

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пензенский государственный университет архитектуры и
строительства»**

КАФЕДРА «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Утверждаю:

Зав. кафедрой

Ю.В. Родионов

(подпись, инициалы, фамилия)

число

месяц

год

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпускной квалификационной работе на тему:

«Совершенствование методов и средств диагностирования турбокомпрессоров
(наименование темы)

двигателей мобильной техники ООО «РусТрансСтрой» г. Пенза»

Автор выпускной квалификационной работы _____ **А.В. Бакуров**
подпись инициалы, фамилия

Направление подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов
(наименование)

Обозначение 2069059 – 23.04.03 - 151298-2017 Группа ЭТМК-21м

Руководитель работы _____ Р.Н. Москвин
подпись, дата, инициалы, фамилия

Пенза 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования

«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Утверждаю:
Зав. кафедрой

_____ Ю.В. Родионов
(подпись, инициалы, фамилия)

_____ число _____ месяц _____ год

ЗАДАНИЕ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Студент Бакуров Андрей Витальевич Группа ЭТМК-21м
Тема «Совершенствование методов и средств диагностирования турбокомпрессоров двигателей мобильной техники ООО «РусТрансСтрой» г. Пенза»

утверждена приказом по Пензенскому ГУАС № 06-09-332 от 01. 12. 2016 г.
число месяц год

Срок представления проекта к защите _____
число _____ месяц _____ год

- I. Исходные данные для проектирования
- Данные литературного и патентного обзора
- Технические характеристики существующих конструкций турбокомпрессоров
- Анализ современного состояния рассматриваемого вопроса
- II. Содержание пояснительной записки

Введение

Цель и задачи исследования

1. АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ
2. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ
3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТКР В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ
4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

Общие выводы

Используемая Литература

Руководитель работы _____ Р.Н. Москвин
подпись _____ дата _____ инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению Бакуров Андрей Витальевич _____
(Ф.И.О. студента)

Введение	
Цель и задачи исследования	
1 АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ	
2 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	
2.1 Конструктивные особенности и условия формирования характеристик турбокомпрессоров в условиях эксплуатации.....	
2.2 Анализ причин изменения показателей работоспособности ТКРв эксплуатации	
2.3 Существующие подходы в оценке технического состояния правильного функционирования ТКР в эксплуатации	
2.3.1 Анализ работоспособности ТКР при наличии в работе двигателя признаков «Низкая мощность двигателя», «Черный дым из выхлопной трубы».....	
2.3.2 Анализ работоспособности ТКР при наличии в работе двигателя признака «Синий дым из выпускной трубы».....	
2.3.3 Анализ работоспособности ТКР при наличии в работе двигателя признака «Повышенный расход масла (без синего дыма).....	
2.3.4 Анализ работоспособностиТКР при наличии в работе двигателя признака «Шумная работа турбокомпрессора»	
2.3.5 Анализ работоспособности ТКР при наличии в работе двигателя признаков повышенной теплонапряжённости	
2.4 Обзор методов и средств диагностирования ТКР при ТО и ремонте мобильной техники	
2.5 Цель и задачи исследования	
3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТКР В УСЛОВИЯХ	
3.1 Основные понятия и определения, используемые при теоретических исследованиях	
3.2 Исходные взаимосвязи параметров турбокомпрессора и показателей работы двигателя.....	
3.3 Обоснование границ исправного состояния ТКР.....	
3.4 Обоснование метода выбора диагностируемых параметров правильного функционирования турбокомпрессора в эксплуатации	
3.5 Развитие методов оценки технического состояния турбокомпрессора по параметрам его функционирования	
Выводы по 3 главе.....	
4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ	
Общие выводы	
Литература.....	

Введение

Актуальность темы исследований.

Концепция развития современной техники предполагает увеличение мощности их двигателей при снижении расходов топлива и выбросов в атмосферу продуктов сгорания. Для достижения поставленных целей автотракторные двигатели оснащаются турбокомпрессорами (ТКР), охладителями надувочного воздуха, аккумуляторными системами топливоподачи, электронными элементами управления и встроенными системами самодиагностики.

Система газотурбинного наддува (ГТН) автотракторных дизелей в классическом её конструктивном исполнении состоит из двигателя, турбины и компрессора. Между турбиной и компрессором имеет место механическая связь, а между турбиной и двигателем - газовая. При относительно простой конструктивной схеме и несложном принципе действия ТКР, определение его технического состояния в процессе эксплуатации представляет собой непростую задачу. Неисправности в любом из элементов, постепенно развивающиеся в процессе эксплуатации и внешне заметно не проявляющиеся, на определенных режимах работы могут привести к отказу турбокомпрессора, либо двигателя в целом.

Сложность диагностирования турбокомпрессора определяется многими причинами. Во-первых, показатели эффективности функционирования ТКР в эксплуатации зависят как от технических и режимных характеристик двигателя, так и самого турбокомпрессора. Во-вторых, до сих пор фактически отсутствуют надежные инструментальные средства контроля технического состояния турбокомпрессора в эксплуатации. Определение наиболее информативных функциональных параметров турбокомпрессора, установление их предельных значений, разработка методов и средств их контроля является первостепенным при техническом сервисе двигателей мобильной сельскохозяйственной техники.

Степень разработанности темы.

Проблемой совершенствования методов и средств диагностирования двигателей мобильной техники занимались В. В. Альт, В. И. Бельских, С. Н.

Борычев, Н. В. Бышов, И. И. Баббитов, И. П. Добролюбов, Н. С. Ждановский, Г. Д. Кокорев, А. П. Иншаков, В. В. Лянденбургский, В. М. Михлин, А. В. Николаенко, А. В. Неговора, С. Н. Ольшевский, К. Ю. Скибневский, О. Ф. Савченко, И. А. Успенский и другие. Однако большинство методов диагностирования технического состояния турбокомпрессоров до сих пор недостаточно проработаны, не учитывают в полной мере особенностей их функционирования, отличаются достаточно высокой стоимостью и сложностью применяемого оборудования.

Цель и задачи исследования.

Целью работы является разработка методов и диагностических средств контроля показателей функционирования турбокомпрессоров двигателей мобильной техники.

Для реализации поставленной цели необходимо решить **следующие задачи.**

1. Провести комплексный анализ взаимосвязей оценочных показателей правильного функционирования ТКР, существующих методов и средств их диагностирования.

2. Установить закономерности формирования показателей ТКР и оценить их изменение при характерных неисправностях в системе ГТН.

3. Разработать диагностические средства для безразборной оценки правильного функционирования ТКР в эксплуатации.

4. Дать технико-экономическое обоснование внедрения предложенных мероприятий.

Объект исследований. Функциональные параметры турбокомпрессоров автотракторных двигателей.

Предмет исследования. Закономерности изменения показателей функционирования турбокомпрессоров в эксплуатационных условиях.

Научные положения и результаты.

1. Теоретические взаимосвязи показателей работы двигателя и ТКР, позволяющие производить оценку эффективности функционирования турбокомпрессора в эксплуатации.

2. Методика оценки в эксплуатации технического состояния турбо-

компрессора по его коэффициенту полезного действия .

3. Метод диагностического контроля технического состояния турбокомпрессора в процессе его функционирования по частоте вращения ротора на основе разработанного устройства .

Научная новизна исследования.

