

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Альтернативные источники энергии транспортных средств

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование испытательного участка лаборатории исследования
силовых установок на альтернативных источниках энергии

Обучающийся

В.Г. Светкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.С. Тизилов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

канд. физ.-мат. наук, доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена проектированию испытательного участка лаборатории исследования силовых установок на альтернативных источниках энергии. Актуальность темы обусловлена растущей потребностью в испытательных комплексах для оценки эффективности и надёжности силовых установок, работающих на возобновляемых ресурсах.

Цель работы – разработать функциональный и технологически обоснованный проект испытательного участка, обеспечивающий комплексные испытания маломощных и средне-мощных установок с ветровыми, солнечными и биотопливными источниками энергии. Для её достижения решены следующие задачи: анализ требований нормативных документов и аналогичной испытательной техники; выбор конфигурации стенда и его основных узлов; расчёт конструктивных параметров; разработка схемы управления и измерения; обоснование технических решений по безопасности и эргономике; предварительная экономическая оценка проекта.

Методика исследования включает системный анализ, машинно-конструкционные расчёты, методы технического проектирования и экспертизы технико-экономической эффективности.

Работа состоит из пяти глав, в которых последовательно раскрываются теоретические и практические аспекты разработки: обзор нормативов и требований к оснащению и планировке участка, концептуальное проектирование стенда, детальные расчёты и чертежи узлов, разработка технологии проведения испытательных работ, технико-экономическое обоснование. В заключении подведены итоги, сформулированы рекомендации по внедрению проекта. Список использованных источников включает нормативные документы, монографии и статьи по альтернативной энергетике и испытательной технике.

Abstract

The final qualifying work is devoted to the design of a test section of the laboratory for studying power plants on alternative energy sources. The relevance of the topic is due to the growing need for test complexes to assess the efficiency and reliability of power plants operating on renewable resources.

The goal of the work is to develop a functional and technologically sound design for a test section that provides comprehensive testing of low-power and medium-power plants with wind, solar and biofuel energy sources. To achieve this, the following tasks were solved: analysis of the requirements of regulatory documents and similar testing equipment; selection of the configuration of the stand and its main components; calculation of design parameters; development of a control and measurement circuit; justification of technical solutions for safety and ergonomics; preliminary economic assessment of the project.

The research methodology includes system analysis, mechanical and structural calculations, methods of technical design and examination of technical and economic efficiency. The work consists of five chapters, which consistently reveal the theoretical and practical aspects of the development: a review of standards and requirements for equipment and site planning, conceptual design of the stand, detailed calculations and drawings of units, development of technology for conducting testing work, feasibility study. In conclusion, the results are summarized, recommendations for the implementation of the project are formulated. The list of references includes regulatory documents, monographs and articles on alternative energy and testing equipment.

Содержание

Введение	6
1 Рабочей проект испытательного участка лаборатории исследования силовых установок	8
1.1 Описание производимых на испытательном участке работ	8
1.2 Оборудование, размещенное на испытательном участке	10
1.3 Персонал, работающий на испытательном участке	12
1.4 Расчет площади испытательного участка	13
2 Подбор аналогов для стенда проведения комплексных испытаний двигателя внутреннего сгорания	15
2.1 Обоснование проведения подбора оборудования	15
2.2 Анализ конструкций стенда проведения комплексных испытаний двигателя внутреннего сгорания	17
3 Конструкции стенда для холодной и горячей обкатки двигателя	23
3.1 Техническое задание на разработку стенда	23
3.2 Техническое предложение на разработку стенда обкатки двигателя	25
3.3 Расчет конструкции стенда обкатки двигателя	27
4 Технологический процесс обкатки двигателя на разработанном стенде	31
4.1 Условия работы агрегата	31
4.2 Разработка технологии обкатки двигателя	32
5 Расчет себестоимости нормо-часа работ участка лаборатории исследования силовых установок на альтернативных источниках энергии	37
5.1 Описание участка и производимых работ	37
5.2 Расчет затрат на расходные материалы, используемые на участке исследования силовых установок	38
5.3 Расчет затрат на амортизационные отчисления на участке исследования силовых установок	39

5.4 Расчет затрат на электрическую энергию на участке исследования силовых установок	41
5.5 Расчет затрат на заработную плату персонала	44
Заключение	48
Список используемой литературы и используемых источников	52

Введение

В условиях истощения традиционных углеводородных ресурсов и ужесточения экологических требований всё более важной становится разработка и внедрение альтернативных источников энергии. Одним из перспективных направлений является использование разнообразных видов топлив и энергоносителей (биотопливо, водород, синтетические газы и др.) в двигателях внутреннего сгорания (ДВС), превращённых при необходимости в гибридные или автономные силовые установки. Надёжная оценка работы таких ДВС требует создания специализированного испытательного стенда, способного моделировать реальные режимы и обеспечивать точный сбор данных о мощности, экономичности и экологичности.

Цель работы заключается в разработке рабочего проекта испытательного участка лаборатории исследования силовых установок на альтернативных источниках энергии, включающего конструктивно-технологические решения, расчётные обоснования, описание методики испытаний и экономическую оценку.

Объектом исследования является испытательный участок лаборатории, предназначенный для проведения комплексных стендовых испытаний ДВС на альтернативных видах топлива.

Предметом исследования является комплекс технических, технологических и экономических решений, обеспечивающих проектирование и функционирование участка на уровне рабочего проекта.

Задачи исследования формулируются следующим образом:

- требуется выполнить расчёт испытательного участка как инженерного объекта (отбор оборудования, тепло- и гидравлические расчёты, требования к инфраструктуре);
- необходимо проанализировать существующие аналоги конструкций стендов обкатки ДВС и обосновать выбор оптимальных решений;

- разработать детальный расчёт основного испытательного стенда для ДВС: силовой привод, система нагрузок, контрольно-измерительное оборудование;
- сформировать технологию проведения стендовых испытаний, включая методики запуска, регулирования режимов и сбора данных;
- оценить экономическую эффективность проекта: сметные затраты, себестоимость исследований и прогнозируемую окупаемость.

Предлагаемый рабочий проект сочетает в себе универсальность конструкторских решений, адаптированных под широкий спектр альтернативных топлив, и разработанную методику стендовых испытаний, ориентированную на получение высокоточных характеристик двигателей в реальных рабочих режимах.

Результаты работы могут быть использованы при создании или модернизации испытательных лабораторий учебных и научно-производственных учреждений, а также при внедрении разработанных решений в испытательные центры автопроизводителей и энергогенерирующих предприятий.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений.

Первая глава содержит расчёт испытательного участка на уровне рабочего проекта. Вторая глава посвящена анализу и подбору аналогов конструкции стенда обкатки ДВС. В третьей главе выполнен расчёт стенда испытания ДВС: силовые и измерительные системы. Четвертая глава раскрывает технологию проведения испытаний двигателей внутреннего сгорания. В пятой главе представлен экономический раздел с оценкой затрат и показателями эффективности.

Заключение подводит итоги проделанной работы и даёт рекомендации по внедрению проекта.

1 Рабочий проект испытательного участка лаборатории исследования силовых установок

1.1 Описание производимых на испытательном участке работ

Испытательный участок лаборатории исследования силовых установок на альтернативных источниках энергии представляет собой комплекс специально оборудованных стендов и вспомогательных систем, предназначенных для всесторонней проверки, наладки и оптимизации электро-, гибридных и водородных приводов, а также двигателей, работающих на биотопливе или синтез-газах. Ниже приводятся его основные структурные элементы и виды работ.

Общая схема участка включает в себя следующие элементы.

- испытательный участок с антивибрационным фундаментом для установки двигателей и электромоторов;
- комната управления стендом и сбора данных, изолированная от шумов и вибраций;
- зона подготовки топлива (баковые стенды для биотоплива, система подачи и кондиционирования газов — метана, водорода, СО-смесей);
- система безопасности: газоанализаторы, дымо- и детекторы водорода, система вентиляции и пенной пожаротушения.

На участке размещается следующее оборудование.

- обкаточный стенд, оснащенный динамическим тормозом (индукционный или постоянного тока) мощностью до нескольких сотен кВт для создания нагрузочных режимов;
- блоки управления приводами (инвертер, контроллеры) с возможностью гибкой эмуляции редуктора и нагрузки;
- система сбора данных (DAQ) с многоканальными модулями напряжения, тока, температуры, давления, оборотов, частоты и геометрии волн;

- газоанализаторы (NO_x, CO, CO₂, углеводороды, H₂), оптические пирометры и тепловизоры для контроля температурных полей;

- киловатт-час анализаторы мощности, осциллографы, вольт- и амперметры с высокой точностью измерений;

На участке проводятся следующие типы испытаний и технологические операции.

Формирование карты крутильных характеристик и КПД.

- получение двумерных «карт» (мощность/крутящий момент vs. обороты);

- измерение электрической и механической эффективности по разности входных–выходных параметров.

Транзиентные режимы и отработка управляющих алгоритмов.

- имитация нагрузочных циклов (городской, загородный, гоночный протоколы);

- проверка быстродействия систем управления (реакция на изменение нагрузки, инерционные переходы).

Длительная наработка на отказ (проведение ресурсных испытаний)

- многосуточные или многонедельные тесты при заданных режимах;
- статистика отказов узлов и деградации характеристик.

