

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М.А. Ефимов

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ТРАКТОРА

УЧЕБНИК

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по агроинженерному образованию в качестве
учебника для студентов, осваивающих образовательные программы
бакалавриата по направлению подготовки «Агроинженерия»*

Орёл – 2015

УДК 631(075.8)

Рецензенты:

зав. кафедрой «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I»,
д.т.н., профессор **О.И. Поливаев;**
проректор, зав. кафедрой «Сервис и ремонт машин» ФГБОУ ВПО
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» **А.Н. Новиков.**

Основы теории двигателей внутреннего сгорания и трактора:

учебник / М.А. Ефимов. – Орёл: Изд-во Орёл ГАУ, 2015. – 432 с. – ISBN 978-5-93382-256-1.

Автор:

Профессор **М.А. Ефимов.**

Учебник содержит: тепловой расчет двигателя, расчет и построение характеристик двигателя, динамический и кинематический расчеты двигателя, расчет и построение мощностного баланса трактора, расчет и построение тяговой характеристики трактора со ступенчатой трансмиссией, примеры расчётов, контрольные вопросы для подготовки к защите курсовой работы, тесты для самоконтроля при подготовке к защите курсовой работы и экзаменам по разделам «Теория, основы расчета и анализ работы». Приведены авторские компьютерные программы для расчета курсовой работы на компьютере.

Учебник предназначен для бакалавров, обучающихся по направлению «Агроинженерия», профиль 110801 «Технические системы в агробизнесе», 110804 «Технический сервис в агропромышленном комплексе», а также может быть полезен магистрантам, аспирантам и практическим работникам, которые занимаются конструированием, испытаниями и эксплуатацией машин.

УДК 631(075.8)

© ФГБОУ ВПО Орёл ГАУ, 2015
ISBN 978-5-93382-256-1 © Оформление «Издательство Орёл ГАУ», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	8
Расчет двигателя внутреннего сгорания1	9
Тепловой расчёт двигателя	10
1.1 Исходные данные для расчёта	10
1.2 Параметры рабочего тела	10
1.2.1 Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания одного килограмма топлива	10
1.2.2 Количество свежего заряда	11
1.2.3 Количество отдельных компонентов продуктов сгорания	12
1.3 Расчёт впуска	13
1.3.1 Давление воздуха на впуске	13
1.3.2 Температура воздуха на впуске	14
1.3.3 Плотность заряда на впуске	14
1.3.4 Давление в конце впуска	15
1.3.5 Коэффициент остаточных газов	16
1.3.6 Температура в конце впуска	18
1.3.7 Коэффициент наполнения	18
1.4 Расчёт сжатия	19
1.4.1 Показатель политропы сжатия	19
1.4.2 Давление в конце сжатия	20
1.4.3 Температура в конце сжатия	20
1.4.4 Средняя молярная теплоёмкость заряда в конце сжатия без учёта влияния остаточных газов	21
1.4.5 Число киломолей остаточных газов	21
1.5 Расчёт сгорания	22
1.5.1 Средняя молярная теплоёмкость продуктов сгорания при постоянном объёме	22
1.5.2 Средняя молярная теплоёмкость продуктов сгорания при постоянном давлении (для дизельных двигателей)	22
1.5.3 Число киломолей газов после сгорания	23
1.5.4 Действительный коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси	23
1.5.5 Количество теплоты, передаваемое газам при сгорании одного килограмма топлива	23
1.5.6 Максимальная температура сгорания	24
1.5.7 Максимальное давление сгорания	26
1.5.8 Степень повышения давления	26
1.6 Расчёт расширения	27
1.6.1 Степень предварительного расширения (для дизельных	