1. Изучены аналитические зависимости для определения предельных значений различных показателей функционирования ТКР в эксплуатации

2. Рассмотрены эффективные средства диагностического контроля показателей работы турбокомпрессора в условиях эксплуатации.

1 Анализ деятельности ООО ""РУСТРАНССТРОЙ""

В ходе знакомства с основными организационными документами получены следующие сведения о предприятии.

Организационно - правовая форма предприятия " РУСТРАНССТРОЙ " является общество с ограниченной ответственностью (в тексте именуемая как ООО).

Общество с ограниченной ответственностью зарегистрировано в Железнодорожном районе г. Пензы 19 декабря 2013. Юридический адрес ООО " РУСТРАНССТРОЙ " 440023, ПЕНЗЕНСКАЯ ОБЛ, ПЕНЗА Г, ИЗМАЙЛОВА УЛ, 17 А. Генеральным директором ООО " РУСТРАНССТРОЙ " является Карташов Александр Александрович.

Предприятие является юридическим лицом, имеет самостоятельный баланс, расчетный и иные счета в учреждениях банков.

В своей деятельности предприятие руководствуется Конституцией Российской Федерации, законами и иными нормативно-правовыми актами, действующими на ее территории, и Уставом предприятия.

ООО " РУСТРАНССТРОЙ " от своего имени приобретает имущественные и неимущественные права и несет обязанности, выступает истцом и ответчиком в суде и арбитражном суде в соответствии с действующим законодательством.

В целях удовлетворения общественных потребностей и получения прибыли предприятие осуществляет следующие виды деятельности:

Основной:

52.29 – Деятельность вспомогательная прочая, связанная с перевозками

Дополнительные виды деятельности по ОКВЭД:

45.20 – Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств

49.4 – Деятельность автомобильного грузового транспорта и услуги по перевозкам

52.10 – Деятельность по складированию и хранению

52.21 – Деятельность вспомогательная, связанная с сухопутным транспортом

52.21.24 – Деятельность стоянок для транспортных средств
52.24 – Транспортная обработка грузов
77.31 – Аренда и лизинг сельскохозяйственных машин и оборудования
77.32 – Аренда и лизинг строительных машин и оборудования
77.39.11 – Аренда и лизинг прочего автомобильного транспорта и оборудования

На балансе предприятия стоит следующая техника с дизельными двигателями оснащенными турбокомпрессорами:

- 1.Автобус ПАЗ-320402-05;
- 2.КРАЗ-65032-2шт.;
- 3.Самосвал МОАЗ-75051-2шт.;
- 4.Фронтальный погрузчик АМКОДОР 332 В
- 5.Фронтальный погрузчик ТО-18Б3
- 6.Фронтальный погрузчик CANGLIN 936X
- 7.Фронтальный погрузчик CANGLIN 956X
- 8.ЭкскаваторHyundai R-330
- 9.ЭкскаваторHyundai R-320 -2шт.
- 9.БульдозерZOOMLION ZD-160

2 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Конструктивные особенности и условия формирования характеристик турбокомпрессоров в условиях эксплуатации.

Турбокомпрессор в системе газотурбинного наддува автотракторных двигателей состоит из ротора (рис. 2.1) - вала с колесами турбины и компрессора, подшипников, уплотнений и корпусных деталей. Для вращения турбины используется энергия отработавших газов, воздействующих на ее лопатки. Как правило, ротор устанавливается в подшипниках скольжения специальной «плавающей» конструкции — бронзовая втулка имеет зазор

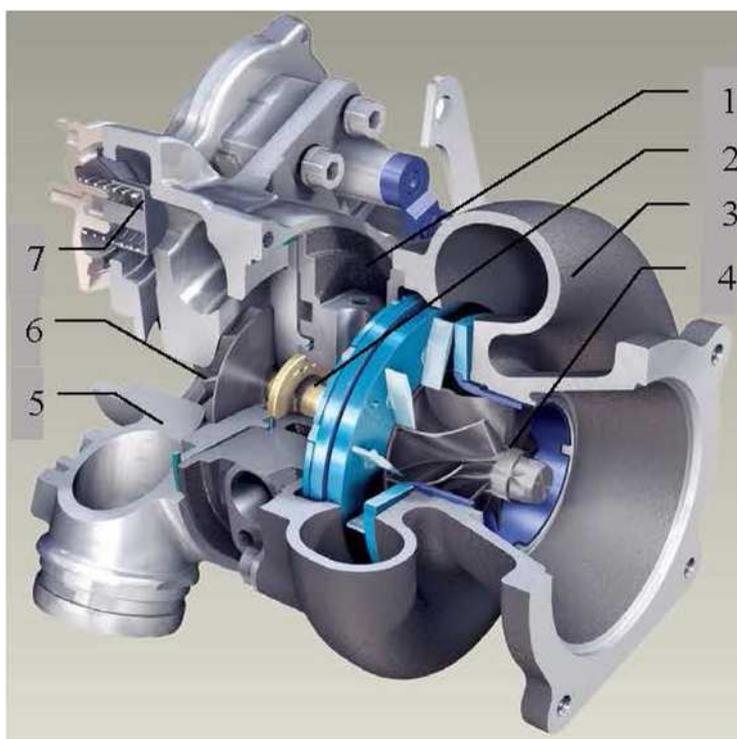


Рисунок 2.1 Схема классического турбокомпрессора в разрезе:

- 1- корпус ТКР;
- 2- вал с подшипниковым узлом;
- 3- корпус турбины;
- 4- турбинное колесо;
- 5- корпус компрессора;
- 6- компрессорное колесо;
- 7- элемент системы управления ТКР.

Каждый зазор составляет величину в несколько сотых долей миллиметра. При этом втулка вращается со скоростью, меньшей, чем вал, обеспечивая тем самым работоспособность подшипника при высоких скоростях вращения. Смазка узлов трения осуществляется моторным маслом, поступающим из двигателя, а герметизация вала обеспечивается торцевыми уплотнениями специальной конструкции. В корпусе турбокомпрессора предусмотрены каналы подвода и слива масла, а у некоторых дизелей - еще и каналы для жидкостного охлаждения .

.Высокий скоростной режим работы турбокомпрессоров значительно ужесточает условия работы, как самого ротора, так и контактирующих с ним

деталей.

Рабочие колеса турбокомпрессоров подвергаются действию центробежных сил и пульсирующего давления газов. Под действием переменных усилий возникают вибрации диска и лопаток [11, 154].

В наиболее тяжелых условиях работает колесо турбины, испытывающее действие высоких нестабильных температур и скачков давления. Температура газов перед турбиной при длительной работе достигает 700 °С, температура корпусных деталей достигает 107... 147 °С со стороны компрессора и 670... 720 °С со стороны турбины [154].

Конструкции турбокомпрессоров постоянно совершенствуются. Работой по доработке турбокомпрессоров занимаются такие зарубежные фирмы, как BorgWarnerTurboSystems, HoneywellTurboTechnologies, Mitsubishi, Holsetи др. [165]. На сегодняшний день известны следующие решения:

- снижение массы турбины за счет применения новых материалов;
- применения новых конструкций подшипниковых узлов;
- применение перепускных клапанов;
- применение соплового аппарата с изменяемой геометрией;
- применение отдельных конструкций.

