



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

**В. В. Альферович
В. А. Бармин
А. В. Предко**

ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУИРОВАНИЮ И РАСЧЕТАМ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Пособие

**Минск
БНТУ
2018**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

В. В. Альферович

В. А. Бармин

А. В. Предко

ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУИРОВАНИЮ И РАСЧЕТАМ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Пособие для студентов специальности
1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области транспорта
и транспортной деятельности*

Минск
БНТУ
2018

Рецензенты:
кафедра «Техническая эксплуатация воздушных судов
и двигателей» Белорусской государственной академии авиации
(заведующий кафедрой *В. Н. Степаненко*);
заместитель главного конструктора
ОАО УКХ «Минский моторный завод» *В. И. Березун*

Альферович, В. В.

- А59** Требования к конструированию и расчетам двигателей внутреннего сгорания : пособие для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / В. В. Альферович, В. А. Бармин, А. В. Предко. – Минск: БНТУ, 2018. – 40 с.
ISBN 978-985-583-016-1.

Пособие отражает порядок и последовательность расчетов агрегатов, узлов и деталей механизмов и функциональных систем двигателей по дисциплине «Конструирование и расчет двигателей», требования к содержанию и оформлению основной части расчетно-пояснительной записки и графической части курсовых и дипломных проектов по специальности. В приложении пособия приведены образцы оформления задания на дипломный проект, титульного листа расчетно-пояснительной записки, штампов на чертежах и плакатах графической части проекта, а также других документов. Весь изложенный материал базируется на нормативных документах ЕСКД, ЕСТД и других, а также принятых в области высшего образования.

УДК 621.43.001.66(075.8)
ББК 31.365я73

ISBN 978-985-583-016-1

© Альферович В. В., Бармин В. А.,
Предко А. В., 2018
© Белорусский национальный
технический университет, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Конструирование и расчет двигателей» читается на последних двух курсах очной и заочной форм обучения студентов и заканчивается курсовым проектом. Продолжением курсового проекта на последнем курсе является дипломный проект.

Дипломный проект – заключительная творческая стадия учебного процесса по подготовке инженеров-механиков специальности «Двигатели внутреннего сгорания». Во время его выполнения студент должен закрепить теоретические и практические знания, полученные им за время учебы в университете, и проявить умение самостоятельно решать инженерные задачи по конструированию, испытанию и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.

Выполнение дипломного проекта по двигателям внутреннего сгорания должно способствовать приобретению студентами опыта и конструкторских навыков при разработке новых машин, развить умение решать технические и экономические вопросы, возникающие при проектировании.

Одновременно будущему молодому специалисту дается возможность показать свои возможности, технический кругозор и подготовленность к последующей инженерной деятельности.

Тематика курсовых и дипломных проектов включает:

а) разработку новых двигателей внутреннего сгорания для автомобилей, тракторов, мотоциклов и другой транспортной и тяговой техники;

б) разработку модернизированных двигателей для таких же машин;

в) разработку специальных и перспективных двигателей: поротно-поршневых, газотурбинных, с внешним сгоранием, бесшатунных и др.;

г) разработку оборудования для испытания двигателей.

В качестве курсового и дипломного проекта может быть представлена научно-исследовательская тема.

Основанием для выполнения курсового проекта служит «Задание на курсовой проект», которое выдается кафедрой.

Исходные данные к проекту включают два раздела:

1) исходные данные по назначению машины (транспортная, для пахоты, для работы в карьерах и др.) и по условиям работы (климатические: средняя, жаркая, тропическая и арктическая зоны);

2) основные технические показатели по проектируемому двигателю и специальному заданию.

Основными техническими показателями являются энергетические, экономические или экологические показатели.

Специальное задание дается для более глубокой проработки студентом какой-либо части проекта, связанной с разработкой узла, агрегата или решением технического вопроса, улучшающей технические характеристики двигателя.

В качестве спецзадания может быть исследовательская работа, выполняемая студентом на кафедре или на заводе во время прохождения преддипломной практики.

Дипломное проектирование состоит из пяти этапов.

На первом этапе проектирования утверждается задание на проектирование, уточняются исходные данные проекта, подбирается необходимый материал, изучаются конструктивные особенности двигателей, близких к проектируемому двигателю. Дается обоснование выбора основных параметров и типа двигателя.

Второй этап проектирования заключается в проведении тягового расчета машины (при необходимости), теплового и динамического расчетов двигателя.

В результате тягового расчета определяются основные показатели двигателя: максимальная мощность и соответствующая ей частота вращения коленчатого вала.

Тепловой расчет двигателя дает возможность определить основные параметры цилиндропоршневой группы: диаметр и ход поршня, — а также позволяет построить индикаторную диаграмму.

При проведении динамического расчета двигателя определяются силы, действующие в кривошипно-шатунном механизме, необходимые для прочностного расчета деталей двигателя.

Третьим этапом проектирования является компоновка двигателя, разработка агрегатов, узлов и деталей. На этом этапе начинается выполнение специального задания.

Четвертый этап проектирования состоит из проведения расчета на прочность деталей кривошипно-шатунного механизма, газораспределительного механизма, а также расчета всех систем: смазывания, охлаждения, питания, пуска. Заканчивается выполнение специального задания. Все расчеты должны выполняться в Международной системе единиц (СИ).

Пятый этап – заключительный. Он включает следующее:

- а) расчет экономической целесообразности производства и эксплуатации проектируемого двигателя;
- б) разработку технологической части проекта;
- в) разработку мероприятий по технике безопасности, охране труда и охране природы.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ ПРОЕКТА

Расчетно-пояснительная записка должна в краткой и четкой форме раскрывать творческий замысел, содержать принятые методы исследования, методики расчета, а также сами расчеты, описание проведенных экспериментов, их анализ и выводы по ним, технико-экономическое сравнение вариантов. При необходимости расчеты должны сопровождаться иллюстрациями, графиками, эскизами, диаграммами, схемами и т. п.

В дипломных проектах, содержащих сложные математические расчеты с применением электронно-вычислительной техники, должно приводиться описание алгоритма программы. Студент должен изложить методику расчета, привести основные расчетные формулы, схему алгоритма, обосновать выбор исходных данных и привести анализ полученных результатов.

Общими требованиями к расчетно-пояснительной записке дипломного проекта являются: четкость и логическая последовательность изложения материала, убедительность аргументации, конкретность изложения результатов, доказательств и выводов, краткость и ясность формулировок, исключающих неоднозначность толкования.

Структура расчетно-пояснительной записки проекта должна включать следующие элементы, образцы которых приведены в приложениях пособия:

1. Титульный лист (приложение А).
2. Задание на дипломный проект (приложение Б).
3. Реферат (ГОСТ 7.9, приложение В).
4. Ведомость объема дипломного проекта (приложение Г).
5. Оглавление.
6. Перечень условных обозначений, символов и терминов (при необходимости).
7. Введение.
8. Основная часть проекта:
 - патентно-информационный поиск по спецзаданию;
 - тяговый расчет машины (при необходимости), выбор и обоснование основных параметров двигателя;
 - расчет рабочего цикла двигателя;

– расчет кинематики и динамики кривошипно-шатунного механизма;

– выбор конструкции агрегатов и систем двигателя;

– расчет на прочность основных деталей и расчет систем двигателя;

– специальное задание;

– разработка технологического процесса изготовления детали;

– технико-экономические показатели;

– требования охраны труда и техники безопасности;

9. Заключение.

10. Список использованной литературы.

11. Приложения (при необходимости).