Эмиссионные испытания (для двигателей на биотопливе/газе).

- определение объёмных концентраций вредных компонентов;
- калибровка каталитических нейтрализаторов или систем очистки отработавших газов.

Акустические и вибрационные тесты, в ходе которых осуществляются NVH-исследования (шум, вибрации, жёсткость конструкции).

Также на участке производятся вспомогательные работы и аналитика.

- подготовка и сертификация образцов топлива, проверка их состава и чистоты;

- калибровка датчиков и поверка средств измерений по госустановкам;

- сбор, обработка и статистический анализ данных с использованием специализированного ПО (MATLAB/Simulink, LabVIEW, Python);
- разработка рекомендаций по конструкции, подбору режимов управления, схем тепло- и массо-обмена, материалов уплотнений и коррозионностойких покрытий;
- подготовка отчётов и технических заключений для проектных групп, проведение презентаций и обсуждений результатов.

Результатами исследовательских работ на испытательном участке являются: оптимальные карты режимов, спецификации на компонентную базу, подтверждённые показатели надёжности и экологичности, а также алгоритмы управления, готовые к внедрению в опытные образцы и серийные образцы силовых установок на альтернативных источниках энергии.

1.2 Оборудование, размещенное на испытательном участке

Одним из ключевых этапов проекта испытательного участка лаборатории исследования силовых установок на альтернативных источниках энергии является формирование полной и достоверной ведомости оборудования. Этот раздел призван обеспечить наглядное представление о составе средств измерения, стендов, вспомогательных систем и приборов, необходимых для проведения испытаний двигателей, работающих на биотопливе, водороде, синтетическом газе и других нетрадиционных энергоносителях.

В настоящем разделе описаны следующие группы оборудования:

- основные испытательные стенды (навесные и базовые), предназначенные для обкатки и нагрузочного тестирования двигателей на альтернативном топливе;
- средства измерения мощности, крутящего момента, расхода и состава выхлопных газов;

- системы подготовки и подачи топлива (биобак, водородный накопитель, газорегуляторный пункт);
- вспомогательные установки охлаждения, вентиляции и шумоподавления;
- электромеханические приводы, муфты и адаптеры для объединения стенда и двигателя;
- оборудование для хранения и складирования.

Каждая позиция ведомости снабжена кратким описанием технических характеристик, назначением, базой поставщиков и ориентировочными габаритно-монтажными требованиями. Перечень оборудования приводится в таблице 1.

Таблица 1 – Оборудование испытательного участка

Группа оборудования	Наименование технологического оборудования участка	Марка, модель	Площадь, м ²	Кол-во	Итого площадь, м ²
Основное испытательное оборудование	Обкаточный стенд	самоизг.	6,50	1	6,5
Средства измерения	Нагрузочное устройство	самоизг.	2,50	1	2,5
	Пульт управления и регистрации данных	A-2341	1,7	1	1,7
	Устройство вывода выхлопных газов	Grac	0,5	1	0,5
Системы подготовки и подачи топлива	Бак дозировки и подачи жидкого топлива	357843	1,4	1	1,4
	Система дозировки и подачи газообразного топлива	356540	1,4	1	1,4
Оборудование для хранения и складирования	Ящик для размещения инструмента	КО-390	0,426	4	3,4
	Стеллаж	ИП-56	2,25	3	6,8
	Ящик для размещения оборудования		1,2	2	2,4

Продолжение таблицы 1

Оборудование для хранения и складирования	Стол	К-3768	0,475	1	0,5
	Тележка		1,65	1	1,7
	Верстак	КО-389	1,26	3	3,8
ИТОГО					32,5

Данное оснащение создаёт прочную основу для следующего этапа разработки – прямого проектирования испытательного стенда и отработки методики проведения испытаний.

1.3 Персонал, работающий на испытательном участке

Точное обоснование численности производственного персонала на испытательном участке является ключевым фактором обеспечения заданных темпов и качества проведения испытаний. Недокомплект специалистов приводит к простоем оборудования и срывам сроков проведения испытаний, тогда как избыточная численность — к нерациональному расходу фонда рабочего времени и излишним затратам на заработную плату. Расчёт штатной численности позволит сбалансировать трудовые ресурсы с объёмами и номенклатурой испытательных работ, гарантировать своевременное выполнение плановых заданий и соблюдение технологической дисциплины.

В рамках раздела будут рассмотрены исходные данные для расчёта численности (в том числе фонд рабочего времени участка — 8820 человеко-часов), нормативы времени на операции подготовительных и испытательных работ, а также применяемые коэффициенты учёта непроизводительного времени и резервов. На основании этих показателей будет определено оптимальное количество испытателей и операторов соответствующих квалификационных разрядов, что обеспечит эффективное функционирование

испытательного участка в заданном режиме работы. Расчет численности персонала приводится в таблице 2

Таблица 2 – Численность рабочих на испытательном участке

Виды работ	%	Трудоемкость, чел-час	Число рабочих явочное, чел
Испытательные работы	65	5733,0	3
Подготовительные работы	35	3087,0	2
ИТОГО	100	8820	5

Следовательно, исходя из общей численности, явочное число рабочих принято в количестве 5 человек. Указанное распределение по видам работ стоит считать условным, поскольку работы производятся как совокупность одного производственного процесса. Работа осуществляется посменно в случае проведения испытаний непрерывного цикла.

1.4 Расчет площади испытательного участка

Цель расчёта площади испытательного участка — обеспечить компактное, но при этом безопасное и удобное размещение всех элементов технологического процесса: подъёмных устройств, стенов, верстаков, узкопроходной оснастки и складских мест для расходных материалов. В процесс расчёта будут заложены требования нормативных документов по минимальным зазорам между машинами и оборудованием, по ширине проходов для технического персонала и обслуживающей техники, а также по нормативам пожарной и производственной безопасности. Полученные данные позволят обеспечить рациональное использование производственной площади, своевременный и беспрепятственный доступ к каждому рабочему

месту, а также оптимизировать материальный и трудовой потоки при выполнении текущего ремонта автомобилей.

Расчет испытательного участка выполняется по формуле:

$$F_y = F_{об} \cdot K_p, \text{ м}^2 \quad (1)$$

где $F_{об}$ – площадь, занятая оборудованием, м^2

K_p – коэффициент плотности расстановки оборудования, $K_p = 4,5$

Тогда фактическая площадь участка составит.

$$F_y = 32,5 \cdot 4,5 = 146,2 \text{ м}^2$$

В результате проведённых расчётов испытательного участка были достигнуты следующие результаты в рамках поставленных задач на выполнение ВКР.

Подбор оборудования выполнен с учётом технологического нормирования, типов ремонтируемых машин и объёма работ. Предложенные испытательные стенды, подъёмники и вспомогательные устройства обеспечивают требуемую пропускную способность и надёжность эксплуатации, что позволит минимизировать простои и повысить качество обслуживания. Численность производственного персонала рассчитана на основе нормативов времени на операции и планового выпуска работ. Полученные значения отвечают требованиям оптимизации затрат на оплату труда и гарантируют соблюдение установленных сроков ремонта без излишнего штата.

Площадь участка определена с учётом эргономики рабочих мест, проходов для обслуживания оборудования и складских зон. Достаточный запас площади обеспечит удобство технологии ремонта, соблюдение норм безопасности и возможность оперативного расширения при увеличении объёма работ.

2 Подбор аналогов для стенда проведения комплексных испытаний двигателя внутреннего сгорания

2.1 Обоснование проведения подбора оборудования

Основная цель установки для обкатки (прогрева и первичных наладок) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) – обеспечение контролируемых условий эксплуатации на наиболее ответственных режимах работы: холостой ход, переходные режимы, полная нагрузка. В ходе обкатки выявляются возможные конструктивные дефекты, неравномерность трения деталей, утечки и неполадки систем смазки, охлаждения, питания. Особое внимание уделяется адаптации ДВС к работе на альтернативных видах топлива (биогаз, СУГ, водород, синтетические смеси): необходимо удостовериться в стабильности воспламенения, полноте сгорания и отсутствии повышенного износа при новых режимах.

Основные требования к стенду

- диапазон устанавливаемых оборотов двигателя: от холостого ($\approx 600 \dots 800 \text{ мин}^{-1}$) до максимальных (до $6\,000\text{--}7\,000 \text{ мин}^{-1}$) для охвата всех уставок;
- регулируемая нагрузка (крутящий момент) до $200\text{--}500 \text{ Н}\cdot\text{м}$ в зависимости от класса двигателя;
- система точного измерения основных параметров: обороты, момент, давление и температура смазочного масла, давление и расход топлива, состав выхлопных газов (O_2 , CO , NO_x);
- автоматизированная система управления и сбора данных с возможностью программирования рабочих режимов по времени и нагрузке;
- модульная топливная система, возможность смены магистралей и форсунок, датчики температур и давлений, устойчивые к агрессивным средам;

- аварийное отключение при перегреве, превышении допустимых давлений, системы пожаротушения и газоанализа в помещении, вентиляция и газоотвод.

Преимуществами выбираемого стенда будет являться совокупность параметров.