Но до настоящего времени слабыми звеньями ТКР остаются сопряжения «вал ротора - подшипник» и «наружная поверхность подшипника - отверстие корпуса», надежная работа которых обуславливает как ресурс всей системы наддува, так и правильность функционирования самого ТКР в условиях эксплуатации [161].

Наиболее распространенной моделью турбокомпрессора, устанавливаемой на отечественные двигатели мобильной техники, является турбокомпрессор марки ТКР 6.1.

Ротор турбокомпрессора ТКР 6.1, установленный на двигателе, Д-245-35 раскручивается в номинальном режиме работы двигателя по частоте вращения свыше 100000 об/мин, что обеспечивает повышение давления всасываемого воздуха до 150-160 кПа (степень повышения давления наддува $P_k=1,5-1,6$).

Согласно ГОСТ Р 53637-2009 «ТУРБОКОМПРЕССОРЫ АВТОТРАКТОРНЫЕ. Общие технические требования и методы испытаний» [32], основными характеристиками работы ТКР и определяемыми при испытаниях являются:

- для компрессора - зависимость степени повышения давления в компрессоре P_k и эффективного КПД η_k от приведенного расхода $G_{пр}$

- для турбины - зависимость приведенного расхода газа $G_{тпр}$ и эффективного КПД η_t от степени понижения давления в турбине

- для ТКР, снабженных перепускными клапанами или устройствами, регулирующими пропускную способность турбины, определяют давление воздуха за компрессором, соответствующее началу открытия клапана или регулирующего устройства.

Данные характеристики турбокомпрессоров получают методом испытаний на специальных стендах. В эксплуатационных условиях получить указанные характеристики для оценки работоспособности ТКР проблематично, так как скоростной режим турбокомпрессора не отличается стабильностью по различным причинам.

Снижение частоты вращения зачастую указывает на наличие неисправностей [151]. Фактором снижения частоты вращения ротора турбокомпрессора в эксплуатации служат нарушения в системе воздухоснабжения и наличие дополнительных механических потерь вследствие трения вращающихся частей ротора о неподвижные детали ТКР [18]. Результатом может быть износ, представленный на рис 1.2, 1.4.

Такое явление наблюдается в практике при увеличенном осевом перемещении ротора, а также вследствие отложения смолистых нагарообразований на рабочих деталях турбокомпрессора, имеющим место при нарушении теплового режима работы двигателя.



1

Рисунок 1.2 Износ турбинного колеса
результате трения о неподвижные части ТКР.

Рисунок 1.3 Обрыв лопатки вследствие
попадания постороннего предмета.



Рисунок 1.4 - Механический износ на валу турбокомпрессора

На недопустимое нарушение теплового состояния двигателя в эксплуатации указывают большое число исследователей [68, 69, 76].

Отклонение скоростного режима ТКР от номинального в сторону уменьшения приводит в механических системах топливоподачи к снижению коэффициента избытка воздуха, а, следовательно, и росту теплонапряженности двигателя [90]. Повышенная теплонапряженность является следствием разрушения элементов двигателя. Элементы клапана, попадая на турбинное колесо, вызывают повреждения ТКР (рис 1.3). Нарушение в системе очистки

воздуха также являются следствием серьезных повреждений турбокомпрессора (рис 1.5) [44].



Рисунок 1.5 - Разрушение компрессорного колеса в результате попадания постороннего предмета

На переходных режимах особенностью работы двигателей с ГТН является несоответствие воздухообеспечения цикловым подачам топлива, приводящее к снижению коэффициента избытка воздуха. Нарушения рабочего процесса двигателя при этом возникает не только за счет инерционности ротора ТКР, вызывающей запаздывание подачи воздуха, но и за счет характеристики механического регулятора, осуществляющего подачу топлива независимо от подачи воздуха [74]. Указанные особенности системы воздухообеспечения двигателей с турбонаддувом приводят в условиях эксплуатации к существенному отклонению коэффициента избытка воздуха от оптимального значения, а, следовательно, к снижению топливной экономичности, повышенной дымности выхлопа и возможному увеличению тепловой напряженности двигателя [89, 90]. С ростом температуры выпускных газов выше допустимого предела резко увеличиваются отказы в цилиндропоршневой группе, клапанном механизме, турбине (рис. 1.2, 1.3).

В работе [70] говорится, что двигатель при различных цикловых подачах топлива по-разному реагирует на изменение частоты вращения ротора ТКР. Для подач топлива, близких к номинальной, снижение скоростного ре-

жима турбокомпрессора вызывает не только существенное падение крутящего момента и мощности двигателя, но и недопустимый рост температуры лопаток турбины.

На современных двигателях активно устанавливаются топливные системы Commonrail, управляемые блоками ЭСУД [144]. Снижение частоты вращения ротора ТКР, в данных двигателях, приводит к заметному снижению эффективных показателей работы двигателя вследствие снижения цикловой подачи топлива, при снижении массового расхода воздуха. Современные системы управления защищают двигатель от тепловых перегрузок и нарушения норм экологичности, но снижают эффективные показатели работы двигателя.

На необходимость контроля качества системы газотурбинного наддува указывает также то, что эксплуатация мобильных сельскохозяйственных агрегатов часто происходит в атмосферных условиях, значительно отличающихся от нормальных [75]. С падением плотности атмосферного воздуха (при росте температуры и снижении давления атмосферного воздуха) происходит ухудшение показателей двигателя. Для безнаддувных двигателей ухудшение проявляется в основном в снижении мощностных и экономических показателей, тепловая напряженность деталей при этом чаще не выходит за допустимые пределы. У дизелей с ГТН по сравнению с безнаддувными наблюдается несколько меньшее падение эффективных показателей, но значительно возрастает опасность тепловых перегрузок [78, 90].

Таким образом, изложенное выше позволяет констатировать, что условия, в которых работает ТКР, характеризуются значительным перепадом температур. В то время как его турбинная часть подвергается воздействию отработавших газов, со стороны компрессора нагрев конструкции примерно на порядок ниже [121]. Термический фактор усугубляется высокими динамическими нагрузками, возникающими вследствие высокой частоты вращения

ротора турбокомпрессора. Номинальные режимы работы ТКР, определяемые требованиями разработчиков двигателей и зависящие от заявленных параметров мотора, близки к предельным. Поэтому даже незначительные отклонения в работе таких ключевых систем силового агрегата, как системы смазки, охлаждения, питания и выпуска, могут оказать влияние на работоспособность турбокомпрессора, включая снижение КПД турбокомпрессора. Рассмотрим отдельные аспекты снижения работоспособности ТКР и влияние её на показатели работы двигателя.

2.2 Анализ причин изменения показателей работоспособности ТКР в эксплуатации

Анализ причин потери работоспособности ТКР в эксплуатации показывает [1], что около 40 % отказов являются следствием повреждений лопаток компрессорного или турбинного колес посторонними предметами, 40 % повреждений вызваны неисправностью системы смазки, 20 % повреждений вызваны другими причинами.

К посторонним предметам, которые часто попадают на лопатки турбинного колеса, относятся: отломившиеся части клапанов и камеры сгорания, в том числе в результате перегрева; неправильно установленная прокладка (части прокладки могут оторваться и попасть в выпускной коллектор); болты, гайки и шайбы, которые при замене турбокомпрессора падают в выпускной коллектор; отломившиеся части поршней ДВС, лопаток самих турбин. Все эти предметы, даже при незначительном своем размере, приводят к серьезному повреждению турбинного колеса.

