

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра “ Двигатели внутреннего сгорания”

ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по проведению учебной практики
для студентов II курса специальности 1–37 01 01
“Двигатели внутреннего сгорания”

М и н с к 2 0 0 4

УДК 621.43(075.5)

Настоящая программа и методические указания содержат типовые рекомендации по организации и проведению 2-й учебной практики студентов специальности «Двигатели внутреннего сгорания» на базе Белорусского национального технического университета. В работе дан регламент проведения практики, определена тематика практических занятий и индивидуальных заданий, определены требования к отчету по практике.

Составители:

Г.А. Вершина, Е.С. Тамкович

Рецензенты:

М.П. Бренч, Р.Я. Пармон

© Вершина Г.А., Тамкович Е.С.,
составление, 2004

В в е д е н и е

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – машина, преобразующая химическую энергию топлива в механическую работу. Детали ДВС подвержены высоким силовым и тепловым нагрузкам, причем их измерение представляет собой сложный и дорогостоящий процесс. К примеру, можно отметить, что температура рабочего тела в цилиндре двигателя может достигать плюс 2800°C, а частота вращения ротора турбокомпрессора составляет 140000 мин⁻¹. Сложность расчетов при проектировании, испытаниях и доводке двигателей внутреннего сгорания требует поэтапной, многоуровневой подготовки инженерных кадров. Учебная практика студентов второго курса является подготовительной к изучению общетехнических и профилирующих дисциплин, отражает взаимосвязь и возможность применения общеобразовательных знаний при разработке и исследованиях ДВС, является элементом научного исследования.

Цель учебной практики – работа в качестве оператора ЭВМ, получение профессиональных навыков программиста, углубленное изучение достижений в области двигателестроения, практическое применение математических методов и средств электронно-вычислительной техники в создании и модернизации двигателей.

Задачами учебной практики являются:

- изучение концепции развития двигателестроения в Республике Беларусь;
- изучение организационной структуры высшего учебного заведения, осуществляющего подготовку инженерных кадров в области двигателестроения, а также лабораторной и научной базы кафедры «Двигатели внутреннего сгорания»;
- ознакомление с научной и патентной информацией, отражающей новейшие разработки и достижения в области моторостроения;
- ознакомление с новейшими системами автоматизированного проектирования ДВС;

– практическое освоение методов математического моделирования процессов и систем в ДВС;

– сбор материалов для подготовки и проведения научно-исследовательской работы на последующих ступенях обучения.

Качественное выполнение задач практики позволяет целенаправленно и последовательно реализовывать непрерывный процесс учебной и научной подготовки инженерных кадров.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИКИ

Учебная практика студентов общей продолжительностью три недели проводится на базе Белорусского национального технического университета после окончания четвертого семестра. Руководство практикой осуществляет руководитель, назначенный приказом по БНТУ. Руководитель практики разрабатывает для каждого студента индивидуальное задание и учебную программу, отражая в ней календарный график прохождения практики, а также сроки поэтапной подготовки и сдачи результатов (зачета).

Перед началом практики студент проходит два вида инструктажа (по охране труда и противопожарной безопасности) с надлежащим оформлением документов: общеуниверситетского и на рабочем месте. Во время практики студент подчиняется правилам внутреннего распорядка университета и плановому расписанию занятий в соответствии с установленным регламентом прохождения практики. Студенты обязаны прибыть на практику в срок, установленный руководителем практики. Пропуски рабочих дней без уважительных причин недопустимы и рассматриваются как невыполнение практики. Занятия проводятся руководителем по утвержденному расписанию. Самостоятельная работа студентов предусматривает сбор материалов, необходимых для подготовки отчета в соответствии с индивидуальным заданием. Учет посещений занятий студентами ведется старостой группы. Руководитель практики осуществляет текущий контроль за прохождением

практики путем регулярного ознакомления с ходом выполнения студентами индивидуального задания и их работой на рабочих местах. При этом студентам даются необходимые указания и пояснения, проводятся консультации и индивидуальные занятия.

В процессе практики студент обязан вести дневник, в котором ежедневно записываются содержание и характер проделанной работы, прослушанных лекций, проведенных экскурсий и бесед. Дневник контролируется и подписывается руководителем и прилагается к отчету по практике.

Студент обязан за время практики подготовить отчет и защитить его (по десятибалльной системе). Получение неудовлетворительной оценки или не предоставление отчета влечет за собой повторное прохождение практики или отчисление из университета в соответствии с действующим законодательством.

2. РАБОЧЕЕ МЕСТО СТУДЕНТА И БАЛАНС ВРЕМЕНИ

Учебная практика предусматривает:

1. Работу в качестве ученика программиста технического комплекса учебных систем автоматизируемого проектирования (САПР) в вычислительном центре АТФ БНТУ (40 учебных часов).

2. Литературный и патентно-информационный поиск по теме индивидуального задания в научно-технической библиотеке БНТУ и Республиканской научно-технической библиотеке (12 учебных часов).

3. Прослушивание лекций по методике моделирования рабочих процессов и систем ДВС с применением ЭВМ (4 учебных часа).

4. Посещение тематических выставок и выставки научных разработок БНТУ (4 учебных часа).

В течении всего периода практики каждый студент обеспечивается персональным рабочим местом, оснащенным техническим комплексом САПР. Занятия проводятся, как правило,

в первой половине дня по согласованному с руководством АТФ расписанию. Продолжительность работы – 3 учебных часа.