двигателей)	27
1.6.2 Степень последующего расширения (для дизельных двигателей)	27
1.6.3 Показатель политропы расширения	27
1.6.4 Давление в конце расширения	28
1.6.5 Температура в конце расширения	28
1.7 Выпуск	29
1.7.1 Расчётное значение температуры остаточных газов	29
1.7.2 Проверка ранее принятых параметров процесса выпуска	29
1.8 Расчёт и построение индикаторной диаграммы	30
1.8.1 Выбор масштаба и расположение характерных точек на диаграмме	31
1.8.2 Построение линии сжатия и линии расширения	32
1.9 Расчёт индикаторных показателей	36
1.9.1 Теоретическое среднее индикаторное давление	36
1.9.2 Действительное среднее индикаторное давление	37
1.9.3 Рабочий объём одного цилиндра	
1.9.4 Индикаторная мощность	38
1.9.5 Индикаторный коэффициент полезного действия (К П Д)	39
1.9.6 Индикаторный удельный расход топлива	40
1.10 Расчёт эффективных показателей	40
1.10.1 Средняя скорость поршня	40
1.10.2 Давление механических потерь	40
1.10.3 Мощность механических потерь	41
1.10.4 Среднее эффективное давление	42
1.10.5 Механический К П Д	42
1.10.6 Эффективная мощность	43
1.10.7 Эффективный К П Д	43
1.10.8 Эффективный удельный расход топлива	43
1.10.9 Эффективный крутящий момент	44
1.10.10 Часовой расход топлива	44
1.11 Определение основных параметров цилиндра и двигателя	44
1.11.1 Литраж двигателя	44
1.11.2 Рабочий объём цилиндра	45
1.11.3 Диаметр цилиндра	45
1.11.4 Ход поршня	45
2 Расчёт и построение характеристик двигателя	46
2.1 Расчёт и построение характеристики двигателя в функции от частоты вращения коленчатого вала	46

2.1.1	Определение максимальной частоты вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу	47
2.1.2	Определение текущих значений эффективной мощности	47
2.1.3	Определение текущих значений эффективного крутящего момента	48
2.1.4	Определение текущих значений эффективного удельного расхода топлива	49
2.1.5	Определение текущих значений часового расхода топлива	51
2.2	Построение характеристик в функции от эффективной мощности и крутящего момента двигателя	51
3	Тепловой баланс двигателя	52
4	Кинематический расчёт кривошипно-шатунного механизма	54
4.1	Расчёт перемещения поршня	54
4.2	Расчёт скорости поршня	55
4.3	Расчёт ускорения поршня	56
5	Динамический расчет двигателя	59
5.1	Определение сил, действующих вдоль оси цилиндра на поршневой палец	59
6	Тяговый расчёт трактора	67
6.1	Расчёт и построение мощностного баланса трактора	67
6.1.1	Определение потерь мощности в трансмиссии N_{mp} , кВт	67
6.1.2	Определение мощности, подведенной к ведущему колесу (мощность на колесе) N_k , кВт	68
6.1.3	Определение интервала тяговых усилий на крюке от 0 до $P_{кр\phi max}$, Н	68
6.1.4	Разбивка интервала тяговых усилий от 0 до $P_{кр\phi max}$ на промежуточные значения	69
6.1.5	Определение силы сопротивления качению P_f , Н	69
6.1.6	Определение касательной силы тяги на колесе P_k , Н	69
6.1.7	Определение теоретической скорости движения трактора V_t , м/с	69
6.1.8	Определение коэффициентов буксования δ для каждого значения $P_{кр}$	69
6.1.9	Определение действительной скорости движения трактора V_d , м/с	71
6.1.10	Определение потери мощности на самопередвижение	

(качение) трактора N_f , кВт	71
6.1.11 Определение потери мощности на буксование	71
6.1.12 Определение полезной мощности на крюке	72
6.1.13 Определение крюкового (тягового) КПД трактора	72
6.2 Расчёт и построение характеристики трактора со ступенчатой трансмиссией	76
6.2.1 Определение максимального тягового усилия на крюке трактора для рабочих передач $P_{кр.н}$, Н	76
6.2.2 Определение минимального значения тягового усилия для рабочих передач	76
6.2.3 Определение знаменателя геометрической прогрессии , по которому затем можно определить передаточные числа трансмиссии	77
6.2.4 Определение передаточного числа на первой рабочей передаче	77
6.2.5 Определение передаточного числа трансмиссии на остальных рабочих передачах	78
6.2.6 Расчет и построение лучевого графика	79
6.2.7 Определение теоретической скорости движения трактора на каждой передаче	81
6.2.8 Определение касательной силы тяги на каждой передаче	82
6.2.9 Определение силы тяги на крюке для каждого значения на P_d каждой передаче:	82
6.2.10 Определение коэффициентов буксования	82
6.2.11 Определение тяговой мощности на крюке для каждого значения P_d на каждой передаче	83
6.2.12 Определение тягового КПД трактора на каждой передаче	83
6.2.13 Определение удельного крюкового расхода топлива на каждой передаче	83
6.2.14 Определение часового расхода топлива на каждой передаче	83
6.3 Методика поверочного расчёта тяговой характеристики трактора	86
7 Примеры расчётов	92
7.1 Тепловой расчёт дизельного двигателя без наддува	92
7.2 Расчёт и построение характеристик двигателя	111
7.3 Расчёт и построение мощностного баланса трактора	115