Повреждение компрессорного колеса от попадания посторонних предметов случается реже, чем турбинного колеса. К посторонним предметам, попадающим на компрессорное колесо, относятся: элементы воздушного фильтра; фрагменты резины или армирующей проволоки, оторвавшиеся от впускных патрубков; болты, гайки и шайбы, попавшие во впускной патрубок при замене турбокомпрессора.

Таким образом, появление отказа ТКР может быть следствием:

- недостаточного количества масла;

- попадания в турбокомпрессор посторонних предметов;
- наличия загрязненного масла.
- нарушений в нормальной работе отдельных систем двигателя (топливоподдачи, очистки воздуха, воздухоподводящих каналов и др.).

Причиной потери работоспособности ТКР является также разрушение турбинных колес из-за потери устойчивости работы на некоторых режимах, приводящих к помпажу, сопровождаемому резкими периодическими колебаниями давления и расхода воздуха [42]. При помпаже происходит значительное увеличение амплитуды вибрации лопаток и накопление в них усталостных повреждений рисунок 1.2 [42], что может привести к потере части лопаток (рис. 1.3).

В этой связи актуальной задачей становится непрерывный контроль частоты вращения вала турбокомпрессора в процессе эксплуатации двигателя, так как отказ в системе газотурбинного наддува, связанный с функционированием турбокомпрессора зачастую протекает в значительном промежутке времени, проявляя себя в виде отклонения частоты вращения вала ТКР от установленной. Внедрение системы постоянного мониторинга частоты вращения вала турбокомпрессора позволило бы на ранних стадиях зарождения неисправностей отслеживать их, анализируя тренд изменения угловой скорости ТКР и принимать решение о необходимости замены или ремонта его, не доводя неисправность в стадию необратимых.

Наличие отклонения в частоте вращения вала турбокомпрессора от установленной его характеристикой всегда указывает на наличие неисправности, как в системе газотурбинного наддува, так и двигателя в целом.

При значительном завышении частоты вращения может иметь место неисправность в системе управления байпасным клапаном турбокомпрессора, либо нарушение работы соплового аппарата в турбинах с изменяемой геометрией.

Снижение же частоты вращения может быть следствием нескольких причин:

- уменьшение количества энергии, поступающей с ОГ от двигателя;

- нарушение герметичности воздухопроводов;
- нарушение герметичности байпасного клапана;
- нарушение в работе соплового аппарата (закольцовывание газов);
- наличие механических повреждений на турбинном колесе;
- наличие механических повреждений на компрессорном колесе;
- наличие повышенного сопротивления вращению вала турбокомпрессора.

2.3 Существующие подходы в оценке технического состояния правильного функционирования ТКР в эксплуатации

Показатели работы автотракторного двигателя (мощность, расход топлива, токсичность отработавших газов) в эксплуатации во многом определяются параметрами работы турбокомпрессора (КПД турбокомпрессора, скорость вращения ротора, давление наддува, расход воздуха, время разгона, температура ОГ на входе и выходе из турбины, уровень вибрационных процессов и др.) [99,113].

Указанные взаимосвязи на практике устанавливаются, как правило, органолептическими методами.

Правильность функционирования ТКР в эксплуатации часто оценивают по следующим признакам [80]:

- двигатель не развивает полную мощность;
- черный дым из выхлопной трубы;
- синий дым из выхлопной трубы;
- повышенный расход масла;
- шумная работа турбокомпрессора;
- повышенная тепловая напряжённость двигателя и ТКР.

2.3.1 Анализ работоспособности ТКР при наличии в работе двигателя признаков «Низкая мощность двигателя», «Черный дым из выхлопной трубы»

Оба признака являются следствием недостаточного поступления воздуха в двигатель. Причиной может быть засорение воздушного канала подвода воздуха либо его утечка из впускного коллектора или газов из выпускного коллектора. Поиск причин отказа сводится к выполнению следующих операций.

Запускается двигатель и прослушивается шум, производимый турбокомпрессором. Утечки воздуха между компрессором и двигателем могут быть определены по характерному «свисту», который возникает при этом. Пользуясь техническими данными производителя турбокомпрессора, проверяется количество поступающего воздуха. Останавливается двигатель, снимается уплотнение между воздушным фильтром и турбокомпрессором и проверяется отсутствие засорения, либо повреждения этого канала. При необходимости осматриваются уплотнения турбокомпрессора, состояние коллектора и крепления глушителя на предмет отсутствия засорения, наличия посторонних предметов и надежности крепежных соединений.

Вручную проверяется свобода вращения ротора, с целью установления наличия трения крыльчатки о корпус улитки турбокомпрессора. Если при вращении рукой ротора турбины и компрессора крыльчатка задевает или трется о корпус – налицо явный износ.

Если после выполнения указанных действий неисправности не обнаружены, значит падение мощности возникло не из-за турбокомпрессора. Необходимо искать неисправности в самом двигателе.

2.3.2 Анализ работоспособности ТКР при наличии в работе двигателя признака «Синий дым из выпускной трубы»

Появление синего дыма является следствием сгорания масла, причиной которого может быть либо его утечка в турбокомпрессоре, либо неисправности в двигателе. Поиск причин отказа сводится к выполнению следующих операций:

Проверяется состояние воздушного фильтра: любое препятствие на пути воздуха к турбокомпрессору может стать причиной утечки масла со стороны компрессора. В этом случае за ротором компрессора образуется разрежение, что вызывает засасывание масла из корпуса оси в компрессор.

Снимается корпус турбины и компрессора для проверки свободного вращения и отсутствия повреждений ротора.

Проверяется сливной маслопровод от турбокомпрессора к корпусу двигателя на отсутствие повреждений, сужений и пробок. Засорение маслопровода или повышенное давление в картере двигателя (в большинстве случаев вызываемое засорением системы вентиляции картера) приводит к тому, что масло из турбокомпрессора не возвращается в масляный картер двигателя. Надо установить, не повышено ли давление газов в картере. При этом поверить тот факт, что используется масло, рекомендованное производителем для данного двигателя.

В последнюю очередь следует снимать выпускной коллектор двигателя на предмет проверки отсутствия следов масла. Если в ходе указанных операций неисправностей ТКР не обнаружено, то причину отказа следует искать в двигателе.

2.3.3 Анализ работоспособности ТКР при наличии в работе двигателя признака «Повышенный расход масла (без синего дыма)»

Поиск причин отказа сводится к выполнению следующих операций. Проверяются состояние воздушного фильтра, а затем крепления корпуса турбины турбокомпрессора и давление наддува в нем. Оценивается люфт оси турбокомпрессора, проверяется отсутствие следов износа от трения ротора компрессора и турбины о стенки соответствующих корпусов. Если неисправ-

ность не выявлена, то следует искать причину отказа вне турбокомпрессора.

2.3.4 Анализ работоспособности ТКР при наличии в работе двигателя признака «Шумная работа турбокомпрессора»

Поиск причин отказа сводится к выполнению следующих операций.

Проверяются все трубопроводы, находящиеся под давлением и разряжением на входе и выходе турбокомпрессора, системы выпуска.

Проверяется легкость вращения вала турбины и отсутствие трения роторов турбины и компрессора и их повреждения посторонними предметами. Если установлено повышенное сопротивление вращению или повреждение, следует снять и заменить турбокомпрессор.