Не допускается использование студентов на работах, не предусмотренных учебной программой.

3. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ

В процессе практики, работая на рабочем месте в качестве ученика программиста, студент обязан изучить технический комплекс учебной САПР, ознакомиться с программным обеспечением и выполнить индивидуальное задание в виде отчета о научно-исследовательской работе. В соответствии с поставленными задачами студент за время практики должен выполнить следующее:

1. Изучить организационную структуру БНТУ, задачи каждого подразделения, взаимосвязь между ними.

2. Изучить учебную и научную базу автотракторного факультета и кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», их научный и кадровый потенциал, основные направления проводимых научных исследований.

3. Ознакомиться с научно-технической, патентной и нормативно-справочной информацией в области двигателестроения. Изучить практику работы патентной службы БНТУ.

4. Исследовать научно-техническую информацию в области технических решений в соответствии с индивидуальным заданием.

5. Провести информационно-патентный поиск и составить реферативный доклад, являющийся базой для оформления отчета практике.

6. Ознакомиться с программным обеспечением учебной САПР и получить навыки работы в текстовом и графических редакторах: WORD, EXSEL, AUTOCAD.

7. Ознакомиться с методами математического моделирования рабочих процессов и систем ДВС.

8. Изучить программу и провести расчетные исследования по получению аппроксимирующих зависимостей методом наименьших квадратов.

9. Изучить стандарты предприятия по оформлению отчетных документов при выполнении учебных заданий, а также правила оформления научных статей и отчетов о научно-исследовательской работе.

4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

В процессе прохождения практики студентам читают лекции, проводят беседы по следующим тематикам:

1. История кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ее задачи в области учебного процесса и научных исследований.

2. Государственная целевая программа развития автотракторного машиностроения Республики Беларусь на период до 2010 года.

3. Техничко-экономические показатели дизельных ДВС, выпускаемых на предприятиях Республики Беларусь и зарубежными фирмами.

4. Математические методы для исследования рабочих процессов и систем ДВС.

5. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ СТУДЕНТОВ

Индивидуальное задание студентам разрабатывает руководитель практики. Цель задания – ознакомление с новейшими разработками основных систем ДВС. Выполнение задания предусматривает следующие этапы:

1. Изучение системы или узла на основе анализа учебной литературы.

2. Анализ реферативной информации и периодических научных журналов по тематике двигателестроения в соответствии с индивидуальным заданием.

3. Проведение патентного поиска и анализ возможности применения технических разработок на современных ДВС.

4. Изучение базовой программы по обработке экспериментальных данных методом наименьших квадратов.

5. Проведение расчетных исследований на ЭВМ.

6. Оформление отчета о практике с использованием технического комплекса учебной САПР.

Выполнение индивидуального задания и анализ изучаемой системы или узла ДВС должны излагаться в отчете в следующей последовательности: назначение, основные наиболее применяемые схемы и конструктивные решения, описание работы, преимущества и недостатки, область применения, предполагаемые результаты использования, возможности снижения токсичности отработавших газов;

Тематика индивидуальных заданий:

- системы питания ДВС;
- системы смазывания ДВС;
- микропроцессорные системы управления ДВС;
- системы пуска ДВС;
- системы промежуточного охлаждения наддувочного воздуха;
- цикл Миллера;
- турбокомпрессоры;
- ДВС с переменной степенью сжатия;
- механизмы газораспределения с регулируемым изменением фаз газораспределения;
- камеры сгорания бензиновых ДВС;
- камеры сгорания дизельных ДВС;
- роторные двигатели;
- газотурбинные двигатели;
- нейтрализаторы отработавших газов;
- рециркуляция отработавших газов;
- системы впрыска бензина;
- ДВС работающие на газовом топливе;
- регуляторы частоты вращения ДВС;
- нетрадиционные виды моторных топлив;
- моторные масла и присадки к ним;
- экологические нормативы для ДВС;
- насос-форсунки;
- двухтактные ДВС;
- двигатель Стирлинга;

- топливные насосы высокого давления;
- автоматические муфты регулирования угла опережения впрыска топлива.

6. БАЗОВАЯ ПРОГРАММА ПО ОБРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

В процессе внедрения новейших технических разработок и «ноу-хау» в производство ведущие специалисты всё большее внимание уделяют моделированию с целью дальнейшей оптимизации конструкции и соответствию её мировым стандартам.

На данный момент при проведении исследования на реально существующих ДВС разработчики пользуются в основном экспериментальными методами исследования. В качестве недостатка таких методов можно привести пример, когда для вновь создаваемого или форсируемого двигателя основной технической проблемой становится, к примеру, выбор параметров турбокомпрессора или топливного насоса высокого давления (ТНВД). Как правило, на отечественных моторостроительных фирмах такую техническую задачу решают проведением ряда стендовых испытаний. Однако это достаточно дорогостоящий и длительный процесс.

В настоящее время широкое распространение получил метод математического моделирования, как один из способов быстрого, эффективного и наглядного получения результатов оптимизации конструктивных параметров без проведения стендовых испытаний двигателей.

В практике разработки математических моделей нередко встречаются случаи, когда возникает необходимость составления уравнения описывающего уже имеющийся узел или процесс, происходящий в ДВС. Для этого достаточно иметь лишь некоторую совокупность экспериментально полученных данных, количество которых было бы достаточно для достижения заданной точности. Применительно к турбокомпрессорам это могут быть расходные характеристики, которые широко

распространяются их производителями с целью увеличения рынка сбыта. Для топливных насосов высокого давления – это скоростные или нагрузочные характеристики.