При проведении расчетов деталей, узлов, агрегатов, систем или их составных частей (элементов) студент должен придерживаться следующей последовательности изложения материала в расчетно-пояснительной записке:

1. Привести расчетную схему (если она существует) в виде рисунка с указанием на ней геометрических размеров, действующих сил и моментов, эпюр напряжений и другой информации, поясняющую суть дальнейших расчетов;

2. Привести и обосновать выбор исходных данных, которые будут использоваться в расчетных формулах и не меняться в процессе расчетов, в виде геометрических размеров, различных коэффициентов и расчетов коэффициентов, характеристик материалов и т. д.;

3. Изложить методику расчета с приведением основных расчетных формул в общем виде с дальнейшей подстановкой в них числовых значений, причем изменяемые параметры расчета должны быть определены ранее, а затем подставлены в основные расчетные формулы;

4. Провести анализ полученных результатов и сделать соответствующие выводы как по промежуточным расчетам, так и по основным.

Остальные требования к оформлению расчетно-пояснительной записки и графической части как курсового, так и дипломного проектов приведены в Инструкции [1] и учебном электронном издании [2].

2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ОСНОВНОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

2.1 Введение

Во введении дается обоснование темы дипломного проекта, исходя из задач, поставленных перед двигателестроением по развитию, повышению производительности, механизации и автоматизации трудоемких процессов отрасли народного хозяйства, для которой проектируется двигатель.

Введение также должно отражать:

а) последние достижения науки и техники в нашей стране и за рубежом в области автотракторного двигателестроения;

б) конструктивные, производственные и эксплуатационные требования, предъявляемые к проектируемому двигателю.

2.2 Патентно-информационный поиск по спецзаданию

Патентно-информационный поиск по спецзаданию дипломного проекта включает в себя анализ специальной, нормативной, учебной, патентной и научной литературы, в которой может быть найден материал, имеющий отношение к поставленным в спецзадании задачам. Кроме того, может использоваться материал реферативных журналов, обзорной информации, экспресс-информации, информационных бюллетеней, рекламной информации и другой литературы по двигателестроению и эксплуатации двигателей. На основе анализа указанной литературы делаются выводы о перспективности предложенных в проекте технических решений и соответствие их мировому уровню, установленному в двигателестроении, при необходимости составляется карта технического уровня проектируемого двигателя.

2.3 Тяговый расчет машины

Тяговый расчет выполняется с целью определения максимальной, эффективной мощности двигателя, т. е. мощности, необходимой для обеспечения тяговой характеристики машины, для которой предназначен двигатель (максимальной скорости полностью груженого автомобиля (мотоцикла) или максимального тягового усилия на крюке трактора при заданной скорости движения).

Исходными данными для тягового расчета являются основные показатели машины, приведенные в задании на дипломный проект.

Максимальная, эффективная мощность автомобильного или мотоциклетного двигателя может быть определена по формуле

$$N_e = 1,075 \frac{V_{a \max} (\psi m_a g + K_a F V_{a \max}^2 + \delta m_a j_a)}{1000 \eta_m}, \text{ кВт},$$

где m_a – полная масса автомобиля или мотоцикла (состоит из массы снаряженного автомобиля или мотоцикла и массы полезного груза), кг;

$V_{a \max}$ – максимальная скорость движения автомобиля, м/с;

ψ – коэффициент суммарного сопротивления дороги; при движении по горизонтальному участку дороги, на котором может быть развита максимальная скорость машины, коэффициент суммарного сопротивления дороги приближенно можно принять:

1) для асфальтированных и цементно-бетонных покрытий дороги:

– для легковых автомобилей $\psi = (0,01-0,5) \cdot 10^{-6} V_{a \max}^2$;

– грузовых автомобилей $\psi = (0,015-0,02) + 6 \cdot 10^{-6} V_{a \max}^2$;

2) для булыжных покрытий $\psi = 0,03-0,04$;

3) для гравийных покрытий $\psi = 0,03-0,07$;

4) для грунтовых дорог (сухих) $\psi = 0,03-0,05$;

K_a – коэффициент обтекаемости, $\text{Нс}^2/\text{м}^4$;

F – лобовая площадь машины, м^2 ;

Транспорт	K_a	F
Легковые автомобили	0,2–0,3	1,5–2,0
Грузовые	0,5–0,7	3,0–6,5
Автобусы	0,35–0,45	3,0–7,5

δ – коэффициент учета силы инерции приведенных вращающихся масс;

Для его определения можно использовать следующее выражение:

$$\delta = 1,04 + 0,04 i_m^2,$$

i_m – передаточное число коробки передач;

j_a – ускорение автомобиля, которое можно принять равным 0,2–0,3 м/с²;

$\eta_m = 0,82-0,9$ – КПД трансмиссии автомобиля;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Максимальная, эффективная мощность тракторного двигателя определяется из условий движения тракторного агрегата по горизонтальной поверхности с учетом возможной перегрузки. При этом считается, что тракторный агрегат укомплектован с учетом полного использования заданной максимальной тяговой силы на крюке ($P_{кр}$). Исходя из этого, максимальная, эффективная мощность двигателя, необходимая для движения тракторного агрегата с заданной скоростью движения, может быть определена по формуле

$$N_e = \frac{P_{кр} V_m}{\eta_m \chi \left(1 - \frac{f}{\lambda_{к\phi}} \right)},$$

где $P_{кр}$ – заданная максимальная тяговая сила трактора (сила тяги на крюке), Н;

V_m – заданная технологическая скорость трактора (без пробуксовки движителя) при максимальной тяговой силе, м/с;

χ – коэффициент эксплуатационной нагрузки двигателя, учитывающий возможную перегрузку (для тракторов со ступенчатой механической трансмиссией $\chi = 0,85-0,90$, для тракторов с бесступенчатой трансмиссией $\chi = 0,95-1,00$);

η_m – механический КПД трансмиссии и движителя (для колесных тракторов $\eta_t = 0,85-0,93$; для гусеничных $\eta_t = 0,80-0,85$);

f – коэффициент сопротивления качению (при движении по стерне $f = 0,08-0,10$ – для колесных тракторов; $f = 0,06-0,12$ – для гусеничных);

$\lambda_{к}$ – коэффициент нагрузки ведущих колес (для колесных тракторов 4×2 с двумя ведущими колесами $\lambda_{к} = 0,80-0,85$; для колесных тракторов 4×4 с четырьмя ведущими колесами и для гусеничных тракторов $\lambda_{к} = 1$);

ϕ – коэффициент сцепления движителя с грунтом (при движении тракторного агрегата по стерне без существенной пробуксовки движителя от 6 до 12 %, $\phi = 0,6-0,7$ – для колесных тракторов; $\phi = 0,8-0,85$ – для гусеничных).

Частота вращения коленчатого вала n , при которой двигатель должен развивать максимальную мощность, выбирается из условий

качественного протекания рабочего процесса, допустимых тепловых и динамических нагрузок основных деталей и с учетом последних достижений в двигателестроении. Выбор частоты вращения коленчатого вала двигателя согласовывается с руководителем и консультантом дипломного проекта. Обосновывается выбор: типа двигателя (дизельный или бензиновый); особенностей процессов смесеобразования; числа и расположения цилиндров; отношения хода поршня к диаметру цилиндра (S/D); отношения радиуса кривошипа к длине шатуна ($\lambda = R/L$) и других параметров двигателя.

Для выполнения теплового расчета и построения внешней скоростной характеристики определяется максимальная расчетная мощность двигателя $N_{\max}$ и соответствующая ей частота вращения коленчатого вала $n_{N_{\max}}$:

– для двигателей с искровым зажиганием

$$N_{\max} = \frac{N_e}{0,93}, \quad n_{N_{\max}} = 0,85n;$$

– для дизельных двигателей

$$N_{\max} = N_e, \quad n_{N_{\max}} = n.$$

2.4 Расчет рабочего цикла двигателя

Цель расчета рабочего цикла двигателя – расчет основных индикаторных и эффективных показателей (p_b , p_e , η_m , η_b , η_e , g_b , g_e), а также определение основных размеров двигателя (S , D).

