце.....	11
1.1.2.2. Расчет вращающегося прямого бруса.....	16
1.1.2.3 Вращающиеся рамы.....	23
1.2. Упругие колебания.....	26
1.2.1. Классификация механических колебаний	26
1.2.2. Свободные колебания.....	31
1.2.2.1. Свободные незатухающие колебания систем с одной степенью свободы.....	31
1.2.2.2. Свободные затухающие колебания систем с одной степенью свободы.....	34
1.2.2.3. Свободные колебания систем с конечным числом степеней свободы.....	38
1.2.2.4. Колебание стержневых элементов с непрерывно распределенной массой.....	41
1.2.2.5. Приближенные методы определения частот свободных колебаний.....	53
1.2.3. Вынужденные колебания.....	65
1.2.3.1. Колебания систем с одной степенью свободы при сопротивлении, пропорциональном скорости....	65
1.2.3.2. Вынужденные колебания и перемещения при закреплении упругих связей (кинематическое возбуждение)...	69

1.2.3.3. Вынужденные колебания систем	71
1.3. Удар	73
1.3.1. Метод решения	73
1.3.2. Удар падающего груза по упругой системе, масса которой мала по сравнению с массой груза	75
1.3.3. Приведенная масса. Коэффициент приведения	78
1.3.4. Удар по системе соизмеримой массы с ударяющим грузом	80
1.3.5. Замечания о конструировании при ударных нагрузках	83
1.3.6. Особенности динамических расчетов сельскохозяйственных машин	85
Глава 2. МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА	88
2.1. Линейные поперечные колебания балок с непрерывно распределенной массой	88
2.1.1. Вывод общего дифференциального уравнения поперечных колебаний балок	90
2.1.2. Интегрирование дифференциального уравнения поперечных колебаний балок постоянного сечения	95
2.1.3. Балки на жестких опорах	99
2.1.4. Балки с сосредоточенными массами	107
2.1.5. Влияние продольных сил на частоту изгибных колебаний	112
2.1.6. Влияние деформации сдвигов на частоту изгибных колебаний	114
2.1.7. Колебания балок на упругих опорах	119
2.1.8. Вынужденные колебания балок	123
2.1.8.1. Метод фундаментальных функций	124
2.1.8.2. Метод главных координат	133

Глава 3. РАСЧЕТ ПЛАСТИН.....	138
3.1. Основы теории расчета пластин.....	138
3.1.1. Основные понятия и гипотезы.....	138
3.1.2. Основные уравнения изгиба и кручения пластины.....	143
3.1.3. Выражения для внутренних силовых факторов в поперечных сечениях пластины.....	151
3.1.4. Запись выражений напряжений через внутренние силовые факторы...	154
3.1.5. Граничные условия.....	157
3.2. Расчет пластин численными методами.....	162
3.2.1. Метод конечных разностей.....	162
3.2.1.1. Основы метода.....	162
3.2.1.2. Решение одномерных задач...	167
3.2.1.3. Решение двумерных задач.....	173
3.2.2. Метод конечных элементов.....	181
3.2.2.1. Основы метода.....	181
3.2.2.2. Матрица жесткости для прямоугольного элемента пластины	183
3.3. Колебания пластин.....	195
3.3.1. Дифференциальное уравнение колебаний пластин.....	195
3.3.2. Общее уравнение свободных колебаний пластин.....	198
3.4. Устранение вредных колебаний.....	218
Глава 4. МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ.....	222
4.1. Нагрузки на сельскохозяйственные машины	222
4.1.1. Общие положения.....	222
4.1.2. Нагрузки рам плугов.....	228
4.1.2.1. Нормативные нагрузки.....	233
4.1.2.2. Расчетные нагрузки.....	236
4.1.2.3. Аварийные нагрузки.....	239
4.2. Расчет по допускаемым напряжениям и предельным состояниям.....	239
4.2.1. Расчет по допускаемым напряжениям..	241