Одним из методов обработки таких характеристик с целью получения аппроксимирующего уравнения является метод наименьших квадратов (МНК). Достоинством данного метода является тот факт, что он не требует знания закона распределения ошибок исследуемых величин.

Для учебных целей в качестве объекта исследования можно выбрать расходную характеристику турбокомпрессора, как функцию степени повышения давления π_k равной отношению давления наддува P_k к давлению окружающей среды P_0 и частоты вращения ротора компрессора ω_k

$$G_g = f(\pi_k, \omega_k). \quad (1)$$

Данная функция при любой частоте вращения и при задаваемой степени повышения давления характеризует расход воздуха через компрессор G_g .

Как известно любую функцию можно представить в виде полинома n -й степени. Исследования показали, что заложенная точность достигается уже при использовании полинома второй степени. В этом случае уравнение (1) запишется в виде

$$G_g = a_0 + a_1\pi_k + a_2\omega_k + a_3\pi_k\omega_k + a_4\pi_k^2 + a_5\omega_k^2. \quad (2)$$

Таким образом, расходная зависимость (2) представляет собой некоторую криволинейную поверхность в координатах G_g, π_k, ω_k (рис.1), по любой абсциссе и ординате которой можно определить аппликату G_g . Характер кривой в пространстве определяется коэффициентами полинома $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$.

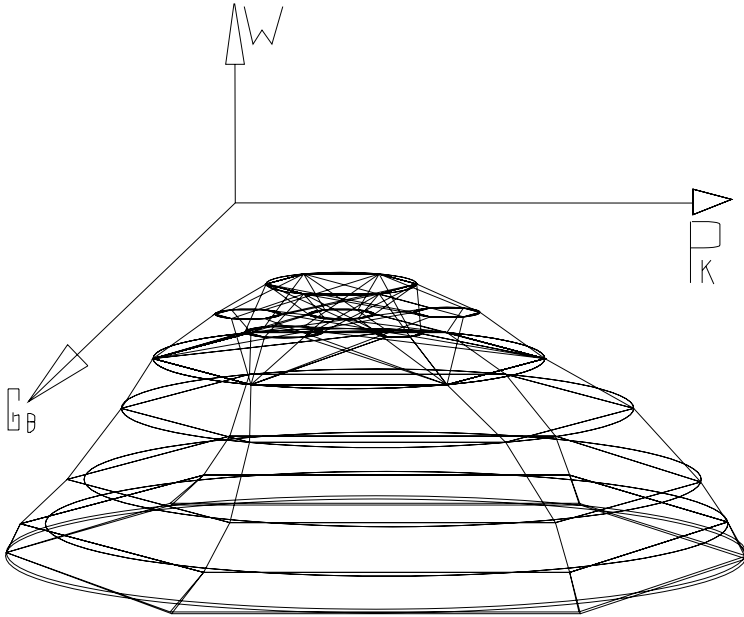


Рис.1. Трёхмерная расходная характеристика турбокомпрессора

Согласно МНК должна минимизироваться функция

$$\sum_{i=1}^n ((a_0 + a_1 \pi_k + a_2 \omega_k + a_3 \pi_k \omega_k + a_4 \pi_k^2 + a_5 \omega_k^2) - G_B)^2 = \min_a$$

где G_B – экспериментальный расход воздуха, определяемый по расходной характеристике турбокомпрессора.

Таким образом, следует найти такие коэффициенты $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$, чтобы сумма квадратов отклонений данных, полученных при обработке расходной характеристики от расчетных, была минимальной. Для этого необходимо найти частные производные по этим коэффициентам и приравнять их к нулю.

Алгоритм решения данной задачи с применением систем САПР показан на рис.2. На первом этапе расходная характеристика компрессора (рис.3) сканируется техническим средст-

вом САПР и, используя возможности программного комплекса, представляется в матричном виде. Матрица счета представляет собой данные, характеризующие расход воздуха через компрессор при фиксированных частотах вращения ротора, и различных степенях повышения давления. Затем полученные данные обрабатываются с помощью методов математической статистики и, в частности, МНК.