Расчет начинают с обоснования и выбора исходных данных:

- температуры окружающей среды T_0 , К;
- подогрева смеси от стенок ΔT ;
- давления окружающей среды $p_0 = 0,1033$ МПа;
- давления остаточных газов p_r , МПа;
- температуры остаточных газов T_r , К;
- коэффициента использования теплоты ξ ;
- коэффициента полноты диаграммы φ_n ;
- виды топлива (бензин или дизельное топливо);
- элементарного состава топлива по массе (g_{ω} , g_H , g_O);

- молекулярной массы топлива m_t ;
- низшей теплоты сгорания топлива H_u , кДж/кг;
- степени повышения давления λ_p ;
- средней скорости поршня C_n (или механической КПД η_m);
- показателей политроп сжатия n_1 и расширения n_2 .

При проведении расчета определяют:

- а) параметры рабочего тела действительного цикла в конце процессов впуска, сжатия, сгорания, расширения и выпуска;
- б) показатели, характеризующие рабочий цикл и двигатель в целом;
- в) основные размеры двигателя (литраж, диаметр цилиндра, ход поршня);
- г) дополнительные параметры для построения индикаторной диаграммы.

При выполнении расчета необходимо обратить внимание на его точность, так как ошибка в подсчете одного показателя влечет за собой искажение всего расчета. В связи с этим рекомендуется основные параметры расчета рабочего цикла проектируемого двигателя сопоставлять с аналогичными параметрами существующих прогрессивных двигателей аналогичного класса.

По полученным размерам диаметра цилиндра и хода поршня приступают к окончательной компоновке двигателя, установлению основных размеров, конфигурации двигателя и основных деталей.

2.5 Расчет динамики кривошипно-шатунного механизма

В кривошипном механизме при работе возникают усилия, которые определяют условия работы основных, наиболее нагруженных деталей. Величина этих усилий может быть определена на основе динамического расчета кривошипно-шатунного механизма (КШМ).

Динамический расчет КШМ выполняется для режима максимальной мощности в диапазоне изменения угла поворота коленчатого вала 0–720 град. ПКВ четырехтактного двигателя и 0–360 град. ПКВ – для двухтактного.

Расчет значений параметров определяют аналитическим или графическим методом через угловые интервалы в 10–30 град. ПКВ.

Последовательность проведения расчета:

1. Определение по индикаторной диаграмме сил давления газов на поршень P_r и построение графика $P_r = f(\varphi)$.

2. Определение или выбор из статистических данных величин масс движущихся деталей КШМ m_j и $m_{ш}$.

3. Вычисление силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс поршневого комплекта и части шатуна, приведенной к поршневому пальцу P_j . Построение графика $P_j = f(\varphi)$.

4. Вычисление суммарной силы P_{Σ} , действующей на поршневой палец по направлению оси цилиндра. Построение графика $P_{\Sigma} = f(\varphi)$.

5. Вычисление боковой силы N и силы S , действующей вдоль шатуна.

6. Вычисление суммарной тангенциальной силы T , действующей на шатунную шейку кривошипа. Построение графика $T = f(\varphi)$.

7. Вычисление суммарной нормальной силы K , действующей на шатунную шейку кривошипа. Построение графика $K = f(\varphi)$.

8. Построение графика суммарного индикаторного крутящего момента многоцилиндрового двигателя $\Sigma M_{кр} = f(\varphi)$ и определение по нему среднего индикаторного момента двигателя $(\Sigma M_{кр})_{ср}$, вычисление среднего эффективного крутящего момента двигателя.

9. Построение полярной диаграммы результирующих сил, действующих на шатунную шейку кривошипа.

Построение полярной диаграммы нагрузки на шатунную шейку $R_{шш}$, определение средних значений результирующих сил $R_{ср}$ и средних удельных нагрузок на подшипники $q_{ср}$.

По полученным данным динамического расчета производится проверка правильности его выполнения. Для этого по среднему значению крутящего момента определяется мощность двигателя и сравнивается с заданной мощностью. Допустимые отклонения не должны превышать 5 % (проверку можно производить и по крутящему моменту). При вычислениях необходимо учитывать механический КПД двигателя.

2.6 Выбор конструкции агрегатов и систем двигателя

При выборе конструкции агрегатов двигателя учитываются лучшие достижения двигателестроения как отечественного, так и зарубежного.

Форма и размеры деталей устанавливаются из конструктивных соображений с учетом имеющихся статистических данных существующих конструкций двигателей аналогичного класса и назначения.

Рассматривается вопрос применения алюминиевых сплавов, высококачественных и других материалов.

В ходе разработки конструкции и компоновки узлов, агрегатов и двигателя в целом следует руководствоваться прежде всего, назначением механизма, а также техническими эксплуатационными и эстетическими требованиями.

При компоновке узлов должны быть решены следующие вопросы: крепление узла к двигателю и подсоединение его к приводам смежных узлов, удобство монтажа и демонтажа, доступность для обслуживания. Особое внимание уделяется вопросам смазывания.

В записке дается обоснование выбора конструкции агрегатов, систем двигателя и размещения их на двигателе.

2.7 Расчет на прочность основных деталей и расчет систем двигателя

Расчет начинается с определения условий работы детали: величины, характера и места приложения нагрузки, термических условий, агрессивности окружающей среды. На основании этого вырабатываются требования к материалу детали, термообработке и технологии изготовления.

Для каждой детали вычерчивается расчетная схема с нанесением приложенных сил, моментов и реакций.

Полученные результаты расчетов необходимо сравнить с допустимыми величинами и сделать вывод о надежности и долговечности спроектированной детали.

Расчету подлежат: детали кривошипно-шатунного механизма, детали газораспределительного механизма, система смазывания, система охлаждения, система питания и система пуска.

2.7.1 Кривошипно-шатунный механизм

Цилиндры. При расчете цилиндров и гильз цилиндров определяются напряжение на разрыв по образующей и температурное напряжение. Для конструкций с несущими цилиндрами определяются напряжения на разрыв по кольцевому сечению и на изгиб от боковой силы. Мокрые гильзы также рассчитываются на изгиб от нормальной силы.

Силовой болт (шпилька). Силовые болты рассчитываются на разрыв от суммарной силы предварительной затяжки и максимального давления газов.

Поршень. Днище рассчитывается на изгиб; головка проверяется на разрыв и сжатие по канавке маслосъемного кольца; юбка проверяется на удельное давление от нормальной силы; первая межкольцевая перемычка – на изгиб и срез у ее основания. Производится расчет зазоров в соединениях.

Поршневой палец. Определяются удельные давления в бобышках и поршневой головке шатуна; проверяется палец на напряжение изгиба, среза и овализации. Производится расчет зазоров в соединениях.

Поршневые кольца. Определяются напряжения изгиба в рабочем состоянии, при одевании кольца на поршень. Строится эпюра радиального давления кольца на стенки цилиндра. Производится расчет зазора в замке.

Шатун. Рассчитываются запасы прочности в поршневой головке, стержне, кривошипной головке и шатунных болтах.

Коленчатый вал. Определяются запасы прочности коренных и шатунных шеек и щек. Расчет ведется для одного наиболее нагруженного кривошипа, при этом коленчатый вал рассматривается как разрезная балка.

Для определения максимальных и минимальных значений крутящих моментов за цикл составляются таблицы набегающих моментов на опорах и шатунных шейках вала.

2.7.2 Газораспределительный механизм

Расчет газораспределительного механизма начинают с определения основных параметров: диаметра горловины и проходного сечения клапана, максимального значения подъема клапана, фаз газораспределения, построения профиля кулачка, определения средней условной скорости газа в проходном сечении клапана. На основании статистических данных определяются массы движущихся частей механизма и выполняется их приведение к клапану и толкателю.

Определяются силы, действующие в клапанном механизме: силы давления газов, силы инерции и силы упругости пружины. Строится характеристика пружины.

Производится расчет основных деталей: клапанных пружин, распределительного вала, штанг, коромысел, толкателей.