- универсальность: поддержка двигателей разного объёма и мощности за счёт сменных адаптеров и балансировочных механизмов;

- высокая точность регулирования нагрузки и оборотов (погрешность измерения момента и оборотов не более 0,5 %), что обеспечивает воспроизводимость результатов;

- модульность топливной системы: позволяет быстро перенастраиваться на биогаз, СУГ или водород без длительных перекомплектаций;

- интегрированная система сбора и обработки данных с графическим интерфейсом, возможностью экспорта отчётов и построения кривых «момент–обороты», «расход–мощность», карт загрязняющих выбросов;

- соответствие международным стандартам (ISO 3046, ISO 8178) и отечественным нормам (ГОСТ Р 41.83–99), а также экологическим требованиям к уровню выбросов.

Стенд для обкатки ДВС, удовлетворяя перечисленным требованиям по диапазону режимов, точности измерений, безопасности и адаптивности к альтернативным видам топлива, является оптимальным решением для испытательного участка, обеспечивая достоверность и воспроизводимость результатов первичных и контрольных испытаний двигателей.

2.2 Анализ конструкций стенда проведения комплексных испытаний двигателя внутреннего сгорания

Произведем подбор оборудования, в соответствии с полученным для разработки заданием на подбор стенда проведения комплексных испытаний двигателя внутреннего сгорания. По тематике, принятой на проработку в рамках выполнения работы бакалавра, найдены следующие конструкторские решения, применяемые на испытательном участке.

Одно из таких устройств, стенд обкатки двигателей СОД.1001.0000.000, представленный на рисунке 1.



Рисунок 1 – Стенд горячей обкатки двигателя СОД.1001.0000.000

Технические характеристики образца стенда представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики стенда горячей обкатки двигателей
СОД.1001.0000.000

Характеристики устройства	Значение
Занимаемая площадь, м ²	3,1
Масса стенда, кг	1500
Мощность привода, кВт	30,0
Напряжение питания, В	380
Количество контролируемых параметров	8

«Другим устройством стенда, используемого для обкатки двигателя как в режиме холодной, так и в режиме горячей обкатки будет являться стенд КС 276-04, представленный на рисунке 2.» [21]



Рисунок 2 – Стенд для холодной и горячей обкатки двигателя КС 276-04

«Технические характеристики образца стенда представлены в таблице 4. Универсальность стенда позволяет применять его на моторном участке как для

проведения промежуточной обкатки в процессе сборки для предварительной приработки деталей поршневой группы и деталей кривошипно-шатунного механизма.» [20]

Таблица 4 – Технические характеристики стенда универсального обкаточного КС 276-04

Характеристики устройства	Значение
Занимаемая площадь, м ²	2,2
Масса стенда, кг	1200
Мощность привода, кВт	18,0
Напряжение питания, В	380
Количество контролируемых параметров	10

На рисунке 3 представлен стенд обкаточный серии КОПИС КС276.



Рисунок 3 – Стенд обкаточный КОПИС КС276

«Стенд также является универсальным стендом, позволяющим производить обкатку двигателей как в режиме холодной, так и в режиме горячей обкатки. С этой целью в конструкции двигателя используется асинхронный двигатель, запитанный через частотный преобразователь, что позволяет использовать электродвигатель как в режиме непосредственного привода, так и в режиме генератора. Технические характеристики стенда приводятся в таблице 4.» [19]

Таблица 4 – Технические характеристики стенда универсального обкаточного КОПИС КС276

Характеристики устройства	Значение
Занимаемая площадь, м ²	3,2
Масса стенда, кг	1280
Мощность привода, кВт	30
Напряжение питания, В	380
Количество контролируемых параметров	10

Также в процессе поиска аналогов был обнаружен стенд для проведения горячей обкатки ОТС-2, показанный на рисунке 4.

«Стенд обкаточный универсальный специализируется на обкатке и тестировании дизельных автомобильных двигателей внутреннего сгорания. Устройство применяется на автотракторных заводах, в сервисных центрах и в специализированных учебных заведениях.

Стенд представляет собой комплекс из отдельных устройств. Они изготавливаются из прочной стали и покрываются износостойкой полимерно-порошковой краской. Между собой части стенда соединяются проводами и трубами. Само управление стендом осуществляется за счет пульта управления по сети Wi-Fi.» [21]

«Стенд позволяет обкатывать двигатели других марок, включая тракторные и иномарки. Дополнительная комплектация для таких двигателей

изготавливается под заказ. Стенды могут быть оснащены дополнительной комплектацией для обкатки тракторных двигателей: Д-65Н, Д-144, Д-160, Д-240, Д-243, Д-245, Д-260, А-01, А-41, СМД-17, СМД-18, СМД-62, двигателей погрузчиков: ISUZU, KOMATSU и двигателей строительной техники: KOMATSU S6D-155, CATERPILLAR 3066, CATERPILLAR 3408.» [14]



Рисунок 4 – Стенд горячей обкатки ОТС-2

Технические характеристики стенда приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики стенда горячей обкатки ОТС-2

Характеристики устройства	Значение
Занимаемая площадь, м ²	2,5
Масса стенда, кг	1180

Продолжение таблицы 5

Характеристики устройства	Значение
Мощность привода, кВт	25
Напряжение питания, В	380
Количество контролируемых параметров	12

В результате сравнительного анализа четырёх образцов стендов для обкатки двигателей внутреннего сгорания по ключевым критериям (технические характеристики, функциональность системы управления, уровень автоматизации, энергоэффективность, безопасность эксплуатации и стоимость жизненного цикла) конструкция стенда КС 276-04 признана наиболее прогрессивной и отвечающей задачам модернизации испытательного участка.

Стенд КС 276-04 обеспечивает широкий диапазон регулировки частоты вращения и нагрузки, что позволяет моделировать реальные режимы работы двигателя с высокой точностью. Современная цифровая система контроля и управления выполняет функции сбора и обработки данных в реальном времени, интегрируется в единую информационную сеть лаборатории и поддерживает удалённый доступ. Наличие многоуровневых систем аварийной остановки, межблочных защит, автоматизированного мониторинга температуры и вибрации гарантирует надёжность и чистоту экспериментов при минимальном участии оператора.

На основании проведённого анализа и с учётом стратегических целей по внедрению современных испытательных технологий на площадке рекомендуется принять в качестве базового оборудования для обкатки двигателей внутреннего сгорания стенд КС 276-04.

3 Конструкции стенда для холодной и горячей обкатки двигателя

3.1 Техническое задание на разработку стенда

Разработка стенда для проведения холодной и горячей обкатки различных типов двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Стенд должен обеспечивать контролируемые условия работы двигателя на различных режимах, мониторинг параметров и регистрацию результатов.

Технические характеристики:

- Масса стенда: 1200 кг.
- Габаритные размеры: Определяются на этапе проектирования, но общая площадь основания не должна превышать 2,2 м². Необходимо указать габаритные размеры в трех проекциях (длина, ширина, высота).
- Мощность: 18 кВт, трехфазная сеть, 400В.
- Диапазон регулировки частоты вращения: от 500 до 6000 об/мин с плавной регулировкой.
- Диапазон регулировки нагрузки: от 0 до 250 Нм с плавной регулировкой. Тип нагрузки – гидравлическая.

Система охлаждения двигателя должна обеспечивать поддержание заданной температуры в процессе горячей обкатки. Необходимо указать тип системы охлаждения (водяная, воздушная) и её мощность. Необходимо указать тип системы смазки (циркуляционная, разбрызгивания) и емкость масляного поддона.

Стенд должен обеспечивать измерение и регистрацию следующих параметров:

- Частота вращения коленчатого вала (об/мин).
- Крутящий момент (Нм).
- Температура охлаждающей жидкости (°С).
- Температура масла (°С).
- Давление масла (бар).

- Расход топлива (л/ч).

Электронное управление с возможностью программирования режимов обкатки, отображения параметров на дисплее и сохранения данных в памяти (необходимо указать тип интерфейса). Система безопасности стенда включает следующие подсистемы:

- Аварийное выключение двигателя.
- Защита от перегрузок.
- Защита от превышения допустимых температур.
- Защита от утечек масла и охлаждающей жидкости.

Требования к функциональности стенда следующие:

- Возможность проведения как холодной, так и горячей обкатки двигателей.
- Плавная регулировка частоты вращения и нагрузки.
- Точное измерение и регистрация параметров работы двигателя.
- Простота в эксплуатации и обслуживании.
- Надежность и долговечность.

Этапы разработки стенда включают в себя следующие. Эскизный проект: разработка эскизного проекта с указанием основных параметров и компоновки. Технический проект: разработка технического проекта с подробными чертежами, спецификациями и расчетами. Изготовление опытного образца: изготовление и испытание опытного образца. Испытания: проведение испытаний на соответствие техническим требованиям.

Следует обеспечить возможность подключения к компьютеру для более детального анализа данных. Требуется обеспечить возможность адаптации к разным типам двигателей (бензиновые, дизельные, газовые). Необходимо предусмотреть удобство обслуживания (доступ к узлам и агрегатам).

3.2 Техническое предложение на разработку стенда обкатки двигателя

В рамках полученного задания на выполнение выпускной квалификационной работы требуется разработать конструкцию устройства стенда для холодной и горячей обкатки двигателя. В рамках анализа имеющихся образцов конструкции был определен ряд промышленных образцов, технические решения которых возможно использовать в проектируемой конструкции.