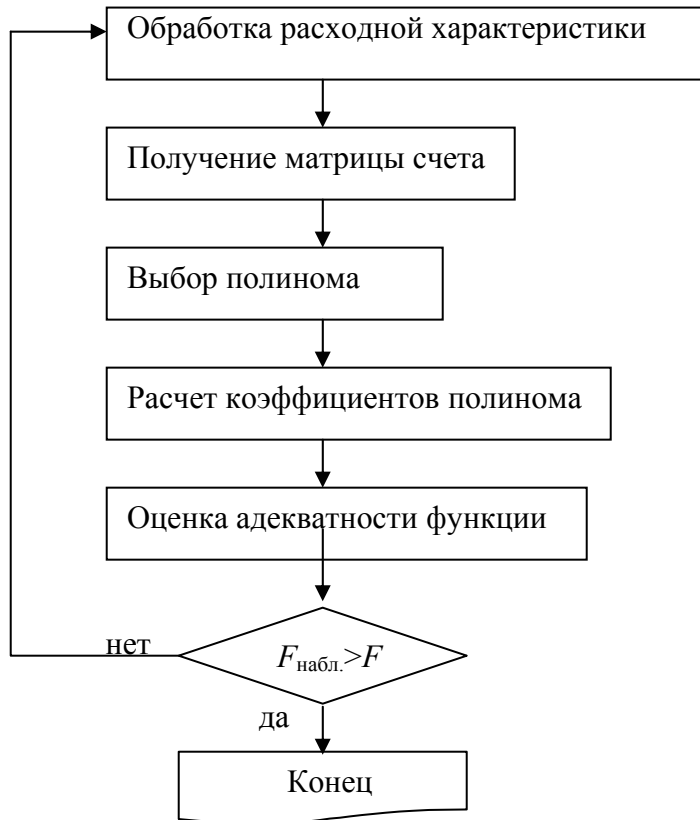


Рис. 2. Алгоритм расчета турбокомпрессора по расходным характеристикам

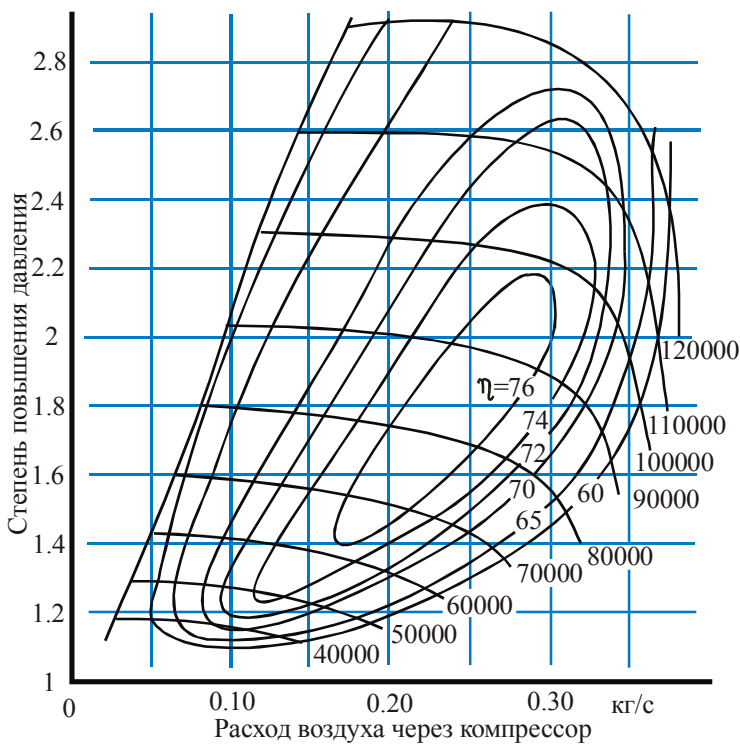


Рис. 3. Расходная характеристика турбокомпрессора

Для каждого параметра с целью оценки степени согласованности данных с вероятностной моделью определены статистические характеристики.

Среднеквадратическая ошибка

$$S_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n - p - 1}},$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$ – число наблюдений;

$p = 6$ – число оцениваемых параметров.

Коэффициент детерминации

$$R^2 = 1 - \frac{\sum \varepsilon_i^2}{\sum (G_{\varepsilon i} - \overline{G_{\varepsilon i}})^2}$$

где $\varepsilon_i = G_{\varepsilon i} - G_{\varepsilon xi}$ – ошибка эксперимента; характеризует меру отклонения наблюдения параметра от значения, вычисленного по эмпирическому уравнению регрессии (2);

$G_{\varepsilon i}$ – наблюдаемое значение параметра;

$G_{\varepsilon xi}$ – вычисленное значение параметра;

$\overline{G_{\varepsilon i}}$ – среднее значение параметра;

R – коэффициент множественной корреляции.

Критерий Фишера $F_{набл} = \frac{R^2 \cdot (n - p - 1)^2}{(1 - R^2) \cdot p}$.

Приведенные критериальные оценки с допустимой вероятностью позволяют установить адекватность получаемого аппроксимирующего уравнения и результатов экспериментальных данных.

Таким образом, аппроксимирующее уравнение дает возможность исследовать технико-экономические параметры применяемых двигателей внутреннего сгорания и их систем на основе используемых математических моделей [2], т.е. удачно подобрать с технической точки зрения турбокомпрессор для двигателя. Программный модуль, реализующий метод наименьших квадратов, дан в прил. 1 и аналогичным образом может быть применим для обработки различных экспериментальных данных.

7. ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСКУРСИИ

В процессе практики проводятся тематические экскурсии:

1. Знакомство с материальной и научной базой кафедры «Двигатели внутреннего сгорания».
2. Посещение выставки научных достижений Белорусского национального технического университета.
3. Посещение технического музея ОГК РУП «Минский моторный завод».

8. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ О ПРАКТИКЕ

К составлению отчета о практике студент должен приступать с первого дня прохождения практики и предъявлять его ежедневно на просмотр руководителю. Руководитель практики оказывает необходимую помощь студенту в анализе собранного материала и проводит индивидуальные консультации по методике составления отчета. Отчет структурно должен включать:

1. Титульный лист.
2. Реферат.
3. Содержание.
4. Перечень сокращений, условных обозначений, символов, единиц и терминов.
5. Введение.
6. Основную часть.
7. Заключение.
8. Список использованных источников.
9. Приложения.

Титульный лист является первой страницей отчета и служит источником информации, необходимой для обработки документа.

На титульном листе приводятся следующие сведения:

- наименование организации;
- наименование кафедры;

- наименование работы;
- наименование отчета;
- должности, фамилии и инициалы исполнителя и руководителя.