В клапанных пружинах определяют: основные размеры, запас прочности, частоту собственных колебаний. Основные размеры пружины: $D_{\text{пр}}$ – средний диаметр пружины; d – диаметр проволоки; t – шаг пружины; i_p – число рабочих витков.

Распределительный вал рассчитывается на максимальный прогиб и величину контактного напряжения на поверхности кулачка.

Штанги рассчитываются на устойчивость от продольного изгиба, а наконечники проверяются на величину контактных напряжений.

При расчете толкателей проверяется боковая поверхность на удельную нагрузку от боковых сил.

Расчет коромысла. Сферическая поверхность регулировочного болта и цилиндрическая поверхность бойка проверяются на контактное напряжение. Плечи коромысел рассчитываются на напряжение изгиба, втулки – на удельную нагрузку, оси коромысел – на напряжение среза и изгиба.

2.7.3 Система смазывания

Производится гидродинамический и тепловой расчеты подшипника скольжения; определяется количество масла, циркулирующего в системе смазывания, и ее емкость; выполняется расчет масляного насоса, радиатора; рассчитывается масляный фильтр.

2.7.4 Система охлаждения

Производятся расчеты: количества тепла, отводимого в систему охлаждения от двигателя; водяного насоса; радиатора; осевого вентилятора. В двигателях воздушного охлаждения рассчитывается обребрение головки цилиндра, цилиндров и вентилятор. Определяется емкость системы жидкостного охлаждения.

2.7.5 Система питания

В зависимости от типа двигателя и топливоподающей системы рассчитываются параметры узлов и агрегатов топливоподающей аппаратуры: диаметр диффузора и диаметр жиклера карбюратора,

объем топливной рейки (аккумулятора), диаметр и ход плунжера, площадь проходного сечения всех сопловых отверстий, количество отверстий, диаметр соплового отверстия. По полученным данным подбирается необходимый тип насоса и размер форсунки.

Если в дипломном проекте в качестве спецзадания предусмотрено на разработка системы питания, то расчет производится по специальным источникам.

2.7.6 Система пуска

Производится расчет мощности пускового устройства. Подбирается тип и марка пускового устройства (пусковой двигатель или электростартер).

2.8 Специальное задание

В этом разделе дается обоснование типа и основных показателей, а также конструктивная разработка узла или системы, указанных в специальном задании на дипломное проектирование. При этом необходимо сделать сравнение с существующими конструкциями по технико-экономическим показателям, надежности и долговечности.

Расчет необходимо вести на наиболее тяжелый режим работы, характерный для данного узла двигателя. Его необходимо сопровождать схемами и эскизами деталей.

Полученные данные расчета сопоставляются с допустимыми величинами.

Если в качестве специального задания указана научно-исследовательская работа, проводимая студентом, то необходимо привести графики, схемы и таблицы, показывающие полноту выполненной работы.

В записке целесообразно дать анализ вариантов конструктивных решений узлов или систем, разрабатываемых в дипломном проекте. При этом должны быть показаны новые разработки и достижения в этой области, а также собственное решение.

В конце расчетной части пояснительной записки составляется краткая техническая характеристика двигателя.

Описывается краткая техническая характеристика спроектированного двигателя в соответствии с ГОСТ 14846. Выполняется

сравнительный анализ основных показателей спроектированного двигателя и прототипа.

Примерный образец технической характеристики двигателя приведен ниже.

1. Тип двигателя (тактность, дизельный или бензиновый).
2. Способ смесеобразования (для дизельных двигателей).
3. Число и расположение цилиндров.
4. Порядок работы цилиндров.
5. Диаметр цилиндра, мм.
6. Ход поршня, мм.
7. Рабочий объем, л.
8. Степень сжатия.
9. Максимальная мощность, кВт.
10. Частота вращения коленчатого вала при максимальной мощности, мин^{-1} .
11. Максимальный крутящий момент, Нм.
12. Частота вращения при максимальном крутящем моменте, мин^{-1} .
13. Минимальный удельный расход топлива, $\text{г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$.
14. Фазы газораспределения, град.
15. Сухая масса двигателя, кг.
16. Технический ресурс до первого капитального ремонта, ч (км пробега).
17. Основные заправочные емкости:
 - системы смазывания, л;
 - системы питания, л;
 - системы охлаждения, л.

Примечание. Масса двигателя и технический ресурс принимаются по данным аналогичных конструкций и с учетом принятых конструктивных решений.

2.9 Разработка технологического процесса изготовления детали

Для разработки технологического процесса принимается одна из основных деталей проектируемого узла, содержащая не менее 6–8 операций (позиций) механической обработки.

Весь раздел разработки технологии производства детали подразделяется на две части: графическую и расчетно-пояснительную.

В графическую часть входят: рабочие чертежи детали и заготовки (0,5–1 лист формата А1), один лист технологических эскизов (по четыре или шесть эскизов на листе формата А1). Рабочие чертежи детали и заготовки выполняются в масштабе со всеми проекциями, разрезами и сечениями, необходимыми для полного понимания их конструкции (ГОСТ 7505).

Операционные эскизы выполняются в одном масштабе после того, как технологический процесс полностью разработан и оформлен в картах. На каждом операционном эскизе изображается деталь в рабочем положении и в том виде, который получается после выполнения операции; указывается способ установки и закрепления детали согласно ГОСТ 3.1107; в конечном положении изображается обрабатываемый инструмент. При обработке отверстий сверлением, зенкерованием, развертыванием, шлифованием режущий инструмент изображается в исходном положении. Поверхности детали, обрабатываемые на данной операции, обводятся утолщенными линиями. На эскизе указываются размеры с допусками по ГОСТ 2.307 и 2.308, шероховатость поверхности – по ГОСТ 2.309 и технические требования на данную операцию, а также дается ее краткое содержание. Рабочие движения детали и инструмента указываются стрелками. Если движения сложные, дается их циклограмма. Вверху эскиза указывается номер операции, а в правом нижнем углу – таблица режимов резания по установленному формату.

В расчетно-пояснительной записке должны быть освещены следующие вопросы:

1. Назначение и анализ технологичности конструкции детали.
2. Определение типа производства.
3. Выбор метода получения заготовки.
4. Технологический процесс обработки детали:
 - а) выбор и сравнение вариантов технологического процесса механической обработки детали;
 - б) выбор режущего, мерительного, вспомогательного инструмента, приспособлений и смазывающе-охлаждающих жидкостей по операциям;
 - в) расчет режимов резания;
 - г) нормирование технологического процесса;
 - д) определение потребного количества оборудования.

При описании назначения детали особое внимание следует обратить на назначение основных ее поверхностей, влияние их взаимного расположения, точности размеров и формы, шероховатости обработки на работу машины или узла в целом. Здесь же приводятся данные о материале детали, его химическом составе и механических свойствах, которые оформляются в виде таблиц.

Целью технологического анализа конструкции детали является выявление недостатков конструкции по номинальной трудоемкости и металлоемкости, возможности применения высокопроизводительных методов, а также достаточности сведений, содержащихся на чертеже и в технических требованиях. При этом определяются: возможность и целесообразность замены материала и упрощения конструкции, применения нормализованных и стандартизованных элементов детали; достаточность ее жесткости и доступность поверхностей для обработки, наличие на детали удобных базирующих поверхностей и возможность создания вспомогательных технологических баз (при необходимости); наиболее рациональный способ получения заготовки с размерами и формой, возможно близкими к готовой детали, обеспечивающей наиболее высокий коэффициент использования металла, возможность уменьшения слесарных и пригоночных работ и упрощение сборки.

Для подробной разработки выбирается наиболее экономичный вариант, который и дается в технологических картах. В пояснительной записке проводится только обоснование выбранных операций (в их последовательности), моделей станков, выбранных баз, режущего, мерительного и вспомогательного инструмента, методов контроля точности размеров, технических требований и шероховатости поверхностей.