«Согласно полученному заданию, требуется разработать стенд, способный осуществлять обкатку ДВС как в режиме холод-ной обкатки, так и в режиме горячей обкатки. Кроме того, считается целесообразным применение в стенде режимов обкатки, позволяющих раскручивать двигатель в режиме горячей обкатки до оборотов выше 3000 об/мин, что в настоящее время не допускает стенд, приведенный в качестве аналога. Исходя из всего изложенного, делаем следующие выводы о конструктивных особенностях стенда.

- необходимо предусмотреть возможность горячей обкатки, для чего на стенд будет смонтирована система охлаждения, располагаемая стационарно.

- кинематическая связь между ДВС и электродвигателем будет осуществляться посредством карданной передачи, что значительно проще в изготовлении, нежели предложенная в описании изобретения схема привода.

- В качестве электрической машины на стенде будет применен асинхронный двигатель трехфазного тока с фазной обмоткой ротора.» [14]

Предлагаемый по результатам технического задания образец представлен на рисунке 5.

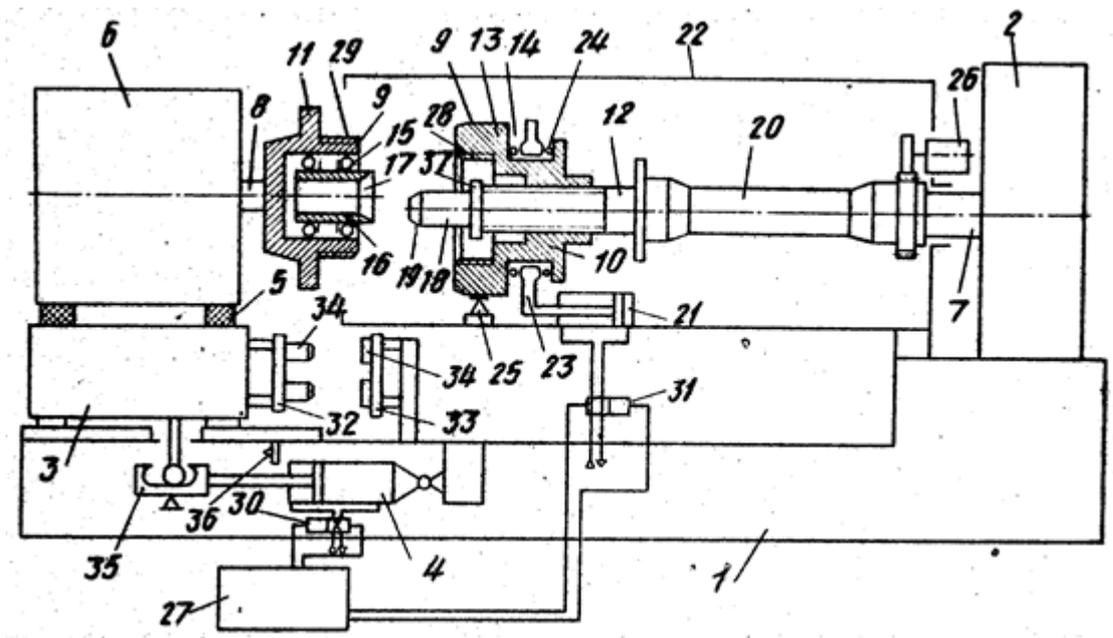


Рисунок 5 – Устройство стенда обкатки двигателя

«Стенд работает следующим образом.

При установке спутника 3 с закрепленным на нем двигателем 6 на основание 1 стенда от миниЭВМ 27 дается команда на стыковку спутника с двигателем к стенду. Включается распределитель 30 и сжатый воздух поступает в штоковую полость силового цилиндра 4, который своим крюком 35 втягивает спутник 3 до жестких упоров 36. При этом гидромуфты 34 состыковываются, обеспечивая герметичное соединение магистралей питания двигателя 6. Одновременно конусная заходная часть 17 направляющей втулки 13 взаимодействует с конусной заходной частью 19 направляющего пальца 18, поднимая полумуфту 10 от опоры 25 и центрируя ее относительно полумуфты 11. Затем с помощью датчика цилиндра 4 (не показан) от ЭВМ дается команда на включение распределителя 31 и сжатый воздух поступает в бесштоковую полость силового цилиндра 21, который своей вилкой 23, воздействуя через подшипник 24 на шлицевую втулку 13, перемещает ее и она своими шлицевыми пазами входит в зацепление со шлицами 29 полумуфты 11.

После остановки втулки 13 на упоре 37 датчик (не показан) цилиндра 21 дает команду на ЭВМ об осуществлении сцепления полумуфт 10 и 11. ЭВМ

27 подключает также двигатель на режим обкатки. Тем самым обеспечивается автоматическая стыковка двигателя с нагрузочным агрегатом стенда, валы которых расположены несоосно друг другу, и дальнейшее проведение обкатки и контрольной приемки двигателя.

Для испытания двигателя на виброакустические параметры необходимо после заводки двигателя отключить только механическую связь с нагрузочным агрегатом. Система питания двигателя через гидравлические муфты для работы двигателя должна остаться.» [10]

3.3 Расчет конструкции стенда обкатки двигателя

«Основной расчетной характеристикой для проектируемого стенда будет являться мощностная характеристика нагрузочного устройства, способного производить отбор мощности.» [5]

«К таким данным относятся номинальная мощность, номинальное число оборотов коленчатого вала в минуту, максимальный крутящий момент, максимальное и минимальное число оборотов холостого хода, число оборотов коленчатого вала при максимальном крутящем моменте. Требуется создать условия, при которых номинальный момент сопротивления на нагрузочном устройстве при работе в двигательном режиме был равен номинальному крутящему моменту двигателя, если двигатель не требуется испытывать на максимальный крутящий момент» [16]:

$$M_{нд} = M_{нэд} \quad (2)$$

$$n_{нд} > (1,15-1,2) \cdot n_c, \quad (3)$$

«где $M_{нд}$ - номинальный крутящий момент двигателя, кгс·м;

$M_{нэд}$ - номинальный крутящий момент нагрузочного устройства при максимальном сопротивлении дросселя, кгс·м;

$n_{нд}$ - номинальное число оборотов двигателя в минуту;

n_c – частота вращения двигателя в режиме пика мощности;» [6]

«Указанное соотношение моментов должно быть соблюдено по двигателю с наибольшим крутящим моментом ($M_{нд}$), а число оборотов $n_{нд}$ - по двигателю с наименьшим числом оборотов.» [16]

Для двигателя: $M_{нд} = 9,48$ кгс·м, $n_{нд} = 4400$ об/мин. Следовательно, искомый электродвигатель должен соответствовать $M_{нЭД} = 9,48$ кгс·м. Этой характеристике соответствует насос жижкостный шестеренного типа НШ-100,0, мощностью привода 15,5 кВт и частотой вращения $n_c = 700$ об/мин.

Труба карданного вала рассчитывается на прочность и жесткость.

Напряжение кручения трубы под действием моментов:

$$\tau_k = M / W_\tau, \quad (4)$$

где W_τ - полярный момент сопротивления трубы

$$W_\tau = \pi \cdot (D^4 - d^4) / 16 \cdot D \quad (5)$$

$$W_\tau = 3,14 \cdot (0,08^4 - 0,064^4) / 16 \cdot 0,08 = 0,000059 \text{ м}^3 \cdot \text{г}$$

$$\tau_k = 121,7 / 0,000059 = 1559322 \text{ Н/м}^2$$

«Под критическим числом оборотов карданного вала понимают число оборотов, при котором происходит потеря устойчивости прямолинейной формы оси вращающегося вала, и возникают изгибные колебания. Таким образом, чтобы избежать потери устойчивости карданного вала, максимальное число его оборотов должно быть меньше критического числа оборотов. Для полого карданного вала, концы которого не заземлены, критическое число

оборотов может быть определено по формуле, в которой принимается, что на все длине карданный вал имеет постоянное сечение.» [14]

$$n_{кр} = 1.185 * 10^7 * \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{L^2}, \quad (6)$$

где D - наружный диаметр карданного вала, в см,

d - внутренний диаметр трубы, в см,

L - расстояние между центрами карданов, в см

При наличии промежуточной опоры для L берут расстояние между центром кардана и центром промежуточной опоры.

«Теоретическое значение критического числа оборотов, подсчитано по приведенной выше формуле, должно быть выше максимального числа оборотов при эксплуатации (например, при движении с горы или накатом, когда число оборотов карданного вала может быть выше числа оборотов по двигателю).» [14]

$$n_{кр} = 1,185 \cdot 10^7 \cdot (\sqrt{8,0^2 + 6,4^2} / 31) = 39623 \text{ об/мин.}$$

В результате анализа функциональных требований и эксплуатационных характеристик выявлены ключевые критерии к стенду для обкатки двигателей: надежность, универсальность по типоразмерам ДВС, точность измерений и энергоэффективность.

Сравнительный анализ четырех аналогов продемонстрировал, что конструкция стенда КС 276-04 обладает наилучшим сочетанием технических и экономических показателей: простота монтажа, модульность, автоматизированное управление режимами и возможность оперативной переналадки.

Разработанная конструкция стенда предусматривает:

- жесткую раму с демпфирующими элементами для минимизации вибраций;
- систему жидкостного охлаждения рабочего барабана и испытуемого двигателя;
- интеграцию датчиков давления, температуры и крутящего момента для круглосуточного мониторинга;
- цифровой пульт управления с возможностью записи и обработки больших объемов данных.