Снимается сливной маслопровод и трубки сапуна. Необходимо тщательно проверить их на предмет засорения, либо повреждения, ни в коем случае не использовать герметик для крепления подающего и сливного маслопроводов турбокомпрессора. Большинство герметиков при контакте с горячим маслом растворяются в нем. Такое загрязненное масло может повредить подшипники и кольца турбокомпрессора. Часто остатки герметика вызывают засорение масляных каналов внутри турбокомпрессора.

Промыть смазочную систему двигателя, заменить масло, установить новые масляный и воздушный фильтры.

Смазать турбокомпрессор перед его установкой.

К появлению шумности работы ТКР может привести неправильный выбор режимов эксплуатации двигателя с турбокомпрессором (запуск и остановка двигателя). По тем же самым причинам, что и при остановке под нагрузкой, важно дать двигателю поработать на холостых оборотах минимум 30 секунд. Если заглушить двигатель, работающий на высоких оборотах, ротор турбокомпрессора будет продолжать вращаться без смазки, потому что давление моторного масла почти равно нулю. При этом повреждаются подшипники и кольца турбокомпрессора.

Кроме того, очень важно дать двигателю поработать на холостых оборотах минимум 30 секунд, прежде чем давать ему полную нагрузку (по тем же причинам, что и при остановке).

Нужно регулярно заменять масло и масляный фильтр, используя масло, подходящее для данного двигателя.

2.3.4 Анализ работоспособности ТКР при наличии в работе двигателя признаков повышенной теплонапряжённости

Повреждения турбокомпрессора могут быть вызваны также повышенной температурой отработавших газов при работе машинного агрегата на больших высотах над уровнем моря. Любой двигатель, который работает при температурах близких к предельным на уровне моря превысит эти температуры на высоте 1500 м над уровнем моря. Работа на таких высотах над уровнем моря может привести к превышению максимальной скорости вращения вала турбокомпрессора. Поэтому необходимо в соответствии с требованиями производителя изменить систему подачи топлива. Кроме этого, на увеличение температуры отработавших газов значительное влияние оказывают: поздний впрыск топлива, бедная смесь и поздний момент впрыска. Повышенное сопротивление на впуске, причинами которого могут быть воздушный фильтр, поврежденные соединения или патрубки недостаточного диаметра, ведет к уменьшению количества воздуха, поступающего в цилиндры, и повышению температуры отработавших газов [44]. Повышенное сопротивление на впуске и работа на больших высотах над уровнем моря могут привести к поломке корпуса турбинного колеса и даже к поломке самого турбинного колеса под действием высоких температур. Если не менять воздушный фильтр в соответствии с требованиями производителя, то существует высокая вероятность отложения грязи в корпусе компрессорного колеса, что приведет к уменьшению поступления воздуха в цилиндры и далее к перегреву. Так же неплотно прилегающие прокладки во впускном и выпускном коллекторе приводят к уменьшению подачи воздуха.

Фактором снижения частоты вращения ротора турбокомпрессора в эксплуатации, как уже отмечалось ранее, является увеличение механических потерь в результате трения вращающихся частей ротора о неподвижные детали ТКР. Такое в практике наблюдается при увеличенном осевом перемещении ротора, а также вследствие отложения смолистых нагарообразований

на рабочих деталях турбокомпрессора. Отклонение скоростного режима ТКР от номинального в сторону уменьшения приводит при неизменной топливоподаче к снижению коэффициента избытка воздуха, а, следовательно, и росту теплонапряженности двигателя [89, 90].

Неисправностями, приводящими к замедлению частоты вращения ротора ТКР, а, следовательно, и росту тепловых нагрузок на двигатель и ТКР могут также быть: недостаток и загрязнение масла, попадание посторонних предметов.

Наиболее частой причиной недостатка масла является отложения в трубопроводах турбокомпрессора, по которым подается и отводится масло. Эти отложения значительно уменьшают площадь проходного сечения трубопровода, а иногда и полностью забивают трубопроводы. Для нормальной работы турбокомпрессора очень важно, чтобы при тяжелых условиях работы подавалось определенное количество масла в подшипники турбокомпрессора. Масло перед подачей в подшипники обязательно должно пройти через фильтр. При постоянной подаче чистого масла в необходимых количествах подшипники турбокомпрессора могут проработать тысячи часов без заметного износа.

Первыми выходят из строя из-за недостатка масла подшипники. После выхода из строя одного или нескольких подшипников могут последовать другие повреждения, такие как трение роторов турбины и компрессора, износ уплотнительных колец. В худшем случае может произойти поломка оси турбины.

В нормальных условиях ось и подшипники работают при температурах 60-90 °С.

В случае нехватки масла резко увеличивается теплоотдача на ротор турбины. Это тепло в совокупности с теплом, выделяющимся при трении в подшипниках, поднимает температуру оси до приблизительно 400 °С, приводя к коксованию остатка масла и вызывая перегрев оси.

Кроме того, перегреваются все подшипники и корпус оси. Последний деформируется, а материал подшипников наваривается на ось

турбокомпрессора.

В случае биения оси возникают значительные повреждения на внешних частях впускного канала, а уплотнительные кольца утрачивают свои свойства.

Из-за поломки подшипников лопатки ротора компрессора ударяются о внутреннюю его часть и повреждаются.

При высокой температуре, возникающей вследствие трения при биении оси, алюминиевые подшипники плавятся. Бронзовые подшипники в случае перегрева теряют оловянный слой и изменяют цвет.

Причиной потери работоспособности ТКР также может быть попадание посторонних предметов из-за поломки клапанов или поршневых колец.

Повреждения ротора компрессора могут быть вызваны множеством причин. Например, если во впускной канал компрессора попадает твердый предмет, края лопаток ротора компрессора сбиваются, а если мягкий (кусок ткани или резины) - гнутся.

Абразивные материалы, такие как песок или грязь, быстро изнашивают лопатки ротора компрессора.

Следствием этого явления будет также разбалансировка оси и роторов турбины и компрессора. После этого дальнейшие повреждения неизбежны.

При скоростях вращения, достигающих 100000-110000 об/мин, даже легкий дисбаланс ротора может увеличиться до запредельных величин.

Нарушение правильного функционирования ТКР может происходить по причине использования загрязненного масла. При загрязнении масла происходят повреждения деталей. Кроме того, при этом быстро изнашивается рабочая поверхность подшипника.

Внутренняя и наружная поверхности подшипника может стачиваться настолько, что полностью удаляется слой олова.

Густое масло задерживается на внутренних перегородках корпуса оси и снижает герметичность, вызывая большие утечки масла. Густое масло может также закоксоваться под воздействием тепла и затем стать причиной последующих повреждений подшипников и уплотнений.

Загрязнения могут задерживаться на поверхности алюминиевых вкла-

дышей и вследствие этого вызывать значительные отложения на оси подшипника и в его корпусе.

Отложение закоксованного масла на роторе турбины может быть вызвано дефектом системы герметичности турбокомпрессора, загрязненным маслом в корпусе оси или оттоком масла в систему выпуска из-за сильного износа самого двигателя. Это может быть также вызвано повышенным давлением в масляном картере двигателя, засорением сливного маслопровода турбокомпрессора или загрязнением воздушного фильтра.