По расчету режимов резания в записке приводится только порядок расчета. Полученные результаты вписываются в сводную таблицу.

Нормирование технологического процесса для условий массового и серийного производства проводится расчетно-аналитическим способом. При этом основное время определяется на основании выбранных режимов резания, а вспомогательное время, время на обслуживание рабочего места и отдых – по справочным данным. Результаты расчета сводятся в таблицу.

Определение потребного количества оборудования для массового производства производится на основе штучного времени на операцию

и такта выпуска, а для серийного производства – на основе программы выпуска деталей, действительного фонда времени станка при работе в две смены и штучно-калькуляционного времени. Коэффициент загрузки оборудования определяется для каждой операции в отдельности. Затем строится график загрузки оборудования, на котором приводится загрузка каждого станка в отдельности. Средний коэффициент загрузки оборудования по отделению определяется как среднеарифметическое значение коэффициентов загрузки всех станков.

2.10 Техничко-экономические показатели

Экономическая часть дипломного проекта выполняется в соответствии с последними разработанными методическими указаниями кафедры «Экономика и логистика» и рекомендациями консультанта этой кафедры.

2.11 Требования охраны труда

В проекте должны быть отражены общие и специальные требования безопасности, предъявляемые к двигателю. В содержание раздела входит выбор технических устройств по охране труда, технике безопасности и противопожарным мероприятиям. Даются характеристики и анализ потенциальных опасностей разрабатываемого двигателя или научно-исследовательской темы с точки зрения охраны труда и природы (избыточное тепловыделение, загазованность, шум, вибрации, возможность нанесения травмы человеку подвижными частями и т. п.). Также принимаются меры по профилактике травматизма и профзаболеваний.

Отдельные вопросы по охране труда могут быть отражены в других разделах проекта в комплексе с рассматриваемыми там вопросами. Так, например, в конструкции двигателя применяются защитные кожухи, ограждения и другие приспособления, в технологической части применяются безопасные приемы и операции обработки детали и т. д.

В разделе должны быть отражены следующие вопросы:

1. Общегосударственное значение и задачи охраны труда и природы, техники безопасности (используются материалы постановлений правительства и профсоюзов).

2. Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность труда при разработке:

- а) двигателя внутреннего сгорания, предусмотренного проектом;
- б) оборудования для испытаний;
- в) научно-исследовательской темы.

3. Порядок выполнения аварийных работ при нарушении целостности и герметичности емкостей с горючими, смазочными, ядовитыми жидкостями или газами.

4. Техника безопасности при работе с двигателем:

- а) опасности, возникающие при эксплуатации;
- б) расчеты прочности и коэффициенты безопасности;
- в) предохранительные устройства;
- ж) газозащитные, парозащитные и пылезащитные приспособления и устройства;
- з) оградительные устройства в конструкции двигателя;
- и) индивидуальные средства защиты при работе с двигателем;
- к) способы аварийной остановки двигателя;
- л) мероприятия, предупреждающие воздействие на человека агрессивных и токсических веществ и газов, образующихся при работе двигателя; их краткая характеристика.

5. Оценка надежности конструктивных решений по технике безопасности, принятых в проекте.

6. Анализ разработанной конструкции с точки зрения мер по устранению или уменьшению выделения вредных газов и паров.

7. Анализ потенциальных опасностей, возникающих при эксплуатации двигателей.

8. Разработка мероприятий по борьбе с шумами и вибрациями двигателя и оборудования, при испытании их и при выполнении научно-исследовательской темы.

Требованиям техники безопасности должны удовлетворять конструктивные решения как двигателя в целом, так и всех его узлов.

В пояснительной записке даются укрупненные обоснования принятых решений по вопросам охраны труда и техники безопасности с использованием новейших достижений. В записке желательно также привести приближенный расчет затрат на мероприятия по технике безопасности.

2.12 Заключение

В этом разделе приводится сравнение спроектированного двигателя с аналогичными конструкциями данного класса.

Необходимо отметить нововведения, сделанные в конструкции, мероприятия по повышению прочности, долговечности и надежности деталей и систем двигателя, а также срока их службы.

Необходимо сделать выводы о перспективах дальнейшего развития такого типа двигателей.

Следует также дать заключение о рентабельности серийного производства двигателя и укрупненные показатели ожидаемого эффекта от внедрения в производство и эксплуатацию спроектированного двигателя.

В заключении указывается назначение спроектированного двигателя и обоснование масштабов производства, а также соответствие его нормативным требованиям по экологическим и другим показателям.

2.13 Список использованной литературы

В список использованных источников, составленный при проектировании, включаются все литературные источники и отдельные материалы. Он составляется в порядке упоминания литературы в тексте пояснительной записки.

Все данные о литературном источнике приводятся в соответствии с ГОСТ 7.1 с необходимой полнотой для отыскания его в библиотеках. Пунктуация и сокращения должны быть общепринятыми.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция о порядке организации, проведения дипломного проектирования и требования к дипломным проектам (дипломным работам), их содержание и оформление, обязанности руководителя, консультанта, рецензента дипломного проекта (дипломной работы) : утверждена приказом ректора БНТУ 27. 01. 2014. – № 105.

2. Альферович, В. В. Дипломное проектирование [учебное электронное издание] : методические указания для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / В. В. Альферович, В. А. Бармин. – Минск: БНТУ, 2015.

3. Единая система конструкторской документации. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ : ГОСТ 2.004–88. – Взамен ГОСТ 2.004–79, ГОСТ 3.1124–86; введ. 01.01.90. – Москва: изд-во стандартов, 1989. – 40 с.

4. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки : ГОСТ 2.103–2013. – Взамен ГОСТ 2.103–68; введ. 01.10.2016. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2016. – 5 с.

5. Единая система конструкторской документации. Основные надписи : ГОСТ 2.104–2006. – Взамен ГОСТ 2.104–68; введ. 01.03.2007. – Минск: БелГИСС: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. – 13 с.

6. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам : ГОСТ 2.105–95. – Взамен ГОСТ 2.105–79, ГОСТ 2.906–71; введ. 01.07.96. – Минск: БелГИСС: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 36 с.

7. Единая система конструкторской документации. Текстовые документы : ГОСТ 2.106–96. – Взамен ГОСТ 2.106–68, ГОСТ 2.108–68, ГОСТ 2.112–70; введ. 01.07.97. – Минск: БелГИСС: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 47 с.

8. Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам : ГОСТ 2.109–73. – Взамен ГОСТ 2.107–68, ГОСТ 2.109–68, ГОСТ 5292–60 в части разд. VIII; введ. 01.07.74. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 26 с.

9. Единая система конструкторской документации. Форматы : ГОСТ 2.301–68. – Взамен ГОСТ 3450–60; введ. 01.01.71. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 2 с.

10. Единая система конструкторской документации. Масштабы : ГОСТ 2.302–68. – Взамен ГОСТ 3451–59; введ. 01.01.71. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 2 с.

11. Единая система конструкторской документации. Линии : ГОСТ 2.303–68. – Взамен ГОСТ 3456–59; введ. 01.01.71. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 6 с.

12. Единая система конструкторской документации. Шрифты чертежные : ГОСТ 2.304–81. – Взамен ГОСТ 2.304–68; введ. 01.01.82. – Москва: изд-во стандартов, 1981. – 27 с.

13. Единая система конструкторской документации. Изображения – виды, разрезы, сечения : ГОСТ 2.305–2008. – Взамен ГОСТ 2.305–68; введ. 01.01.2010. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2009. – 23 с.

14. Единая система конструкторской документации. Обозначения графические материалов и правила их нанесения на чертежи : ГОСТ 2.306–68. – Взамен ГОСТ 3455–59, ГОСТ 11633–65; введ. 01.01.71. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 6 с.

15. Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений : ГОСТ 2.307–2011. – Взамен ГОСТ 2.307–68; введ. 01.01.2012. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2011. – 28 с.

16. Единая система конструкторской документации. Указание допусков формы и расположения поверхностей : ГОСТ 2.308–2011. – Взамен ГОСТ 2.308–79; введ. 01.01.2012. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2011. – 22 с.

17. Единая система конструкторской документации. Обозначение шероховатости поверхности : ГОСТ 2.309–73. – Взамен ГОСТ 2.309–68; введ. 01.01.75. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2011. – 7 с.

18. Единая система конструкторской документации. Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки : ГОСТ 2.310–68. – Взамен ГОСТ 2940–63 в части п. 15–17; введ. 01.01.71. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 5 с.

19. Единая система конструкторской документации. Изображение резьбы : ГОСТ 2.311–68. – Взамен ГОСТ 3459–59; введ. 01.01.71. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 5 с.

20. Единая система конструкторской документации. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений : ГОСТ 2.312–72. – Взамен ГОСТ 2.312–68; введ. 01.01.73. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 9 с.

21. Единая система конструкторской документации. Изображения упрощенные и условные крепежных деталей : ГОСТ 2.315–68. – Взамен ГОСТ 3465–52; введ. 01.01.71. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 9 с.

22. Единая система конструкторской документации. Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах. Общие положения : ГОСТ 2.316–2008. – Взамен ГОСТ 2.316–68; введ. 01.01.2010. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2009. – 7 с.

23. Единая система конструкторской документации. Обозначения буквенные : ГОСТ 2.321–84. – Взамен ГОСТ 3452–59; введ. 01.01.85. – Москва: изд-во стандартов, 1984. – 2 с.

24. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей пружин : ГОСТ 2.401–68. – Взамен ГОСТ 3461–59, ГОСТ 4444–60; введ. 01.01.71. – Москва: изд-во стандартов, 2002. – 15 с.

25. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей зубчатых (шлицевых) соединений : ГОСТ 2.409–74. – Взамен ГОСТ 2.409–68; введ. 01.01.75 // Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей различных изделий: сборник. – С. 36–38.

26. Единая система конструкторской документации. Плакаты учебно-технические. Общие технические требования : ГОСТ 2.605–68. – Введ. 01.01.71. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 4 с.

27. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем : ГОСТ 2.702–2011. – Взамен ГОСТ 2.702–75; введ. 01.11.2013. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2013. – 22 с.

28. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения гидравлических и пневматических схем : ГОСТ 2.704–2011. – Взамен ГОСТ 2.704–76; введ. 01.01.2012. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2011. – 14 с.

29. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения : ГОСТ 2.721–74. – Взамен ГОСТ 2.721–68, ГОСТ 2.783–69, ГОСТ 2.750–68, ГОСТ 2.751–73; введ. 01.07.75. – Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2010. – 33 с.

30. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики : ГОСТ 2.770–68. – Взамен ГОСТ 3462–61; введ. 01.01.71. – Москва: изд-во стандартов, 1983. – 25 с.

31. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические. Кондиционеры рабочей среды, емкости гидравлические и пневматические : ГОСТ 2.780–96. – Взамен ГОСТ 2.780–68 в части п. 1, 2, 18–25; введ. 01.01.98. – Минск: БелГИСС: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 8 с.

32. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические. Аппараты гидравлические и пневматические, устройства управления и приборы контрольно-измерительные : ГОСТ 2.781–96. – Взамен ГОСТ 2.781–68; введ. 01.01.1998. – Минск: БелГИСС: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 24 с.

33. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические. Арматура трубопроводная : ГОСТ 2.785–70. – Взамен ГОСТ 11628–65 в части трубопроводной арматуры и ГОСТ 3463–46 в части трубопроводной арматуры; введ. 01.01.71 // Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах : сборник. – С. 27–31.

34. Единая система технологической документации. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения : ГОСТ 3.1107–81. – Взамен ГОСТ 3.1107–73; введ. 01.07.82. – Москва: изд-во стандартов, 1982. – 11 с.

35. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления : ГОСТ 7.32–2001. – Взамен ГОСТ 7.32–91 (ИСО 5966–82); введ. 01.01.2003. – Минск: БелГИСС: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 16 с.

36. Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь : ТР 2007/003/ВУ. – Введ. 01.01.10. – Минск: БелГИСС: Госстандарт, 2007. – 16 с.

37. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски : ГОСТ 7505–89. – Взамен ГОСТ 7505–74; введ. 01.07.90. – Москва: изд-во стандартов, 1993. – 52 с.

38. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний : ГОСТ 14846–81. – Взамен ГОСТ 14846–69; введ. 01.01.82. – Москва: изд-во стандартов, 1984. – 55 с.

39. Проектирование деталей и механизмов ДВС : методические указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / сост. В. В. Альферович, И. К. Русецкий. – Минск: БНТУ, 2005. – 27 с.

40. Вершина, Г. А. Тепловой и динамический расчет двигателей внутреннего сгорания : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / Г. А. Вершина, Г. М. Кухаренок, А. Ю. Пилатов. – Минск: БНТУ, 2013. – 78 с.

41. Токсичность ДВС [электронный ресурс] : методические указания по изучению дисциплины «Токсичность ДВС» для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / сост. В. В. Альферович. – Минск: БНТУ, 2009.

42. Морозов, К. А. Токсичность автомобильных двигателей / К. А. Морозов. – Москва: Легион–Автодата, 2000. – 79 с.

43. Горбачевич, А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов / А. Ф. Горбачевич, В. А. Шкред – 4-е изд. перераб. и доп. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 256с.: ил.

44. Грехов, В. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей : учебник для вузов / В. В. Грехов, Н. А. Ивашенко, В. А. Марков. – Москва: Легион–Автодата, 2004. – 257 с.

45. Кухаренок, Г. М. Агрегаты наддува : учебно-методическое пособие по дисциплине «Газовая динамика и агрегаты наддува» для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» заочной формы обучения / Г. М. Кухаренок. – Минск: БНТУ, 2012. – 49 с.

46. Гришкевич, А. И. Автомобили : Теория : учебник для вузов / А. И. Гришкевич. – Минск: Вышэйшая школа, 1986. – 208 с.

47. Двигатели внутреннего сгорания : устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / В. П. Алексеев, [и др.]; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1990. – 283 с.

48. Двигатели внутреннего сгорания : теория поршневых и комбинированных двигателей : учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д. Н. Вырубов [и др.]; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1983. – 375 с.

49. Двигатели внутреннего сгорания : конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей / Д. Н. Вырубов [и др.]; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е изд. перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1984. – 384 с.

50. Двигатели внутреннего сгорания : системы поршневых и комбинированных двигателей / С. И. Ефимов [и др.]; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1985. – 456 с.

51. Двигатели внутреннего сгорания : учебник: в 3 кн. / В. Н. Луканин, [и др.]; под ред. В. Н. Луканина. – Москва: Высшая школа, 1995. – Кн. 1: Теория рабочих процессов. – 368 с.

52. Двигатели внутреннего сгорания : учебник: в 3 кн. / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В. Н. Луканина. – Москва: Высшая школа, 1995. – Кн. 2. Динамика и конструирование – 319 с.

53. Кавтарадзе, Р. З. Теория поршневых двигателей : Специальные главы : учебник для вузов / Р. З. Кавтарадзе. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 720 с.

54. Железко, Б. Е. Основы теории и динамика автомобильных и тракторных двигателей : учебное пособие для вузов / Б. Е. Железко. – Минск: Вышэйшая школа, 1980. – 304 с.

55. Железко, Б. Е. Термодинамика, теплопередача и двигатели внутреннего сгорания / Б. Е. Железко, В. М. Адамов, Р. И. Есьман. – Минск: Высшая школа, 1985. – 271 с.