Реферат должен содержать:

- сведения об объеме отчета, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, количестве использованных источников;
- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста отчета, которые в наибольшей мере характеризуют его содержание и обеспечивают возможность информационного поиска. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и печатаются прописными буквами в строку через запятые.

Текст реферата должен отражать:

- объект исследования или разработки;
- цель работы;
- полученные результаты;
- основные конструктивные и технико-эксплуатационные характеристики;
- область применения;
- экономическую эффективность и значимость работы.

Содержание включает:

- введение;
- наименование всех разделов, подразделов, пунктов и заключение с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы отчета.

Перечень сокращений, условных обозначений, символов, единиц и терминов оформляется в виде отдельного списка и включает редко употребляемые сокращения, условные обозначения, символы, единицы и специфические термины. Если сокращения, условные обозначения, символы, единицы и специфические термины повторяются в отчете менее трех

раз, отдельный список не составляют, а расшифровку дают непосредственно в тексте отчета при первом упоминании.

Введение должно содержать оценку современного состояния технической проблемы, сведения о патентных исследованиях и выводы из них. Во введении должны быть показаны новизна технических решений и актуальность решаемой задачи за счет их внедрения.

Основная часть отчета содержит данные, отражающие существо, методику и основные результаты выполнения индивидуального задания на практику. Она включает разработку темы задания на основании литературного анализа и информационно-патентного поиска, а также методику и результаты расчетных исследований по обработке экспериментальных данных. Единицы физических величин в отчете – по ГОСТ 8.417.

Основная часть включает:

- справочную информацию об основных направлениях учебной и научно-исследовательской работы кафедры «Двигатели внутреннего сгорания»;
- информационно-аналитический обзор научной информации по исследуемой теме;
- методику и результаты обработки экспериментальных данных расходных характеристик турбокомпрессоров.

Заключение должно содержать краткие выводы по результатам выполнения индивидуального задания, оценку полноты выполнения поставленных задач, ожидаемую значимость при дальнейшем обучении в БНТУ.

Список использованных источников содержит сведения об источниках, использованных при составлении отчета. Сведения об источниках приводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1.

Отчет о практике должен быть выполнен с применением ЭВМ на одной стороне белой бумаги формата А4 через полтора интервала. Высота букв и цифр должна быть не менее 1,8 мм. Текст отчета следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: левое – не менее 30 мм, правое – не менее

10 мм, верхнее – не менее 15 мм, нижнее – не менее 20 мм. Нумерация страниц отчета производится по центру внизу. На титульном листе номер страницы не проставляется. Объем отчета не должен превышать более 20 страниц без приложений.

9. ТРЕБОВАНИЯ К ДНЕВНИКУ ПО ПРАКТИКЕ

Дневник по учебной практике является отчетным документом студента о проделанной работе за время практики. В нем отражается повседневное выполнение программы практики и индивидуального задания. Дневник ведется на бланках установленной формы или, при отсутствии такового, в ученической тетради. Форма дневника, оформляемая студентом самостоятельно, должна состоять из:

- титульного листа;
- индивидуального задания;
- календарного графика прохождения практики;
- сведений об участии студента в научно-исследовательской работе;
- сведений о занятиях, семинарах, экскурсиях во время практики;
- оценки студентом соответствия условий практики требованиям программы, организации практики и предложений по улучшению практики;
- отзыва руководителя практики.

Форма дневника и его основных частей дана в прил. 2:

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 7.32-91 (ИСО 5966-82). Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. – Введ. 26.02.91. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 18 с.

2. Герасимович А.И. Математическая статистика: Учебное пособие для инж.-техн. и экон. спец. вузов. – Мн.: Выш. школа, 1983. – 279 с.

3. Двигатели внутреннего сгорания: Устройства и работа поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности / В.П. Алексеев, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с.

Кроме указанных источников студенты используют научные и реферативные журналы, патенты и изобретения, заводские инструкции и отчеты о научно-исследовательских разработках.

ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Базовая программа
по обработке экспериментальных данных
методом наименьших квадратов

```
Program Matrix;
Uses crt;
Type M=Array[1..30,1..5,1..30] of real;
      Epsilon=Array[1..1000] of real;
M_sred_znach=Array[1..50,1..50] of real;
      Gauss=Array[1..50,1..50] of real;
      Vec=Array[1..50] of real;
      Koef=Array[1..50] of real;

Var PWn:M;
      PW :Gauss;
      MEps:Epsilon;
      X:Vec;
      aa,A:Koef;
      Znach_sred:M_sred_znach;

n,n1,i,i1,i2,j,j1,j2,k,k1,k2,k3,k_eps,P,povtor :integer;
S,S_eps,B,nm,n,W,Eps,Eps1,Eps_kv,R,R_kv,YY,F,Pk,Gk,n_pr :real;
ME,MG:Text;
Label M1,M2;

Begin
Clrscr;
Write('При скольких n=const снимались характеристики ТКР? ');
Read(n1);
Write('Количество точек снятых с характеристики ТКР ? ');
Read(j1);

Assign(ME,'D:\users\Matrix\ME.dat');
Reset(ME);
```

```

i1:=2; {Две строки - Строка пк; Строка Gк}
For n:=1 to n1 do
  Begin
    Writeln('Задайте ',n:2,'-ую частоту вращения ');
    Read(ME,nm);
    W:=Pi*nm/30;
    PWn[n,1,1]:=W;
    Write(nm:5:1,' ',W:6:2,' ',PWn[n,1,1]:6:2);
    For i:=1 to i1 do
      Begin
        For j:=1 to j1 do
          Begin
            j2:=j+1;
            Writeln(' Введите элемент (' ,n:2,i:2,j2:2,')матрицы эксперимента ');
            Read(ME,PWn[n,i,j2]);
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  Close(ME);
  {создание матрицы для уравнения Гаусса}

  Assign(MG,'D:\users\Matrix\MG.rez');
  Rewrite(MG);
  Write(' Идет обработка значений матрицы эксперимента');
  Delay(10000);
  Write("");
  Writeln('Вычисление суммы Pк. Для продолжения нажмите пробел');
  ReadKey;
  PW[1,1]:=n1*j1;
  For n:=1 to n1 do
    Begin
      PW[1,3]:=PW[1,3]+PWn[n,1,1]; {Считает сумму Wк}
      PW[1,6]:=PW[1,6]+Sqr(PWn[n,1,1]); {Считает сумму Wк*Wк}
      PW[3,6]:=PW[3,6]+Sqr(PWn[n,1,1])*PWn[n,1,1]; {Сумма Wк_куб}
      PW[6,6]:=PW[6,6]+Sqr(PWn[n,1,1])*Sqr(PWn[n,1,1]); {Сумма Wк в 4-ой}
    End;
  For j:=1 to j1 do
    Begin
      j2:=j+1;

```

```

PW[1,2]:=PW[1,2]+PWn[n,1,j2];           {сумма Pκ}
PW[1,4]:=PW[1,4]+PWn[n,1,j2]*PWn[n,1,1]; {сумма Pκ*Wκ}
PW[1,5]:=PW[1,5]+Sqr(PWn[n,1,j2]);      {сумма Pκ*Pκ}
PW[2,4]:=PW[2,4]+Sqr(PWn[n,1,j2])*PWn[n,1,1]; {сумму Pκ*Pκ*Wκ}
PW[2,5]:=PW[2,5]+PWn[n,1,j2]*PWn[n,1,j2]*PWn[n,1,j2]; {сумма Pκ куб}
PW[2,6]:=PW[2,6]+PWn[n,1,j2]*Sqr(PWn[n,1,1])*PWn[n,1,1]; {Pκ*Wκ³}
PW[3,4]:=PW[3,4]+PWn[n,1,j2]*Sqr(PWn[n,1,1]); {сумма Pκ*Wκ*Wκ}
PW[4,4]:=PW[4,4]+Sqr(PWn[n,1,j2])*Sqr(PWn[n,1,1]); {сумма Pκ²*Wκ²}
PW[4,5]:=PW[4,5]+Sqr(PWn[n,1,j2])*PWn[n,1,j2]*(PWn[n,1,1]); {сумма
Pκ³*Wκ}
PW[4,6]:=PW[4,6]+PWn[n,1,j2]*Sqr(PWn[n,1,1])*PWn[n,1,1]; {сумма
Pκ*Wκ³}
PW[5,5]:=PW[5,5]+Sqr(PWn[n,1,j2])*Sqr(PWn[n,1,j2]); {сумма Pκ⁴}

X[1]:=X[1]+PWn[n,2,j2];                 {сумма Gκ}
X[2]:=X[2]+PWn[n,1,j2]*PWn[n,2,j2];    {сумма Pκ*Gκ}
X[3]:=X[3]+PWn[n,2,j2]*PWn[n,1,1];     {сумма Wκ*Gκ}
X[4]:=X[4]+PWn[n,1,j2]*PWn[n,2,j2]*PWn[n,1,1]; {сумма Pκ*Wκ*Gκ}
X[5]:=X[5]+Sqr(PWn[n,1,j2]*(PWn[n,2,j2])); {сумма Pκ*Gκ}
X[6]:=X[6]+PWn[n,2,j2]*Sqr(PWn[n,1,1]); {сумма Wκ*Wκ*Gκ}
end;
end;
Writeln("");
Writeln('Вычисление суммы Pκ. Для продолжения нажмите пробел');
ReadKey;
Writeln(MG,'Сумма Pκ= ',PW[1,2]:23:5);
Writeln('Сумма Pκ= ',PW[1,2]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Wκ. Для продолжения нажмите пробел');
Writeln(MG,'Сумма Wκ= ',PW[1,3]:23:5);
Writeln('Сумма Wκ= ',PW[1,3]:23:5);
ReadKey;
Writeln('Вычисление суммы Pκ*Wκ. ');
ReadKey;
Writeln(MG,'Сумма Pκ*Wκ= ',PW[1,4]:23:5);
Writeln('Сумма Pκ*Wκ= ',PW[1,4]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Pκ*Pκ. ');
ReadKey;
Writeln(MG,'Сумма Pκ*Pκ= ',PW[1,5]:23:5);