Проведенный расчет прочности основных узлов и гидравлической схемы подтвердил запас надежности не менее 1,5 при максимальной нагрузке и допустимых гидродинамических расходах. Модульная архитектура стенда обеспечивает быструю адаптацию под двигатели различных типоразмеров, что сокращает технологические простои при смене испытательной программы. Реализация автоматизированной системы управления и сбора данных позволит повысить точность замеров до $\pm 0,5\%$ и снизить трудозатраты на проведение обкатки до 30%. На основе полученных результатов и выполненных расчетов подготовлена техническая документация для изготовления опытного образца стенда и проведения пуско-наладочных работ.

4 Технологический процесс обкатки двигателя на разработанном стенде

4.1 Условия работы агрегата

«Двигатель автомобиля – сложный механизм, включающий в себя множество различных механизмов, выполняющих различные функции, но работающих как единое целое. Это и система питания, система газораспределения, кривошипно-шатунный механизм и т.д. Если двигатель легкового автомобиля работает в относительно ненагруженных условиях, то двигатель автобуса работает в условиях, приближенных к экстремальным.» [15]

«В первую очередь это относится к тому, что удельная мощность (отношение мощности двигателя к массе автомобиля) выше у легкового автомобиля, поэтому даже при работе в равных дорожных условиях степени загрузки у автомобильных двигателей грузового и легкового автомобиля несопоставимы. Отсюда – большой износ деталей двигателя, и, соответственно, меньший ресурс.» [14]

«Во-вторых, большое значение имеют условия хранения автомобиля. Если на предприятии имеется возможность организации отапливаемой стоянки легкового автомобиля, либо возможность постановки его в гараж, то размещение и организация отапливаемых стоянок для грузовых автомобилей в условиях России сопряжена с определенными трудностями. Следовательно, происходит перемерзание двигателя, для его запуска водитель вынужден применять подогрев для уменьшения вязкости масла в картере и снижения величины крутящего момента при запуске двигателя. Зачастую этих мер недостаточно, поэтому происходит пуск перемерзшего двигателя, однако известно, что запуск холодного двигателя зимой эквивалентен приблизительно 200 км пробега, при подобном запуске идет особенно интенсивный износ. Как вариант при отсутствии системы обогрева двигателя

и трансмиссии на стоянке применяется режим непрерывной работы двигателя при постановке автомобиля на стоянку, что также неблагоприятно сказывается на величине ресурса двигателя.» [15]

«В третьих, работа двигателя автомобиля сопряжена с неблагоприятными дорожными условиями, они вынуждены подолгу находиться в условиях повышенной запыленности воздуха. Плотность пыли настолько высока, что даже многоступенчатая фильтрация воздушного потока неспособна обеспечить достаточно качественную очистку воздуха. Пыль, попадая внутрь двигателя и оседая на трущихся деталях, действует подобно частицам абразива, что вызывает интенсивный износ трущихся поверхностей и снижает ресурс двигателя. Работа летом, при низких скоростях движения также способствует перегреву двигателя, что в свою очередь способно вызвать коробление отдельных деталей двигателя, привести к возникновению остаточных напряжений на отдельных деталях и в конечном итоге способствовать развитию усталостных трещин.» [15]

Двигатель автомобиля – агрегат, работающий в условиях экстремальных температур и нагрузок. Следовательно, залогом длительной его эксплуатации в послеремонтный период может являться гарантия качественного ремонта и послеремонтной приработки отдельных деталей. Именно с этой целью проводятся работы, направленные на обеспечение притирания деталей и снижения усиленного износа в послеремонтный период эксплуатации

4.2 Разработка технологии обкатки двигателя

В соответствии с технологией проведения ремонтных работ составим технологию процесса обкатки двигателя грузового автомобиля, на примере двигателя ЯМЗ, широко используемого на грузовых автомобилях КамАЗ.

Диаграмма процесса износа трущихся поверхностей и схематичное представление этого процесса изображено на рисунке 6.

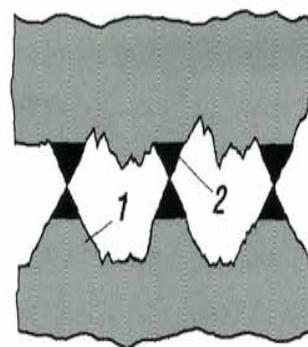
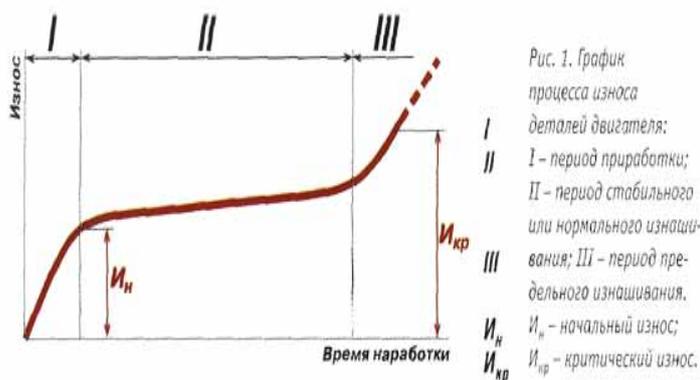


Рис. 2. Микроиспаривание вершин неровностей на поверхностях деталей.
 1 – технологические неровности;
 2 – зоны микроиспаривания и растворения металлов

Рисунок 6 – Диаграмма процесса износа трущихся поверхностей и схематичное представление этого процесса

«Любая механическая обработка оставляет технологические неровности на рабочих поверхностях трущихся деталей. При перемещении их относительно друг друга создаются условия, благоприятные для микроиспаривания поверхностей. Это явление усугубляется при больших скоростях взаимного скольжения и особенно под воздействием высоких нагрузок и температур. При дальнейшем перемещении поверхностей микроиспаривание может или разрушиться в том же самом месте или в другом, тогда часть материала перенесется с одной поверхности на другую. Последствия этого явления называют «прихватом». Если разрушения места сварки не произошло, то подвижность деталей теряется, происходит «заклинивание»» [15]

«Другими словами, поверхность любой детали двигателя в большей или меньшей степени будет напоминать множество вершин или целых ряд с острыми пиками, на которых и будет происходить микроиспаривание. Для снижения износа в период приработки и, следовательно, для удлинения периода стабильного или нормального изнашивания (ресурс двигателя), необходимо сгладить эти вершины. Это и происходит во время обкатки (рисунок 7). А чтобы не допустить прихвата, не следует подвергать обкатываемые детали большой нагрузке и проводить обкатку на высоких

скоростях. Естественно, что при повышенной сопротивляемости взаимному перемещению режим обкатки будет сопровождаться высокими механическими потерями. Это приведет к повышенному расходу топлива и масел, снижению динамики и потере мощности. В конце обкатки наступает стабилизация параметров двигателя. Причем произойти это может при различных значениях износов и эффективных показателей, а от этого зависят дальнейшие эксплуатационные качества мотора, т.е., в конечном счете, они определяются правильностью проведения обкатки.» [14]



Рисунок 7 – Последствия износа поршня при несоответствии типа смазки, рекомендуемой производителем двигателя

«Что касается способов приработки, то здесь можно говорить о режимах холодной и горячей обкатки. Холодная обкатка заключается в том, что двигатель принудительно прокручивается определенное время с заданной

частотой. При этом мы исключаем фактор негативного теплового воздействия, присущего «горячей» обкатке. Это воздействие особенно сказывается именно в водно-моторной технике, поскольку неравномерный прогрев элементов двигателя приводит соответственно к неравномерности тепловых зазоров между трущимися деталями. Именно поэтому огромное внимание при разработке двигателя производители уделяют строго определенному распределению температур по поверхности блока цилиндров. При горячей обкатке сказывается еще и разница в величине теплового зазора прогретого двигателя относительно холодного.

Правильная обкатка потребует соблюдения строго определенного режима смазки двигателя и выполнения скоростных, нагрузочных и временных требований. Четырехтактные подвесные и стационарные двигатели обкатываются практически так же, как и автомобильные.

Что касается масла, применяемого при обкатке двигателя, то всегда следует заливать то масло, которое указано производителем. Как правило, двигатели обкатываются на том моторном масле, которое рекомендовано и для дальнейшего использования.» [15]

«Отличие этого масла заключается в содержании специальных хлоро- и фосфоросодержащих присадок, реагирующих на повышение температуры в местах микросваривания и растворяющих контактирующие металлы. К тому же применение высококачественных обкаточных масел позволяет несколько снизить чистоту обработки поверхности обкатываемых деталей, а следовательно, и их стоимость. Использовать специальные обкаточные присадки не рекомендуется. Это может вызвать некоторые сложности при решении гарантийных вопросов. Частая смена масла в период обкатки, наоборот, приветствуется. При этом крайне важно только одно: точно знать, где залито обкаточное масло, а где нет, и менять его на аналогичное.» [14]

В результате выполнения работ по разработке технологии обкатки двигателя достигнуты следующие ключевые результаты.