56. Конструирование двигателей внутреннего сгорания : учебник для студентов вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» направления подготовки «Энергомашиностроение» / Н. Д. Чайнов [и др.]; под ред. Н. Д. Чайнова. – Москва: Машиностроение, 2008. – 496 с.

57. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей : учебное пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – 4-е изд., стер. – Москва: Высшая школа, 2008. – 496 с.

58. Кульчицкий, А. Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей : учебное пособие для высшей школы / А. Р. Кульчицкий. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Академический проект, 2004. – 400 с.

59. Кухаренок, Г. М. Рабочий процесс высокооборотных дизелей : Методы и средства совершенствования / Г. М. Кухаренок. – Минск: БГПА, 1999. – 180 с.

60. Якубович, А. И. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей : Конструкция, теория, проектирование / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: Новое знание; Москва: Инфра – М, 2013. – 437 с.

61. Якубович, А. И. Системы охлаждения двигателей тракторов и автомобилей : Исследования, параметры и показатели / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2014. – 300 с.

62. Кухаренок, Г. М. Пусковые качества дизелей с аккумуляторной системой топливоподачи / Г. М. Кухаренок, А. Н. Марчук, А. Н. Петрученко. – Минск: БНТУ, 2012. – 173 с.

63. Системы управления дизельными двигателями / перевод с немецкого. – Первое русское издание. – Москва: За рулем, 2004. – 480 с.

64. Системы управления бензиновыми двигателями / перевод с немецкого. – Первое русское издание. – Москва: За рулем, 2005. – 432 с.

65. Расчет и конструирование автомобильных и тракторных двигателей (дипломное проектирование) : учебное пособие для вузов / Б. Е. Железко [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 247 с.

66. Газовая динамика и агрегаты наддува : методические указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / сост. Г. М. Кухаренко, А. Н. Петрученко. – Минск: БНТУ, 2009. – 66 с.

67. Конструирование и расчет двигателей : практикум для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» : в 3 ч. / сост.: В. А. Бармин, А. В. Предко. – Минск: БНТУ, 2016. – Ч. 1 : Расчет деталей цилиндропоршневой и шатунной групп. – 50 с.

68. Конструирование и расчет двигателей : практикум для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» : в 3 ч. / сост.: В. А. Бармин, А. В. Предко. – Минск: БНТУ, 2017. – Ч. 2 : Расчет деталей группы коленчатого вала. – 44 с.

69. Конструирование и расчет двигателей : практикум для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» : в 3 ч. / сост.: В. А. Бармин, А. В. Предко. – Минск: БНТУ, 2018. – Ч. 3 : Расчет деталей газораспределительного механизма. – 44 с.

70. Топливные системы и экономичность дизелей / И. В. Астахов [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1990. – 287 с.

71. Тракторы : Теория : учебник для студентов вузов по специальности «Автомобили и тракторы» / В. В. Гуськов [и др.]; под ред. В. В. Гуськова. – Москва: Машиностроение, 1988. – 376 с.

72. Транспорт и окружающая среда : учебник / М. М. Болбас, [и др.]; под общ. ред. М. М. Болбаса. – Минск: Технопринт, 2003. – 262 с.

73. Файнлейб, Б. Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей : справочник / сост. Б. Н. Файнлейб. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Машиностроение. 1990. – 352 с.

74. Хорош, А. И. Дизельные двигатели транспортных и технологических машин : учебное пособие / А. И. Хорош, И. А. Хорош. – 2-е изд. испр. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 704 с.

75. Графкина, М. В. Экология и экологическая безопасность автомобиля : учебник / М. В. Графкина, В. А. Михайлов, К. С. Иванов. – Москва: Форум, 2011. – 320 с.

76. Пути повышения конкурентоспособности ДВС : проблемы и решения : учебное пособие / Ч. Б. Дробышевский [и др.]; под общ. ред. Г. Г. Маньшина. – Москва: Техполиграфцентр, 2012. – 167 с.
77. Технология машиностроения. Курсовое проектирование : учебное пособие / М. М. Кане [и др.]; под ред. М. М. Кане, В. К. Шелег. – Минск: Вышэйшая школа, 2013. – 311 с.
78. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. М. Дальского [и др.]. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2001. – Т. 1. – 912 с.
79. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. М. Дальского [и др.]. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 890 с.
80. Режимы резания металлов : справочник / сост. Ю. В. Барановский [и др.]. – Москва: НИИТавтопром, 1995. – 456 с.
81. Оформление технологической документации в курсовых и дипломных проектах : методические указания / сост. В. И. Романенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 81 с.
82. Проектирование технологических процессов механической обработки деталей : методические указания по выполнению курсового проекта / сост. А. А. Ярошевич. – Минск: БИТУ, 2006. – 24 с.
83. Межотраслевые правила охраны труда на автомобильном и городском электрическом транспорте. – Минск, 2008.
84. Требования для организаций по ремонту и техническому обслуживанию транспортных средств : санитарные нормы и правила. – Минск, 2013.
85. Шум. Общие требования безопасности : ГОСТ 12.1.003–83.
86. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования : ГОСТ 12.1.007–75.
87. Техническое обслуживание и ремонт транспортных средств. Общие требования безопасности : СТБ 960 – 2011.
88. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и автотранспортных средств с двигателями с воспламенением от сжатия в отношении выброса видимых загрязняющих веществ : Правила ЕЭК ООН № 24 (ГОСТ Р41.24–2003).

89. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения мотоциклов, оснащенных двигателем с принудительным зажиганием, в отношении выделяемых двигателем выхлопных газов : Правила ЕЭК ООН № 40.

90. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения мопедов, оснащенных двигателем с принудительным зажиганием, в отношении выделяемых двигателем выхлопных газов : Правила ЕЭК ООН № 47.

91. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием, работающих на сжиженном нефтяном газе (СНГ), и транспортных средств, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия, двигателями, работающими на природном газе, и двигателями с принудительным зажиганием, работающими на СНГ, в отношении выделяемых ими загрязняющих веществ : Правила ЕЭК ООН № 49 (ГОСТ Р41.49–2003).

92. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выбросов загрязняющих веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей : Правила ЕЭК ООН № 83 (ГОСТ Р41.83–99).

93. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах в отношении выбросов загрязняющих веществ этими двигателями : Правила ЕЭК ООН № 96 (ГОСТ Р41.96–99).

94. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения объема выбросов диоксидов углерода и расхода топлива : Правила ЕЭК ООН № 101 (ГОСТ Р41.101–99).

95. Транспорт дорожный. Экологические классы : СТБ 1848–2009.

96. Состав отработанных газов двигателей внутреннего сгорания [электронный ресурс] : методическое пособие к дисциплине «Токсичность ДВС» для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / сост. В. В. Альферович. – Минск: БНТУ, 2011.

97. Оценка экономической эффективности проектных решений: методическое пособие по выполнению экономической части дипломного проекта и курсовой работы для студентов специальностей 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» и 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» : в 2 ч. / сост. Т. Л. Якубовская. – Минск: БНТУ, 2015. – 45 с.

98. Гайнутдинов, Э. М. Техничко-экономическое обоснование конкурентоспособности проектируемых изделий (продукции) : учебно-методическое пособие / Э. М. Гайнутдинов, Л. И. Поддерегина. – Минск: МГВРК, 2003. – 64 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Образец титульного листа

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Автотракторный факультет

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Г. М. Кухарёнок
(подпись) (инициалы и фамилия)

«08» июня 2017 г.