Таким образом, среди возможных причин выхода из строя ТКР можно выделить несколько основных факторов. В первую очередь, это нарушение смазки подшипников ротора. Причем на работоспособность турбины оказывают влияние и качество масла, и его количество (величина подачи), но особенно опасно присутствие в смазочном материале различных загрязнений. Твердые частицы, попадая в зазоры между трущимися поверхностями, вызывают их механический износ. Результат работы мелких посторонних включений выглядит как полирование контактных поверхностей вала и подшипников, сопровождающееся «зализыванием» их внешних кромок. Крупные частицы в свою очередь оказывают более серьезное абразивное воздействие — интенсивно шлифуют поверхности трения с образованием глубоких задиров. В обоих случаях результат один — унос материала и увеличение зазоров, что в итоге приводит к выходу из строя дорогостоящего узла. Причины повышенного содержания в масле твердых частиц хорошо известны: несвоевременная замена эксплуатационного материала и применение некачественного масляного фильтра. Наряду с механическими опасны и химические загрязнения масла.

Наиболее распространенный вариант — попадание в систему смазки топлива вследствие нарушения рабочего процесса в двигателе (например, при неисправности топливной аппаратуры). Негативное воздействие химических загрязнений сводится к тому, что они снижают прочность масляной пленки. Значительно сокращается ресурс турбокомпрессора при выключении двигателя сразу после продолжительной работы на повышенных нагрузках. В этом

случае при остановке двигателя происходит прекращение подачи масла к подшипникам, а ротор ТКР продолжает вращаться по инерции в условиях граничной смазки. Как результат - повышенный износ подшипникового узла.

К числу распространенных причин отказа турбокомпрессора относятся и попадание в него посторонних предметов. Как правило, это заканчивается необратимыми повреждениями компрессорного или турбинного колес. Даже самое незначительное повреждение может нарушить балансировку ротора, а уже дисбаланс окончательно выведет из строя весь агрегат. Помимо прочего, колесо компрессора часто подвергается абразивному воздействию пыли и песка, попадающие во впускную систему через поврежденный воздушный фильтр или неплотные соединения системы впуска. Для турбинного колеса источником отказа может быть система выпуска отработавших газов. Двигатель при определенных условиях эксплуатации может «выстреливать» в турбину твердыми кусочками нагара. Учитывая предельную динамику турбины, такой «обстрел» может оказаться губительным.

Перечень основных причин отказов ТКР завершается превышением допустимых режимов его работы. Прежде всего, речь идет о превышении предельной частоты вращения ротора. Распространенный источник «перекручивания» турбины - резкое повышение температуры отработавших газов, обычно вследствие неисправности системы топливоподачи или попыток самостоятельной регулировки ТНВД. Типичные повреждения: перегретые опорные шейки вала ротора, множественные наслоения закоксованного масла, часто — искривление тыльной плоскости турбинного кольца и даже выкрашивание периферийной части лопаток турбины. Помимо нарушения состава топливной смеси, избыточный наддув может быть следствием неправильной работы элементов системы регулирования турбокомпрессора, например, байпасного клапана. Казалось бы, это чисто внутренние причины, касающиеся надежности самой системы турбонаддува, но они могут провоцироваться внешними неисправностями, такими, как ложные сигналы системы управления двигателем.

Ремонту турбокомпрессора в обязательном порядке должна предшест-

вовать начальная диагностика непосредственно на тракторе или на автомобиле. Объем таких работ обычно включает в себя измерения продольного и поперечного люфта турбины, оценку состояния впускной крыльчатки и герметичности уплотнений. Одним из распространенных методов инструментального контроля является проверка давления наддува с помощью манометра, подсоединенного к измерительному штуцеру во впускном коллекторе. На многих современных тракторах (например, Fendt, JohnDeere) специальный прибор имеется в штатной комбинации [124, 125].

Турбокомпрессор (ТКР) также часто выходит из строя по причине неисправности какой-либо из систем двигателя. На работоспособность ТКР влияют такие факторы, как состояние цилиндропоршневой группы, герметичность впускного тракта, исправность систем смазки и питания. Все это указывает на необходимость контроля показателей функционирования ТКР в процессе работы мобильной машины. Диагностирование с использованием внешних и встроенных средств контроля позволит определить техническое состояние ТКР без его разборки, прогнозировать его срок службы, управлять его техническим состоянием, назначая соответствующие предупредительные работы и выполняя их в процессе технического обслуживания и ремонта [180].

2.4 Обзор методов и средств диагностирования ТКР при ТО и ремонте мобильной техники

Задачей диагностирования является выбор конкретных объектов и определение предельных значений структурных (функциональных) параметров, при достижении которых ТКР теряет работоспособность. Вывод о состоянии ТКР делается на основании сравнения с эталонными или нормативными значениями показателей [7, 8, 9, 21, 138, 149, 170].

На рисунке 1.6 приведена схема структурных элементов дизеля с ГТН, по отношению к которым может производиться диагностирование.

Работоспособность каждого элемента и ее составляющих определяется совокупностью регламентированных показателей их технического состояния или структурными параметрами [151, 167, 176]. На этапе анализа ТКР как

диагностируемого объекта следует выбрать необходимое и достаточное количество структурных параметров. Их выбор должен в идеале обеспечивать отсутствие ошибок пропуска неисправного состояния и ошибок ложного отбраковывания (при создании диагностических моделей такие ошибки принято называть ошибками 1 и 2 рода) [113, 114, 115].