Определены целевые показатели обкатки: допустимые значения расхода масла, температурный режим цилиндров и головки блока, динамика нарастания нагрузки с учётом допускаемых механических напряжений и износа уплотняющих элементов. Сформирована поэтапная программа обкатки, включающая:

- предварительную проверку герметичности компрессионных и маслосъёмных колец;
- низконагрузочный режим при минимальных оборотах (прогрев, приработ-ка поверхностей);
- ступенчатое повышение оборотов и нагрузок до номинальных с фиксированием контрольных параметров;
- выдержки под статической нагрузкой для стабилизации рабочих зазоров.

Разработаны процедуры регулировки впускной системы, системы смазки и охлаждения в процессе обкатки с автоматизированным сбором телеметрии (температура блоков, давление масла, крутящий момент). Установлены критерии приёмо-сдаточных испытаний: стабильность крутящего момента в заданном диапазоне оборотов, отсутствие выбросов продуктов износа в масло, соответствие выбросов CO₂, CH и NO_x нормативам. Проработаны технологические инструкции и карты контроля качества для операторов стенда обкатки двигателя, что обеспечивает повторяемость и статистическую воспроизводимость результатов обкатки.

Таким образом, разработанная технология обкатки гарантирует достижение эксплуатационной надёжности и долговечности двигателя за счёт оптимизации режимов приработки, системного контроля ключевых параметров и строгого соблюдения технологических регламентов.

5 Расчет себестоимости нормо-часа работ участка лаборатории исследования силовых установок на альтернативных источниках энергии

5.1 Описание участка и производимых работ

Испытательный участок лаборатории исследования силовых установок на альтернативных источниках энергии представляет собой комплекс специально оборудованных стендов и вспомогательных систем, предназначенных для всесторонней проверки, наладки и оптимизации электро-, гибридных и водородных приводов, а также двигателей, работающих на биотопливе или синтез-газах. Ниже приводятся его основные структурные элементы и виды работ.

Общая схема участка включает в себя следующие элементы.

- испытательный участок с антивибрационным фундаментом для установки двигателей и электромоторов;
- комната управления стендом и сбора данных, изолированная от шумов и вибраций;
- зона подготовки топлива (баковые стенды для биотоплива, система подачи и кондиционирования газов — метана, водорода, СО-смесей);
- система безопасности: газоанализаторы, дымо- и детекторы водорода, система вентиляции и пенной пожаротушения.

На участке размещается следующее оборудование.

- обкаточный стенд, оснащенный динамическим тормозом (индукционный или постоянного тока) мощностью до нескольких сотен кВт для создания нагрузочных режимов;
- блоки управления приводами (инвертер, контроллеры) с возможностью гибкой эмуляции редуктора и нагрузки;

- система сбора данных (DAQ) с многоканальными модулями напряжения, тока, температуры, давления, оборотов, частоты и геометрии волн;

- газоанализаторы (NO_x, CO, CO₂, углеводороды, H₂), оптические пирометры и тепловизоры для контроля температурных полей;

- киловатт-час анализаторы мощности, осциллографы, вольт- и амперметры с высокой точностью измерений;

На участке проводятся следующие типы испытаний и технологические операции.

Формирование карты крутильных характеристик и КПД.

- получение двумерных «карт» (мощность/крутящий момент vs. обороты);

- измерение электрической и механической эффективности по разности входных–выходных параметров.

Результатами исследовательских работ на испытательном участке являются: оптимальные карты режимов, спецификации на компонентную базу, подтверждённые показатели надёжности и экологичности, а также алгоритмы управления, готовые к внедрению в опытные образцы и серийные образцы силовых установок на альтернативных источниках энергии.

5.2 Расчет затрат на расходные материалы, используемые на участке исследования силовых установок

К расходным материалам относят различные материалы и малоценные быстроизнашивающиеся изделия, используемые в работе участка. В работе принимаем их количество, усредненное в годовом исчислении. Перечень материалов приводится в таблице 6.

Таблица 6 – Расходные материалы участка

Наименование материалов	Используемое количество	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Прокат стальной в ассортименте, кг	7500	75	562 500
Металл листовой в ассортименте	7500	73	547 500
Вода технологическая, м ³	1200	5,0	6 000
Герметик силиконовый, кг	25	1750	43 750
Крепеж в ассортименте	25	250	6 250
Масло моторное, л	400	650	260 000
Обтирочный материал, кг	75	50	3 750
Прочее	-	-	15 000
ИТОГО			1 723 100

Расчет количества расходных материалов производится по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^m V_M^i \cdot C_M^i \quad (7)$$

где V_M^m – используемое количество m -ного вида материала, ед.;

C_M^m – цена за единицу m -ного вида материала, руб.

5.3 Расчет затрат на амортизационные отчисления на участке исследования силовых установок

Расчет амортизационных отчислений на участке производится для учета износа оборудования, используемого в процессе сборки. Амортизация отражает постепенное перенесение стоимости основных средств на себестоимость выпускаемой продукции. Существует несколько методов расчета амортизации, и выбор конкретного метода зависит от учетной

политики предприятия. В нашем случае будет применен линейный метод, как наиболее простой метод, при котором годовая сумма амортизации рассчитывается путем деления первоначальной стоимости на срок полезного использования.

«Срок полезного использования устанавливается для каждого объекта основных средств индивидуально, исходя из ожидаемого срока его эксплуатации, с учетом физического и морального износа. Срок полезного использования определяется в соответствии с Классификацией основных средств, включаемых в амортизационные группы.» [9]

Для расчета общей суммы амортизационных отчислений на сборочном участке необходимо рассчитать амортизацию для каждого объекта основных средств, используемого на участке, и затем суммировать полученные значения.

Расчет амортизационных отчислений на оборудование участка приводится в таблице 7.

Таблица 7 – Амортизационные отчисления участка

Наименование оборудования	Марка	Стоимость, руб	Число единиц оборудования	Норма отчислений, %	Отчисления, руб
Стенд контроля тормозных систем	МАНА	3 500 000	1	14,3	2 002 000
Мощностной стенд (тяговых качеств)	JET BD-11G	3 700 000	1	10,5	388 500
Прибор контроля суммарного люфта в сочленениях рулевого управления	VISPR-M FVV-210 38301300	2 800 000	1	10,5	294 000
Прибор для проверки внешних световых приборов	2M112	275 000	1	14,3	39 325
Газоанализатор-дымомер	ПГ-10000	75 000	1	14,3	10 725
Стенд контроля амортизаторов	75-256	150 000	1	10,0	15 000

Продолжение таблицы 7

Универсальный прибор для проверки тахографов, спидометров, тахометров, таксометров, часов.	Aurora PR· INTER TIG 200 AC/DC PULSE Mosfet	95 000	2	10,0	19 000
Комплекс компьютерной диагностики двигателя с комплектом накладных датчиков для топливопроводов Ø 4,5 мм, 6 мм и 7 мм	б/н	125 000	2	8,0	20 000
Устройство для проверки углов установки передних колес	Сорокин	25 000	8	14,5	29 000
Устройство вывода выхлопных газов	Grac·	35 000	1	10,0	3 500
Подъемник двухстоечный	Сорокин	650 000	1	15,0	97 500
ИТОГО					2 918 550
Амортизация площади участка		$A_{пл} = \frac{S_{пл} * Ц_{пл} * Н_{а}}{100}$ $A_{пл} = \frac{160 * 15000 * 2,5}{100}$			60 000
ИТОГО					2 978 550

Важно учитывать, что в зависимости от выбранного метода начисления амортизации и учетной политики предприятия, расчет может отличаться. Необходимо руководствоваться действующим законодательством и внутренними положениями организации.

5.4 Расчет затрат на электрическую энергию на участке исследования силовых установок

Расчет затрат на электроэнергию на участке включает в себя несколько этапов и зависит от потребляемой мощности оборудования, режима его работы и тарифов на электроэнергию. В процессе передачи и распределения

электроэнергии возникают потери. Величина потерь зависит от состояния электросети и может составлять от 5% до 15%. Для расчета затрат необходимо учесть эти потери, умножив суммарное потребление электроэнергии на коэффициент потерь.

Стоимость электроэнергии рассчитывается исходя из установленных тарифов. Тарифы могут быть дифференцированными в зависимости от времени суток, дня недели и объема потребления.

Расчет затрат на электроэнергию рассчитывается по формуле

$$\text{Эл} = \sum_{i=1}^m \frac{M_i \cdot T_{\text{маш}}^i \cdot K_{\text{од}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{п}} \cdot \text{Ц}_{\text{э}}}{\eta_i \cdot 60} \quad (8)$$

где M_i – потребляемая электрическая мощность единицы оборудования, кВт;

$T_{\text{маш}}^i$ – годовой фонд машинного времени работы оборудования, ч;

« $K_{\text{од}}$ – коэффициент одновременной работы электродвигателей;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент загрузки двигателей по мощности;

$K_{\text{в}}$ - коэффициент загрузки двигателей по времени;

$K_{\text{п}}$ – коэффициент потерь в сети;

$\text{Ц}_{\text{э}}$ – цена за электроэнергию, руб/кВт;

КПД – электрический КПД единицы оборудования» [9]

Расчет затрат на электроэнергию приводится в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет затрат на электроэнергию участка сборки.