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

**«Дизельный двигатель жидкостного охлаждения для грузового
(наименование темы)**

автомобиля категории N2»

**Специальность 1-37.01.01 «Двигатели внутреннего сгорания»
(шифр)**

Студент-дипломник

**группы 101061-17
(номер)**

05.06.17
(подпись, дата)

И. И. Иванов
(ФИО)

Руководитель

05.06.17
(подпись, дата)

П. П. Петров
(ФИО)

Консультанты:

по конструкторской части

15.05.17
(подпись, дата)

С. С. Сидоров
(ФИО)

технологической части

20.05.17
(подпись, дата)

С. И. Смирнов
(ФИО)

экономической части

25.05.17
(подпись, дата)

К. К. Кузнецов
(ФИО)

охране труда

01.06.17
(подпись, дата)

М. М. Михайлов
(ФИО)

Ответственный за нормоконтроль

06.06.17
(подпись, дата)

И. С. Семенов
(ФИО)

Объем проекта:

расчетно-пояснительная записка – 90 страниц;

графическая часть – 12 листов;

магнитные (цифровые) носители – нет единиц.

Минск 2018

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Задания на дипломный проект

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Кухарёнок Г. М.

« 05 » февраля 20 17 г.

Задание на дипломный проект

Студенту-дипломнику Иванову И. И.
(ФИО)

1. Тема дипломного проекта:

Дизельный двигатель жидкостного охлаждения для грузового автомобиля категории N2

Специальное задание: Разработка системы смазывания

Утверждена приказом ректора БНТУ от « 30 » декабря 20 16 г. № 4923-лс.

2. Исходные данные к дипломному проекту:

Грузоподъемность автомобиля – 5 т

Максимальная скорость автомобиля – 120 км/ч

Минимальный удельный расход топлива – 205 г/(кВт·ч)

Обеспечение норм токсичности Евро-6

Диапазон рабочих температур – 30... +50 °С

3. Перечень подлежащих разработке вопросов или краткое содержание расчетно-пояснительной записки:

3.1 Оглавление 1 с.

3.2 Введение 1–2 с.

3.3 Патентно-информационный поиск по спецзаданию 4–5 с.

3.4 Тяговый расчет машины (при необходимости)

и выбор основных параметров двигателя 2–4 с.

3.5 Расчет рабочего цикла двигателя 5–6 с.

3.6 Расчет кинематики и динамики КШМ 4–6 с.

3.7 Выбор конструкции агрегатов и систем двигателя 3–4 с.

3.8 Расчет основных деталей и систем двигателя 8–11 с.

3.9 Специальное задание 6–9 с.

3.10 Разработка технологического процесса изготовления детали 5–7 с.

3.11 Техничко-экономические показатели 5–7 с.

3.12 Требования охраны труда и техники безопасности 4–6 с.

3.13 Заключение	1с.
3.14 Список использованной литературы	1с.
4. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, схем, диаграмм и т. д.):	
4.1 Диаграммы теплового и динамического расчетов двигателя	1 л
4.2 Чертеж общего вида двигателя, поперечный, продольный разрезы	1–2 л
4.3 Графическая иллюстрация специального задания	4–5 л
4.3.1 Результаты патентно-информационного поиска	1 л
4.3.2 Схема системы смазывания	1 л
4.3.3 Эксплуатационные свойства моторных масел	1 л
4.3.4 Чертежи элементов системы смазывания	2 л
4.4 Технологическая часть проекта	2–3 л
4.5 Графики и таблицы экономических расчетов	1–2 л
5. Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов:	
5.1 Конструкторская часть (п.п. 3.2–3.9, 4.1–4.3)	
5.2 Технологическая часть (п.п. 3.10 и 4.4)	
5.3 Экономическая часть (п.п. 3.11 и 4.5)	
5.4. Охрана труда и техника безопасности (п.п. 3.12)	
6. Примерный календарный график выполнения дипломного проекта:	

Наименование этапов выполнения дипломного проекта, содержание расчетно-пояснительной записки, графического материала	Объем работы, %	Сроки (дата) выполнения этапа	Примечания (в т. ч. отметка руководителя (консультанта) о выполнении)
Сбор материала		20.03	
Подпункты 3.2–3.6 и 4.1		01.04	
Первая проверка		09–10.04	
Подпункты 3.7–3.8 и 4.2		05.05	
Подпункты 3.9 и 4.3		13.05	
Вторая проверка		14–15.05	
Подпункты 3.10 и 4.4		22.05	
Подпункты 3.11 и 4.5		01.06	
Подпункты 3.12–3.14 и весь проект		05.06	
Рабочая комиссия		07–08.06	

7. Дата выдачи задания «09» февраля 20 17 г.

8. Срок выполнения дипломного проекта «05» июня 20 17 г.

Руководитель _____ П. П. Петров
(подпись) (ФИО)

Подпись студента-дипломника _____ И. И. Иванов
(ФИО)

Дата «09» февраля 20 17 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Образец оформления реферата

РЕФЕРАТ

Расчетно-пояснительная записка дипломного проекта: 90 с., 11 рис., 19 табл., 21 источник, 9 прил.

ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СИСТЕМА ПИТАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ, ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Объектом разработки является дизельный двигатель жидкостного охлаждения для колесного трактора с номинальной тягой 16 кН.

Цель проекта: определить основные показатели рабочего цикла двигателя, динамические нагрузки, действующие на основные детали двигателя; выбрать конструкцию агрегатов и систем двигателя; провести расчет на прочность основных деталей и расчет систем двигателя, включая систему питания с элементами новизны; разработать технологический процесс изготовления шестерни привода топливного насоса высокого давления; оценить перспективность проекта двигателя с помощью технико-экономических показателей.

В процессе проектирования выполнены следующие разработки: предложена конструкция форсунки, обеспечивающая высокие показатели впрыскивания топлива, и управление процессом подачи топлива в зависимости от режимов работы двигателя.

Элементами практической значимости предложенных в проекте решений является повышение топливной экономичности, снижение выбросов вредных веществ в атмосферу и виброакустических показателей процесса сгорания топлива в дизельном двигателе.

Областью возможного практического применения являются дизельные двигатели тракторов и автомобилей.

В проекте нашли отражение вопросы охраны труда и техники безопасности при испытаниях двигателя на заводе и при обслуживании его в условиях эксплуатации.

Приведенный в дипломном проекте расчетно-аналитический материал объективно отражает состояние разрабатываемого двигателя, все заимствованные из литературных и других источников теоретические и методологические положения и концепции сопровождаются ссылками на их авторов.

Образец ведомости объема дипломного проекта

* Номер зачетной книжки дипломника

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ ПРОЕКТА	6
2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ОСНОВНОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА	8
2.1 Введение.....	8
2.2 Патентно-информационный поиск по спецзаданию.....	8
2.3 Тяговый расчет машины	8
2.4 Расчет рабочего цикла двигателя.....	11
2.5 Расчет динамики кривошипно-шатунного механизма.....	12
2.6 Выбор конструкции агрегатов и систем двигателя	13
2.7 Расчет на прочность основных деталей и расчет систем двигателя.....	14
2.7.1 Кривошипно-шатунный механизм	14
2.7.2 Газораспределительный механизм	15
2.7.3 Система смазывания	16
2.7.4 Система охлаждения	16
2.7.5 Система питания.....	16
2.7.6 Система пуска.....	17
2.8 Специальное задание	17
2.9 Разработка технологического процесса изготовления детали.....	18
2.10 Техничко-экономические показатели.....	21
2.11 Требования охраны труда.....	21
2.12 Заключение	23
2.13 Список использованной литературы	23
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	24
ПРИЛОЖЕНИЯ	35
ПРИЛОЖЕНИЕ А	35
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	36
ПРИЛОЖЕНИЕ В	38
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	39

Учебное издание

АЛЬФЕРОВИЧ Владимир Викентьевич
БАРМИН Виталий Александрович
ПРЕДКО Андрей Владимирович

**ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУИРОВАНИЮ
И РАСЧЕТАМ ДВИГАТЕЛЕЙ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Пособие для студентов специальности
1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания»

Редактор *Т. В. Грищенкова*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 10.08.2018. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,33. Уч.-изд. л. 1,82. Тираж 200. Заказ 286.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.

ISBN 978-985-583-016-1