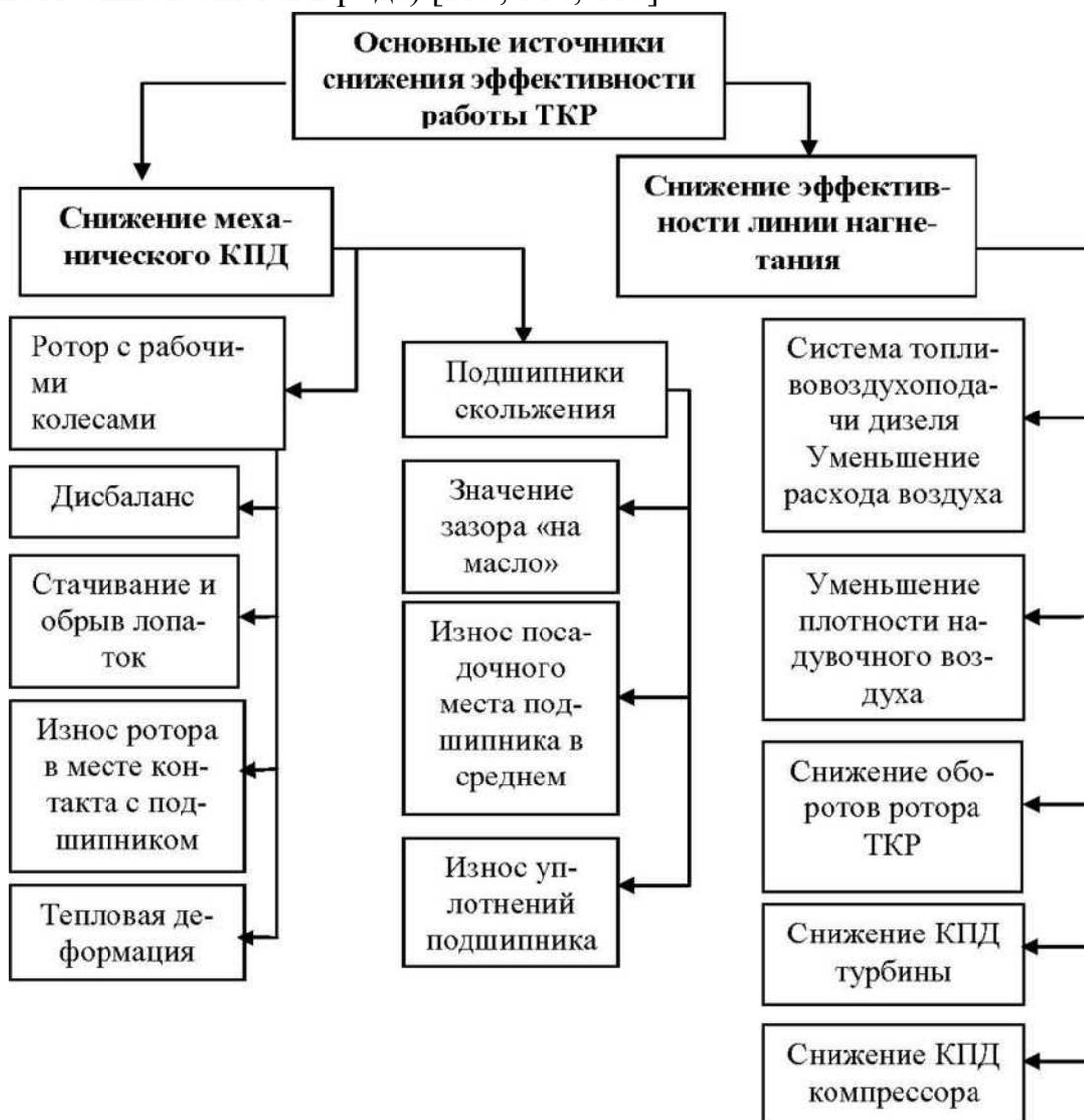


Рисунок 1.6 - Схема классификации источников снижения эффективности работы ТКР

Оценочными показателями качества работы ТКР выступают значения диагностических параметров. В свою очередь перечень диагностических параметров во многом определяется методами, средствами и условиями диагностирования [13,67, 83, 84, 99, 100, 105, 116, 117, 171, 179].

Наиболее полную информацию о состоянии структурного параметра при проведении без разборной диагностики дает анализ процесса воздухоподдачи по давлению наддува, расходу воздуха, оборотам и времени разгона

ТКР, температуре отработавших газов на входе и выходе из турбины, уровню вибрационных процессов, характеризующих износ подшипниковых узлов и дисбаланс ротора ТКР, по значению КПД турбокомпрессора и его составляющих.

В системах турбонаддува в качестве диагностических параметров могут приниматься характерные параметры кривых давлений (расхода) воздуха до и после компрессора, а также параметры, полученные путем обработки:

- среднего давления наддува;
- усредненного значения расхода воздуха;
- времени разгона и времени выбега ротора ТКР;
- коэффициента избытка воздуха;
- температуры отработавших газов на входе и выходе из турбины;
- цикловой подачи топлива;
- частоты вращения ротора ТКР;
- КПД турбокомпрессора.

Для оценки технического состояния агрегатов турбонаддува могут быть применены различные методы диагностирования (таблица 1.1) [2, 47, 82, 101, 107]. При проверке работоспособности элементов воздух подачи используют методы диагностирования, выявляющие (без указания места и причины) определенную совокупность отказов и повреждений (повышенная шумность работы ТКР, нестабильность параметров воздух подачи и т.д.).

При проверке правильности функционирования ТКР диагностирование направлено на определение совокупности дефектов технологических настроек в системах, вызывающих недопустимое снижение технико-экономических и экологических показателей [168].

При поиске дефектов методы диагностирования позволяют выявить место, вид и причину дефекта (износ подшипников, снижение коэффициента избытка воздуха и т.д.).

По степени разборки объекта диагностирования методы подразделяются на разборные и без разборные [11, 15, 16, 33, 34, 35].

Таблица 1.1 - Классификация методов диагностирования агрегатов турбонаддува

Классификационные признаки	Методы диагностирования
Задачи диагностирования	Проверка работоспособности; проверка правильности функционирования; поиск дефектов
Характер измерения параметров	Прямой; косвенный
Условия проведения диагностирования	Полевые; станция ТО; безмоторные;
Применение диагностических средств	Органолептические; инструментальные
Режим работы объекта	При установившемся режиме; при неустановившемся режиме; при статодинамическом режиме
Диагностические параметры	Параметры рабочего процесса; параметры сопутствующих процессов; структурные параметры
Периодичность диагностирования	Регламентный; заявочный; непрерывный
По степени разборки объекта диагностирования	Разборная; без разборная
Используемый физический процесс	Виброакустический; магнитоэлектрический; спектрографический; тепловой; гидравлический; газоаналитический; кинематический; Другие

Разборные методы применяются при инструментальной оценке износа подшипникового узла, ротора ТКР, корпусных деталей [37].

Методы безразборной диагностики, как правило, основаны на косвенных измерениях структурных параметров при установке датчиков или диагностических устройств снаружи диагностируемого объекта без снятия его с дизеля или на стенде для испытания ТКР либо двигателя [132].

По диагностическим параметрам все методы делят на три группы в зависимости от того, характеризует ли измеряемый параметр рабочий процесс всего двигателя или его составной части, сопутствующие процессу работы, или непосредственно структурный параметр детали или сопряжения деталей.

Методы диагностирования по параметрам рабочих процессов позволяют проверять выходные показатели ТКР (давление наддува, КПД турбокомпрессора, частота вращения ротора ТКР) и многие технические характеристики его составных частей (давление масла на входе и выходе из ТКР, время разгона и выбега ротора турбокомпрессора, уровень вибрационных процессов, температура газов на входе в турбину и др.). Обычно точность измерения этих параметров достаточно высока, так как в большинстве случаев осуществляют прямое измерение контролируемой физической величины [75, 134, 135, 136].

Методы диагностирования по параметрам сопутствующих процессов дают возможность косвенно определять те же параметры рабочих процессов, а также структурные параметры деталей и сопряжении, если их нельзя или нецелесообразно измерять непосредственно. В этом случае измеряют показатели процессов, генерируемых рабочими. Это, как правило, процессы вибрации, шума, нагрева (теплонапряжённости), дымности отработавших газов [77, 85].

Методы диагностирования по структурным параметрам позволяют путем прямых измерений определять износы деталей (подшипниковых пар, деталей ротора ТКР), состояние газоподводящих и газоотводящих трактов, системы очистки воздуха и т.п.). В основе этих методов лежит измерение геометрических размеров, взаимного перемещения деталей или геометрических размеров детали (сопряжения) [112, 118, 122, 123, 131].

По используемому физическому процессу методы диагностирования могут подразделяться на виброакустические, спектрографические, магнитоэлектрические, тепловые, гидравлические, газоаналитические, кинематические и некоторые другие [93, 111].

Каждый метод предназначен для контроля определенного физического процесса и основан на применении определенного физического явления. Классификация по использованному физическому процессу позволяет наи-

более полно выявить возможности и техническую характеристику соответствующего метода диагностирования [127, 128, 130].