Наименование оборудования	Марка	Мощность, кВт	Число единиц оборудования	КПД	Сумма, руб
Стенд контроля тормозных систем	ПЛ-350	2,0	1	0,8	3 325,14
Мощностной стенд (тяговых качеств)	PRN-320	3,5	1	0,8	5 819,00

Продолжение таблицы 8

Прибор контроля суммарного люфта в сочленениях рулевого управления	JET BD-11G	7,5	1	0,7	14 250,60
Прибор для проверки внешних световых приборов	VISPR-M FVV-210 38301300	5,5	1	0,7	10 450,44
Газоанализатор-дымомер	2M112	1,2	1	0,65	2 455,49
Стенд контроля амортизаторов	ПГ-10000	0,5	1	0,8	831,29
Универсальный прибор для проверки тахографов, спидометров, тахометров, таксометров, часов.	75-256	0,75	1	0,8	1 246,93
Устройство для проверки углов установки передних колес	Aurjra PR-INTER TIG 200 AC/DC PULSE Mjsfet	6,5	2	0,7	24 701,04
Устройство вывода выхлопных газов	Grac	0,5	1	0,85	782,39
Подъемник двухстоечный	Сорокин	4,5	1	0,85	7 041,47
ИТОГО					70 903,77

Расход на электроэнергию на освещение помещения рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{св} = \frac{M_{св} \cdot n \cdot T \cdot K_{од} \cdot K_{г} \cdot K_n \cdot Ц_{э}}{\eta} \quad (9)$$

$$\mathcal{E}_{св} = \frac{0,25 \cdot 65 \cdot 2440 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 1,04 \cdot 4,5}{0,8} = 111337,2$$

Общие расходы на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_л + \mathcal{E}_{св} \quad (10)$$

$$\mathcal{E} = 70 903,77 + 111 337,2 = 182 240,97 \text{ руб}$$

Для более точного расчета затрат на электроэнергию рекомендуется использовать данные счетчиков электроэнергии. При планировании бюджета следует учитывать возможное изменение тарифов на электроэнергию. Внедрение энергосберегающих технологий может помочь снизить затраты на электроэнергию.

Выполненный расчет демонстрирует базовые навыки калькуляции издержек, в реальных условиях могут быть дополнительные факторы, которые необходимо учитывать. Для получения более точной информации следует обратиться к специалистам по энергетике.

5.5 Расчет затрат на заработную плату персонала

Расчет затрат на заработную плату рабочих на участке включает несколько составляющих и зависит от системы оплаты труда, количества рабочих, их квалификации и других факторов. Основная заработная плата рассчитывается путем умножения тарифной ставки на количество отработанных часов.

«Важным фактором при расчете заработной платы является учет налогов и отчислений. К ним относятся налог на доходы физических лиц и страховые взносы в Пенсионный фонд и Фонд обязательного медицинского страхования.

После вычета налогов и отчислений заработная плата снижается. В среднем, налоговые вычеты составляют около 13% от заработной платы. Расчет заработной платы на сборочном участке – это сложный и ответственный процесс, который должен быть выполнен в соответствии с законодательством. Правильный расчет позволяет обеспечить справедливую оплату труда работников и сохранить высокую мотивацию на рабочем месте.»

[18]

Расчет заработной платы персонала приводится в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет заработной платы персонала на участке

Вид персонала	Численность персонала, чел	Часовая тарифная ставка, руб	Годовой фонд рабочего времени, чел/час	Сумма, руб
Слесарь-механик 5-го разряда	12	350	1840	9 660 000,00
Мастер участка	2	470	1840	2 162 000,00
ИТОГО				11 725 700,00

Дополнительная зарплата работников на участке рассчитывается по формуле:

$$\text{Дзп} = \text{Озп} \cdot \text{Кд} / 100, \quad (11)$$

где «Кд - коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату, Кд = 8%.» [18]

$$\text{Дзп} = 11\,725\,700,00 \cdot \frac{8}{100} = 1\,810\,056 \text{ руб}$$

«Важным фактором при расчете заработной платы является учет налогов и отчислений. К ним относятся налог на доходы физических лиц и страховые взносы в Пенсионный фонд и Фонд обязательного медицинского страхования. Расчет затрат на страхование приводится в формуле.» [18]

$$\text{О}_{\text{ФМС}} = (\text{Озп} + \text{Дзп}) \cdot \text{Ксоц}, \quad (12)$$

где «Ксоц – норма отчислений на страховые взносы, Ксоц = 0,3.» [18]

$$\text{О}_{\text{ФМС}} = (22\,625\,700 + 1\,810\,056) \cdot 0,3 = 7\,330\,726,8 \text{ руб}$$

Затраты на оплату труда определяются как сумма затрат на основную, дополнительную зарплату и затраты на страховые взносы.

$$O_T = O_{Зп} + D_{Зп} + O_{ФМС}, \quad (13)$$

$$O_T = 22\,625\,700 + 1\,810\,056 + 7\,330\,726,8 = 31\,766\,482,8 \text{ руб}$$

Суммарные издержки на участке сборки складываются по совокупности затрат, рассчитанных выше. Сводная калькуляция затрат приводится в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на участке диагностики

Наименование статьи затрат	Сумма	Доля затрат, %
Расходные материалы участка	1 723 100	3,30
Амортизационные отчисления участка	2 978 550	5,71
Общие расходы на электроэнергию	182 240,97	0,35
Затраты на оплату труда	31 766 482,8	60,91
Расходы на административно-управленческий персонал	15 500 000	29,72
ИТОГО	49 171 823,77	100

Стоимость нормо-часа рассчитывается по формуле 10.

$$НЧ = C_{\text{общ}} / T_{\text{уч}}, \quad (14)$$

где « $C_{\text{общ}}$ – сумма общих затрат на участке, руб

$T_{\text{уч}}$ – фонд рабочего времени составит для участка сборки, чел-ч,» [18]

$$\text{НЧ} = 49\,171\,823,77 / 57\,500 = 855,16 \text{ руб}$$

В экономическом разделе была проведена работа по определению себестоимости нормо-часа на участке испытаний в рамках предсерийной подготовки производственного процесса с целью обоснования экономической эффективности проекта. Расчет себестоимости нормо-часа выполнен калькуляционным методом с учетом всех статей затрат, связанных с работой испытательного участка. Основными статьями затрат являются заработная плата основных производственных рабочих (60,91%), отчисления на социальные нужды (15%), расходы на административно-управленческий персонал (29,72%) и амортизационные отчисления участка (5,71%). Остальные расходы приходятся на цеховые и общезаводские расходы. В результате расчетов определена себестоимость нормо-часа на участке сборки, которая составила 855,16 рублей. Полученное значение себестоимости нормо-часа обусловлено прежде всего высокой стоимостью специализированного оборудования и высокой квалификацией рабочих. Рассчитанное значение себестоимости нормо-часа будет использовано для определения экономической эффективности проекта.

Заключение

В условиях истощения традиционных углеводородных ресурсов и ужесточения экологических требований всё более важной становится разработка и внедрение альтернативных источников энергии. Одним из перспективных направлений является использование разнообразных видов топлив и энергоносителей (биотопливо, водород, синтетические газы и др.) в двигателях внутреннего сгорания (ДВС), превращённых при необходимости в гибридные или автономные силовые установки. Надёжная оценка работы таких ДВС требует создания специализированного испытательного стенда, способного моделировать реальные режимы и обеспечивать точный сбор данных о мощности, экономичности и экологичности.

Испытательный участок лаборатории исследования силовых установок на альтернативных источниках энергии представляет собой комплекс специально оборудованных стендов и вспомогательных систем, предназначенных для всесторонней проверки, наладки и оптимизации электро-, гибридных и водородных приводов, а также двигателей, работающих на биотопливе или синтез-газах.

В результате проведённых расчётов испытательного участка были достигнуты следующие результаты в рамках поставленных задач на выполнение ВКР. Подбор оборудования выполнен с учётом технологического нормирования, типов ремонтируемых машин и объёма работ. Предложенные испытательные стенды, подъёмники и вспомогательные устройства обеспечивают требуемую пропускную способность и надёжность эксплуатации, что позволит минимизировать простои и повысить качество обслуживания. Численность производственного персонала рассчитана на основе нормативов времени на операции и планового выпуска работ. Полученные значения отвечают требованиям оптимизации затрат на оплату труда и гарантируют соблюдение установленных сроков ремонта без излишнего штата.

Площадь участка определена с учётом эргономики рабочих мест, проходов для обслуживания оборудования и складских зон. Достаточный запас площади обеспечит удобство технологии ремонта, соблюдение норм безопасности и возможность оперативного расширения при увеличении объёма работ.

В результате сравнительного анализа четырёх образцов стендов для обкатки двигателей внутреннего сгорания по ключевым критериям (технические характеристики, функциональность системы управления, уровень автоматизации, энергоэффективность, безопасность эксплуатации и стоимость жизненного цикла) конструкция стенда КС 276-04 признана наиболее прогрессивной и отвечающей задачам модернизации испытательного участка.

Стенд КС 276-04 обеспечивает широкий диапазон регулировки частоты вращения и нагрузки, что позволяет моделировать реальные режимы работы двигателя с высокой точностью. Современная цифровая система контроля и управления выполняет функции сбора и обработки данных в реальном времени, интегрируется в единую информационную сеть лаборатории и поддерживает удалённый доступ. Наличие многоуровневых систем аварийной остановки, межблочных защит, автоматизированного мониторинга температуры и вибрации гарантирует надёжность и чистоту экспериментов при минимальном участии оператора.