4.2.1.1. Теории прочности.....	243
4.2.1.2. Расчеты стержневых систем на основе теории прочности.....	246
4.2.2. Расчет по предельным состояниям.....	247
4.2.3. Расчет на надежность.....	250
4.3. Основы расчета сжатых стержней на устойчивость. Продольный изгиб.....	251
4.3.1. Общие понятия.....	251
4.3.2. Формула Эйлера для шарнирно опертого стержня.....	253
4.3.3. Энергетический метод определения критических нагрузок.....	255
4.3.4. Определение критической силы за пределом пропорциональности.....	261
4.3.5. Практические способы расчета на устойчивость.....	266
4.3.6. Выбор материала и рациональной формы поперечных сечений сжатых стержней.....	273
4.3.7. Устойчивость плоской формы изгиба.....	275
4.3.8. Продольно-поперечный изгиб.....	276
4.3.8.1. Особенности расчета.....	276
4.3.8.2. Определение прогибов интегрированием дифференциального уравнения изогнутой оси.....	276
4.3.8.3. Приближенная формула для определения прогиба балки при продольно-поперечном изгибе.....	281
4.3.8.4. Дифференциальное уравнение для изгибающих моментов.....	284
4.3.8.5. Расчет на прочность при продольно-поперечном изгибе.....	287

Глава 5. КОЛЕБАНИЕ БАЛКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ

ДВИЖУЩЕЙСЯ НАГРУЗКИ.....	290
5.1. Историческая справка.....	290
5.2. Квасистатические решения.....	294
5.3. Колебания весомой балки конечной длины при движении нагрузки с постоянной скоростью.....	311

5.3.1. Колебания весовой балки без учета инерции груза	311
5.3.2. Колебания весовой балки с учетом инерции груза.....	318
Глава 6. УДАР И КОЛЕБАНИЯ.....	334
6.1. Теория Герца.....	335
6.2. Теория соударения упругих систем, учитывающая местные и общие их деформации.....	345
Глава 7. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ.....	356
7.1. Основные определения и методы расчета...	356
7.2. Метод сил.....	360
7.3. Метод перемещений.....	362
7.4. Матричные методы расчета.....	369
7.4.1. Матрицы податливости и жесткости системы.....	371
7.4.2. Определение перемещений.....	373
7.4.3. Расчет статически неопределимых рам методом сил.....	380
7.5. Метод конечных элементов.....	382
7.5.1. Общие понятия.....	382
7.5.2. Матрица жесткости и грузовая матрица элемента в местной и общей системах координат.....	384
7.5.3. Формирование общей матрицы жесткости и расчет системы.....	388
Глава 8. ОСНОВЫ МЕХАНИКИ ПОЧВ.....	391
8.1. Постановка задач в механике почв.....	391
8.2. Основные соотношения для оценки напряженно-деформированного состояния почв.....	395
8.3. Строение, фазовый состав и технологические свойства почвы.....	401
8.3.1. Основные понятия и определения.....	401
8.3.2. Физические характеристики почв.....	408
8.3.3. Особенности деформирования почв....	419

8.3.4. Механические свойства почв.....	425
8.3.5. Связь физических и механических характеристик почв.....	466
8.3.6. Технологические свойства почв.....	469
8.4. Основные расчетные модели почв.....	480
Глава 9. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ	
СТЕБЛЕЙ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР.....	498
9.1. Историческая справка.....	498
9.2. Информация о физико-механических характеристиках стеблей пшеницы.....	499
9.3. Гипотезы, принимаемые при расчете стеблей	501
9.4. Дифференциальные уравнения равновесия элемента стебля.....	503
9.5. Дифференциальное уравнение продольного изгиба стебля.....	508
9.6. Дифференциальное уравнение поперечного изгиба стебля.....	512
9.7. Интегрирование дифференциального уравнения изгиба стебля.....	515
9.8. Исследование поперечного изгиба консольного стержня сосредоточенной силой	530
9.9. Исследование продольного изгиба консольного стержня сосредоточенной силой	536
9.10. Изгиб стебля пшеницы силой произвольного направления.....	538
ЛИТЕРАТУРА.....	539
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПОРЯДОК РАСЧЕТА	
СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ	
В МАТРИЧНОЙ ФОРМЕ	545
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА	
КОНСОЛЬНОГО СТЕРЖНЯ	
СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛОЙ	
(с использованием системы MathCAD).....	553
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. РАСЧЕТ ИЗГИБА СТЕБЛЯ ПШЕНИЦЫ	
СИЛОЙ ПРОИЗВОЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ..	558