```

```

Writeln('Сумма Pк*Pк= ',PW[1,5]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Wк*Wк. ');
    ReadKey;
Writeln(MG,'Сумма Wк*Wк= ',PW[1,6]:23:5);
Writeln('Сумма Wк*Wк= ',PW[1,6]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Gк. Для продолжения нажмите пробел');
    ReadKey;

Writeln(MG,'Сумма Gк= ',X[1]:23:5);
Writeln('Сумма Gк= ',X[1]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Pк*Pк*Wк.);
    ReadKey;
Writeln('Сумма Pк*Pк*Wк= ',PW[2,4]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Pк_куб.);
    ReadKey;
Writeln('Сумма Pк_кб= ',PW[2,5]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Pк*Wк_куб. ');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Pк*Wк_куб= ',PW[2,6]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Pк*Gк. ');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Pк*Gк= ',X[2]:8:5);
Writeln('Вычисление суммы Pк*Wк*Wк. ');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Pк*Wк*Wк= ',PW[3,4]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Wк_куб. ');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Wк_куб= ',PW[3,6]:23);
Writeln('Вычисление суммы Wк*Gк. ');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Wк*Gк= ',X[3]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Pк*Pк*Wк*Wк. ');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Pк*Pк*Wк*Wк= ',PW[4,4]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Pк_куб*Wк. Для продолжения на-
жмите пробел');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Pк*Wк_куб= ',PW[4,6]:23:5);

```

```

Writeln('Вычисление суммы Pk*Wk*Gk. Для продолжения нажмите
пробел');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Pk*Wk*Gk= ',X[4]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Pk в 4-ой. Для продолжения нажмите пробел');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Pk в 4-й= ',PW[5,5]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Pk*Gk. Для продолжения нажмите пробел');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Pk*Gk= ',X[5]:23:5);
Writeln('Вычисление суммы Wk в 4-й. Нажмите пробел');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Wk в 4-й= ',PW[6,6]:23);
Writeln('Вычисление суммы Wk*Wk*Gk в 4-й. Нажмите пробел');
    ReadKey;
Writeln('Сумма Wk*Wk*Gk= ',X[6]:23:5);

PW[2,1]:=PW[1,2]; {Переприсвоение подобных элементов в матрице}
PW[2,2]:=PW[1,5];
PW[2,3]:=PW[1,4];
PW[3,1]:=PW[1,3];
PW[3,2]:=PW[1,4];
PW[3,3]:=PW[1,6];
PW[3,5]:=PW[2,4];
PW[4,1]:=PW[1,4];
PW[4,2]:=PW[2,4];
PW[4,3]:=PW[3,4];
PW[5,1]:=PW[1,5];
PW[5,2]:=PW[2,5];
PW[5,3]:=PW[3,5];
PW[5,4]:=PW[4,5];
PW[5,6]:=PW[4,4];
PW[6,1]:=PW[1,6];
PW[6,2]:=PW[3,4];
PW[6,3]:=PW[3,6];
PW[6,4]:=PW[4,6];
PW[6,5]:=PW[4,4];

```



```

Writeln(' Решение системы линейных алгебраических уравнений ');
Writeln(' осуществляется методом Гаусса ');
Writeln('');Writeln('');
Writeln('Для продолжения нажмите пробел...');
readkey;
{***** решение системы методом Гаусса *****}
{n:=3;} {тест – решение 3-х уравнений}
{PW[1,1]:=4; PW[1,2]:=0.24; PW[2,3]:=0.08; X[1]:=8;
PW[2,1]:=0.09; PW[2,2]:=3; PW[2,3]:=0.15; X[2]:=9;
PW[3,1]:=0.04; PW[3,2]:=0.08; PW[3,3]:=4; X[3]:=20; }

n:=6; {количество уравнений системы}
For k1:=1 to n-1 do
  Begin
    k2:=k1;
    For k2:=k1+1 to n do
      Begin
        B:=PW[k1,k1]/PW[k2,k1];
        X[k2]:=X[k2]*B;
        X[k2]:=X[k2]-X[k1];;
        For k:=1 to n do
          Begin
            PW[k2,k]:=PW[k2,k]*B;
            PW[k2,k]:=PW[k2,k]-PW[k1,k];
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;

Writeln(' Коэффициенты уравнения:');
For k1:=1 to n do
  Begin
    k2:=n-k1;
    k3:=k2+1;
    A[k3]:=(X[k3]-S)/PW[k3,k3];
    Writeln('a',k2:2,'=',A[k3]);
    Writeln(MG,'a',k2:2,'=',A[k3]);
    aa[k3]:=a[k3];
    S:=0;
    for i:=k3 to n do

```

```

Begin
S:=S+PW[k2,i]*A[i];
end;
end;
Writeln(MG,"");Writeln(MG,"");

```

```

Writeln(' Для каждого параметра с целью оценки степени согласо-
ванности');
Writeln(' опытных данных с вероятностной моделью определяются
статистические характеристики ');
Writeln("");Writeln("");
Writeln('Для продолжения нажмите пробел');
delay(10000);

```

```

{***** Вычисление среднеквадратической ошибки*****}
nn:=n1*j1;
k:=1;
j2:=2;
P:=7; { число оцениваемых параметров }
For i:=1 to n1 do
For j:=j2 to j1 do
Begin
Eps1:=A[1]*nn+A[2]*PWn[i,1,j]+A[3]*PWn[i,1,1]+A[4]*PWn[i,1,j]*P
Wn[i,1,1]+A[5]*Sqr(PWn[i,1,j])+A[6]*Sqr(PWn[i,1,1]);
MEps[k]:=Eps1-PWn[i,2,j];
k2:=k-1;
If k=1 then goto M1;
Znach_sred[i,j]:=(MEps[k]-MEps[k2])/2;
M1: k:=k+1;
k_eps:=k-1;
end;

For k:=1 to k_eps do
Begin
Eps_kv:=Eps_kv+Sqr(MEps[k]);
end;