На основании проведённого анализа и с учётом стратегических целей по внедрению современных испытательных технологий на площадке рекомендуется принять в качестве базового оборудования для обкатки двигателей внутреннего сгорания стенд КС 276-04.

В результате анализа функциональных требований и эксплуатационных характеристик выявлены ключевые критерии к стенду для обкатки двигателей: надёжность, универсальность по типоразмерам ДВС, точность измерений и энергоэффективность.

Разработанная конструкция стенда предусматривает:

- жесткую раму с демпфирующими элементами для минимизации вибраций;
- систему жидкостного охлаждения рабочего барабана и испытуемого двигателя;
- интеграцию датчиков давления, температуры и крутящего момента для круглосуточного мониторинга;
- цифровой пульт управления с возможностью записи и обработки больших объемов данных.

Проведенный расчет прочности основных узлов и гидравлической схемы подтвердил запас надежности не менее 1,5 при максимальной нагрузке и допустимых гидродинамических расходах. Модульная архитектура стенда обеспечивает быструю адаптацию под двигатели различных типоразмеров, что сокращает технологические простои при смене испытательной программы. Реализация автоматизированной системы управления и сбора данных позволит повысить точность замеров до $\pm 0,5\%$ и снизить трудозатраты на проведение обкатки до 30%. На основе полученных результатов и выполненных расчетов подготовлена техническая документация для изготовления опытного образца стенда и проведения пуско-наладочных работ.

В результате выполнения работ по разработке технологии обкатки двигателя достигнуты следующие ключевые результаты.

Определены целевые показатели обкатки: допустимые значения расхода масла, температурный режим цилиндров и головки блока, динамика нарастания нагрузки с учётом допускаемых механических напряжений и износа уплотняющих элементов. Сформирована поэтапная программа обкатки, включающая:

- предварительную проверку герметичности компрессионных и маслосъёмных колец;
- низконагрузочный режим при минимальных оборотах (прогрев, приработка поверхностей);

- ступенчатое повышение оборотов и нагрузок до номинальных с фиксированием контрольных параметров;
- выдержки под статической нагрузкой для стабилизации рабочих зазоров.

Разработаны процедуры регулировки впускной системы, системы смазки и охлаждения в процессе обкатки с автоматизированным сбором телеметрии (температура блоков, давление масла, крутящий момент). Установлены критерии приёмо-сдаточных испытаний: стабильность крутящего момента в заданном диапазоне оборотов, отсутствие выбросов продуктов износа в масло, соответствие выбросов CO₂, CH и NO_x нормативам. Проработаны технологические инструкции и карты контроля качества для операторов стенда обкатки двигателя, что обеспечивает повторяемость и статистическую воспроизводимость результатов обкатки.

В экономическом разделе была проведена работа по определению себестоимости нормо-часа на участке испытаний в рамках предсерийной подготовки производственного процесса с целью обоснования экономической эффективности проекта. Расчет себестоимости нормо-часа выполнен калькуляционным методом с учетом всех статей затрат, связанных с работой испытательного участка. Основными статьями затрат являются заработная плата основных производственных рабочих (60,91%), отчисления на социальные нужды (15%), расходы на административно-управленческий персонал (29,72%) и амортизационные отчисления участка (5,71%). Остальные расходы приходятся на цеховые и общезаводские расходы. В результате расчетов определена себестоимость нормо-часа на участке сборки, которая составила 855,16 рублей. Полученное значение себестоимости нормо-часа обусловлено прежде всего высокой стоимостью специализированного оборудования и высокой квалификацией рабочих. Рассчитанное значение себестоимости нормо-часа будет использовано для определения экономической эффективности проекта.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Беломестных, В. А. Ремонт транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования : учебное пособие / В. А. Беломестных, А. И. Аносова, С. В. Агафонов. — Иркутск : Иркутский ГАУ, 2022. — 192 с.
2. Волков, В. С. Конструкция автомобиля : учебное пособие / В. С. Волков. — Воронеж : ВГЛТУ, 2020. — 188 с.
3. Головин, С. Ф. Технический сервис транспортных машин и оборудования [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. Ф. Головин. - Москва : ИНФРА-М, 2020. - 282 с. - (Высшее образование. Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-011135-3
4. Демин, Н.П. Организация процесса диагностики при проведении операций технического обслуживания. – М.: Транспорт, 2017.
5. Казыбаев, О.А. Проектирование узлов машин и оснастки : учеб. пособие для студентов техн. спец. вузов / О.А Казыбаев, О. П. Иванов. - Астана : Техника, 2020. - 447 с. : ил.
6. Кибанов, А. Я. Проектирование функциональных взаимосвязей структурных подразделений производственного объединения (предприятия) [Электронный ресурс] / А. Я. Кибанов, Т. А. Родкина. - М. : МИУ им. С. Орджоникидзе, 2021
7. Коханов, В. Н. Безопасность жизнедеятельности : учебник / В.Н. Коханов, В.М. Емельянов, П.А. Некрасов. — М. : ИНФРА-М, 2022. — 400 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-100439-5.
8. Лукаш, Ю. А. Экономические расчеты в бизнесе [Электронный ресурс] : большое практ. справ. пособие / Ю. А. Лукаш. - Москва : Флинта, 2022. - 210 с. - ISBN 978-5-9765-1369-3.
9. Основы конструкции и содержания автомобиля. История создания. Классификация и общая конструкция. Двигатель внутреннего сгорания : учебное пособие / А. П. Болштянский, В. Е. Щерба, Е. А. Лысенко, А. С.

Тегжанов. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2023 — Книга 1 — 2023. — 292 с. — ISBN 978-5-9729-1408-1.

10. Основы технического проектирования предприятий автомобильного транспорта. Под ред. М.М. Началова.- Минск.: Адукацыя і выхаванне, 2022.

11. Пантелеева, Е. В. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е. В. Пантелеева, Д. В. Альжев. — Москва : ФЛИНТА, 2013. — 286 с. - ISBN 978-5-9765-1727-1.

12. Петин, Ю. П. Технологическое проектирование предприятий автомобильного транспорта : учебно-методическое пособие / Ю. П. Петин, Г. В. Мураткин, Е. Е. Андреева. — Тольятти : ТГУ, 2013. — 103 с.

13. Проектирование предприятий автомобильного транспорта : учебно-методическое пособие / составитель М. С. Льянов. — Владикавказ : Горский ГАУ, 2023. — 160 с.

14. Радин, Ю. А. Справочное пособие авторемонтника / Ю. А. Радин, Л. М. Сабуров, Н. И. Малов. - Москва : Транспорт, 2023. - 285 с. : ил. - Библиогр.: с. 277. - Предм. указ.: с. 278-278. - ISBN 5-277-00094-1 : 28-80.

15. Савич, Е. Л. Организация сервисного обслуживания легковых автомобилей [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е. Л. Савич, М. М. Болбас, А. С. Сай ; под ред. Е. Л. Савич. - Минск : Новое знание, 2017 ; Москва : ИНФРА-М , 2017. - 160 с. : ил. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-005681-4.

16. Тахтамышев, Х.М. Основы технологического расчета автотранспортных предприятий: Учебное пособие / Тахтамышев Х.М., - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019

17. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учебник / В. М. Власов [и др.] ; под ред. В. М. Власова. - Гриф МО. - Москва : Academia, 2003. - 477 с. : ил. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 473. - Прил.: с. 421-472. - ISBN 5-7595-1150-8 : 191-82.

18.Федотов, Е. С. Системы, технологии и организация услуг автомобильного сервиса : учебное пособие / Е. С. Федотов, П. А. Поляков. — Краснодар : КубГТУ, 2023. — 299 с. — ISBN 978-5-8333-1246-9.

19.Халтурин Д.В., Испытание автомобилей и тракторов : практикум / Д.В. Халтурин, Н.И. Финченко, А.В. Давыдов - Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. - 172 с. (Серия "Учебники ТГАСУ") - ISBN 978-5-93057-791-4 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930577914>

20.Чернова, Е. В. Детали машин : проектирование станочного и промышленного оборудования : учеб. пособие для вузов / Е. В. Чернова. - Москва : Машиностроение, 2021. - 605 с.

21.Якунин Н.Н., Эксплуатация автомобильного транспорта : учебное пособие / Якунин Н.Н., Якунина Н.В. - Оренбург: ОГУ, 2020. - 220 с. - ISBN 978-5-7410-1748-7

22.Denton, Tom Automobile Mechanical and Electrical Systems: 2nd Edition / Tom Denton: Routledge, 2017 – 378p. - ISBN 9780415725781

23.Everyday English For Technical Students (Mechanical engineering, metallurgy and transport department) [Электронный ресурс]/ – Электрон. текстовые данные.– Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021.– 350 с.

24.G. A. Einicke, Smoothing, Filtering and Prediction: Estimating the Past, Present and Future (2nd ed.), Prime Publishing, 2019

25.Milliken, W. F. Race Car Vehicle Dynamics / Premiere Series / R: Society of Automotive Engineers, Том 146 / W. F. Milliken, D. L. Milliken : SAE International, 1995. – 890 p. [8], [9], [10]. – ISBN 1560915269, 9781560915263.

26.Singh, H. Rewat The Automobile: Textbook for Students of Motor Vehicle Mechanics / H. Rewat Singh: S Chand & Co Ltd, 2004 - 532 p.