7.4 Расчёт и построение тяговой характеристики трактора со ступенчатой трансмиссией	124
8 Применение компьютера для выполнения расчётов	141
8.1 Тепловой расчёт	141
8.2 Расчёт характеристик двигателя	142
8.3 Расчёт мощностного баланса трактора	143
8.4 Расчёт тяговой характеристики трактора со ступенчатой трансмиссией	145
9 Методическое пособие по самостоятельной работе студентов при подготовке к защите курсовой работы	147
9.1 Индикаторная диаграмма	147
9.2 Характеристики двигателя	150
9.3 Уравнение и график мощностного баланса трактора	160
9.4 Потенциальная кривая	164
9.5 Кривая буксования	166
9.6 Связь тяговой характеристики трактора с регуляторной характеристикой двигателя	168
10 Проблемная лекция	173
10.1 Возникновение эффективной мощности двигателя	174
10.2 Способы повышения эффективной мощности двигателя	177
10.3 Возникновение крутящего момента двигателя	179
10.4 Возникновение силы тяги на колесах трактора	180
10.5 Характеристика обычного дизеля	181
10.6 Характеристика двигателя постоянной мощности (ДПМ)	184
10.7 Взаимодействие двигателя с почвой	185
10.8 Взаимодействие ведомых колёс с почвой	186
10.9 Взаимодействие ведущего колеса с почвой. Природа возникновения толкающей силы трактора	190
10.10 Тяговый баланс трактора	195
10.11 Мощностной баланс трактора	195
10.12 Тяговая характеристика трактора со ступенчатой трансмиссией	198
Контрольные вопросы для защиты курсовой работы	200
Тесты для самоконтроля знаний по теории двигателей внутреннего сгорания и теории трактора и автомобиля	204
Литература	221
Приложения	222

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник разработан в соответствии с Федеральным образовательным стандартом по направлению «Агроинженерия», учебной программой по дисциплине «Тракторы и автомобили» и предназначен для бакалавров по профилям обучения «Технические системы в агробизнесе» и «Технический сервис в агропромышленном комплексе» при изучении и выполнении курсовой работы по разделам «Основы теории и расчета двигателя», «Основы теории трактора и автомобиля».

Учебник содержит: тепловой расчет двигателя, расчет и построение характеристик двигателя, динамический и кинематический расчеты двигателя, расчет и построение мощностного баланса трактора, расчет и построение тяговой характеристики трактора со ступенчатой трансмиссией, примеры расчётов, контрольные вопросы для подготовки к защите курсовой работы, тесты для самоконтроля при подготовке к защите курсовой работы и экзаменам по разделам «Теория, основы расчета и анализ работы. Приведены авторские компьютерные программы для расчета курсовой работы на компьютере.

Отдельным разделом дано методическое пособие для самостоятельной работы студентов, в котором рассмотрены основные положения о рабочих процессах в двигателе и тракторе.

В учебнике впервые дана проблемная лекция «Некоторые направления дальнейшего развития теории ДВС и трактора», в которой рассмотрены основные проблемы в современном двигателе и тракторостроении и разработаны теоретические основы их решения.

В заключительных разделах приведены необходимые справочные материалы по отечественным и зарубежным двигателям и тракторам.

Приведенные в учебнике материалы направлены на формирование у студентов следующих профессиональных компетенций: способность решать инженерные задачи, связанные с разработкой, эксплуатацией и обслуживанием тракторов и автомобилей; готовность к проведению исследований рабочих и технологических процессов машин; способностью осуществлять сбор, анализ исходных данных для расчета и проектирования и использовать информационные технологии и др. Глубокое изучение основ теории ДВС, тракторов и автомобилей будет способствовать более успешному освоению дисциплин по эксплуатации МТП и ремонту машин, а также более качественной подготовки студентов к будущей практической работе.