```

```

S_eps:=Sqrt(Eps_kv/(PW[1,1]-P-1));
Writeln(' Среднеквадратическая ошибка ..... S= ',S_eps:8:6);
Writeln(MG,' Среднеквадратическая ошибка ..... S= ',S_eps:8:6);

For i:=1 to n1 do
  For j:=j2 to j1 do
    begin
      YY:=YY+Sqr(PWn[i,2,j]-Znach_sred[i,j]);
    end;

R_kv:=1-Eps_kv/YY;
Writeln(' Коэффициент детерминации ..... R^2= ',R_kv:7:5);
Writeln(MG,' Коэффициент детерминации ..... R^2= ',R_kv:7:5);
R:=Sqrt(R_kv);
Writeln(' Коэффициент множественной корреляции R= ',R:7:5);
Writeln(MG,' Коэффициент множественной корреляции R= ',R:7:5);
F:=(R_kv*(nn-P-1))/((1-R_kv)*P);
Writeln(' Критерий Фишера ..... F= ',F:6:4);
Writeln(MG,' Критерий Фишера ..... F= ',F:6:4);
If F > 4.085 then
  begin
    Writeln("");
    Writeln(MG,"");
    Writeln(MG,"");
    Writeln(' Наблюдаемое значение критерия Фишера превышает таб-
личное.');
```

Writeln(' Fнаб>Fmax, где Fmax= 4.085');

Writeln(MG,'Наблюдаемое значение критерия Фишера превышает таб-
личное');

Writeln(MG,' Fнаб>Fmax, где Fmax= 4.085');

end

else

Begin

Writeln("");Writeln("");

Writeln(MG,"");Writeln(MG,"");

Writeln(' Наблюдаемое значение критерия Фишера меньше таблич-
ное.');

Writeln(' Fнаб>Fmax, где Fmax= 4,085');

```

Writeln(MG,' Наблюдаемое значение критерия Фишера меньше
табличное. Fнабл>Fmax, где Fmax= 3,2696');
Writeln(MG,' Fнабл>Fmax, где Fmax= 4,085');
end;
Writeln(' Для проверки контрольной точки задайте:');
M2:
Writeln(aa[1]:6:2,' ',aa[2]:7:2,' ',aa[3],' ',aa[4],' ',aa[5]:5:2,' ',aa[6]);
Writeln("");
Writeln(' частота вращения ротора турбокомпрессора ');
read(n_pr);
W:=Pi*n_pr/30;
Writeln(' Степень повышения давления ');
read(Pk);
Gk:=aa[1]+aa[2]*Pk+aa[3]*W+aa[4]*Pk*W+aa[5]*Sqr(Pk)+aa[6]*Sqr(W);
{Gk:=a[6]+a[5]*Pk+a[4]*W+a[3]*W*Pk+a[2]*Sqr(Pk)+a[1]*Sqr(W);}
Writeln("");
Writeln(' Расход воздуха через компрессор Gk= ',Gk:6:3);
Writeln("");
Writeln('Если хотите просчитать еще одну точку - нажмите 1');
read(povtor);
if povtor=1 then goto m2;
Writeln("");Writeln(MG,"");Writeln(MG,"");

Close(MG);
Writeln(' Для окончания нажмите пробел...');
ReadKey;
END.

```

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра “ Двигатели внутреннего сгорания”

ДНЕВНИК

учебной практики

с _____ по _____ г.
студента второго курса автотракторного факультета
_____ группы

фамилия, имя, отчество

номер приказа по БНТУ и дата о направлении
на практику _____

Руководитель практики

Ф.И.О.

I. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

II. КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ПРОХОЖДЕНИЯ ПРАКТИКИ

Дата	Содержание выполненных работ

**III. УЧАСТИЕ СТУДЕНТА
В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

**IV. ЗАНЯТИЯ, СЕМИНАРЫ, ЭКСКУРСИИ
ВО ВРЕМЯ ПРАКТИКИ**

V. ОЦЕНКА СТУДЕНТОМ СООТВЕТСТВИЯ УСЛОВИЙ
ПРАКТИКИ ТРЕБОВАНИЯМ ПРОГРАММЫ, ОРГАНИЗАЦИИ
ПРАКТИКИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПРАКТИКИ

VI. ОТЗЫВ РУКОВОДИТЕЛЯ ПРАКТИКИ

ПОДПИСЬ

С о д е р ж а н и е

В в е д е н и е	3
1. Организация практики.	4
2. Рабочее место студента и баланс времени.	5
3. Содержание учебной практик.	6
4. Теоретические и практические занятия.	7
5. Индивидуальные задания студентов.	7
6. Базовая программа по обработке экспериментальных данных методом наименьших квадратов.	9
7. Тематические экскурсии.	15
8. Требования к отчету по практике.	15
9. Требования к дневнику по практике.	18
Л и т е р а т у р а	18
ПРИЛОЖЕНИЯ.	20

Учебное издание

ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по проведению учебной практики
для студентов II курса специальности 1–37 01 01
“Двигатели внутреннего сгорания”

Составители: ВЕРШИНА Георгий Александрович
ТАМКОВИЧ Егор Сергеевич

Редактор А.М. Кондратович. Корректор М.П. Антонова
Компьютерная верстка А.Г. Гармазы

Подписано в печать 11.06.2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Офсетная Печать. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,5. Тир. 200. Зак. 454.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.