Физический процесс характеризуется изменением физической величины во времени. В основе гидравлического - давление; теплового - температура; виброакустического - амплитуда колебаний на определенных частотах и т. д.

Диагностирование ТКР виброакустическим методом. Процесс сжатия и подачи воздуха во впускной тракт дизеля сопровождается формированием в различных местах ТКР виброакустических сигналов, вызываемых как перемещениями подвижных деталей ТКР (оси ротора, плавающей втулки и др), так и волнами давления отработавших газов и расходуемого двигателем воздуха.

Достаточно полную информацию о динамике состояния ротора ТКР в процессе его функционирования дают максимальные значения виброскорости и виброперемещения (виброускорения), возникающие при работе двигателя.

Безусловным достоинством виброакустической диагностики является простейший способ закрепления первичных преобразователей на объекте. Такие новые методы, как лазерная вибродиагностика вообще допускают бесконтактный съём сигнала.

Вместе с тем обработка, интерпретация информации, распознавание параметров и дефектов весьма сложны, недостаточно достоверны, стабильны и информативны. Вибросигнал очень сильно зависит от способа и качества закрепления узла, от применяемых материалов, от состояния деталей, на которые установлен объект. Даже для испытаний в безмоторных условиях желательно применение мало шумящих стендов. При испытаниях на дизелях диагностические параметры изменяются в сравнении с испытаниями в модельных условиях, а расшифровка сигналов становится еще менее надежной. Расчетное определение собственных частот колебаний системы и ее элементов затруднено и обычно связано с грубыми допущениями. По этой причине

амплитудно-частотные характеристики обычно выявляют опытным путем.

Большое число генераторов колебаний затрудняет идентификацию и создание аналитической модели процесса. Ее можно построить только на основе широких экспериментальных исследований [88]. При решении таких задач используются статические методы, обучающие эксперименты. Однако в любом случае требуется предварительное широкомасштабное экспериментальное исследование ТКР апробированными методами и последующие испытания повиброакустическим методикам. Даже современные методы и способы обработки сигналов на ПК (с помощью соответствующих пакетов прикладных программ) при решении задач виброакустического диагностирования требуют высококвалифицированного оператора и большого количества статистических данных, определяемых экспериментальным путем [1, 19].

Магнитоэлектрический метод диагностирования по параметрам перемещений подвижных деталей. Метод основан на регистрации изменяющегося магнитного потока в предварительно намагниченных деталях диагностического механизма. Индуцируемая ЭДС в магниточувствительном элементе датчика пропорциональна скорости движения намагниченной детали. Метод позволяет регистрировать перемещения, фазовые параметры деталей агрегатов, определять отклонения этих параметров от номинальных значений. Спектрографические методы («металл в среде») весьма удобны, имеют хорошо разработанное математическое обеспечение и апробированы, например, при диагностировании и прогнозировании остаточного ресурса поршневой группы дизеля. Фирмами «CaldwellDevelopment» и «SpectroIncorp» (США) разработаны для таких целей «датчики - феррографы», регистрирующие частицы размером менее 150 микрон. Но для задач с ТКР такие методы не пригодны из-за отсутствия накопления металла в жидкости, малости износов, универсальности материалов для различных деталей и недостаточной информативности.

Тепловые методы диагностирования основаны на определении температуры отработавших газов, анализе температуры определенных деталей, например, выпускного коллектора.

В научно-технической литературе предлагается ряд критериев, по которым можно косвенно судить о теплонапряженности двигателя в целом или отдельных его деталей (критерии Б. Я. Гинцбурга, И. Л. Пономарева, В. А. Ваншейдта, А. К. Костина и др.). Наиболее обоснованным критерием косвенной оценки тепловой напряженности считается комплексный критерий, предложенный А. К. Костиным в работе [90].

Простым и давно используемым в практике эксплуатации косвенным параметром теплонапряженности является также температура газов на выпуске [140]. Использование температуры выпускных газов особенно удобно при оценке теплонапряженности двигателей, работающих большую часть времени на переходных и неустановившихся режимах. По температуре выпускных газов можно не только судить о загрузке двигателя, но и оценивать качество согласованной работы систем топливо-воздухоподачи в эксплуатации [69].

Еще более перспективны методы контроля параметров ТКР через параметры рабочего процесса дизеля. Это легко объяснить: влияние первых на вторые значительно, а в процессе эксплуатации параметры рабочего процесса предполагается постоянно контролировать. Поэтому эти методы разрабатываются в первую очередь для имеющих большой ресурс тихоходных судовых дизелей и практически не применяются в быстроходных автотракторных дизелях в связи с высокой стоимостью и ограниченным сроком работы преобразователей и датчиков [43, 45].

Кинематический метод диагностирования характеризуется изменением положения, движения деталей и их сопряжении с геометрической точки зрения. Этот метод включает в себя непосредственное измерение размеров, из-

носов деталей, зазоров их сопряжений, применяется при проверке отдельных узлов и деталей ТКР и, как правило, производится при неработающем двигателе или разобранных узлах.

Газоаналитический метод оценки состояния ТКР по содержанию в отработавших газах дизеля рассматривается в работе [46]. По содержанию в ОГ O_2 и CO_2 оценивается качество процессов смесеобразования и сгорания и на этой основе предлагается определять техническое состояние ТКР. С введением нормативов на выбросы вредных веществ с ОГ дизелей охват этим методом диагностирования существенно расширяется. Вместе с тем по результатам диагностирования сложно судить о конкретном дефекте в ТКР и количественных характеристиках параметров его технического состояния.

Математическое моделирование воздухоподдачи реального ДВС связано с меньшими материальными затратами, но, главное, позволяет более точно и достоверно решить задачу. Диагностическая модель создается не на базе вероятностно-статистического подхода, а точным детерминированным методом. Становится возможным точный учет допустимых отклонений структурных параметров ТПС и параметров технологической неустойчивости. Альтернативные методы не позволяют практически подойти к диагностированию с той же корректностью [10].

К числу наиболее применяемых методов изучения и диагностирования работы ТКР относятся методы, основанные на измерении давления наддува [3, 4]. С использованием дополнительной информации и расчетных методов этот сигнал позволяет достаточно точно отслеживать эффективность функционирования турбонаддува непосредственно в процессе эксплуатации дизеля. К достоинствам метода также относят и допустимую для задач диагностики сложность монтажа датчика.

В большинстве предложенных методик диагноз базируется на сравнении измеренной информации с эталонной, в результате чего делается более или менее обоснованный вывод об имеющейся неисправности ТКР.

Выше представленные решения и методы позволяют делать выводы о нахождении неисправностей различного рода, возникающих в системе воздухоподачи, но не один из них не дает возможности оценить полную картину эффективности работы турбокомпрессора во времени. С этой задачей может справиться метод определения технического состояния турбокомпрессора, в основу которого заложена возможность определения и анализа коэффициента полезного действия турбокомпрессора и его составляющих. Анализ данных позволяет определить не только эффективность турбокомпрессора, но и при её снижении указать на локализацию неисправности.

Автоматизация постановки диагноза позволяет повысить его достоверность, уменьшить трудоемкость работ и снизить требования к квалификации исполнителя [12,120].

Решению некоторых указанных задач посвящены работы [40, 41, 181]. Авторами отмечается, что создана универсальная информативная методика диагностирования, позволяющая обнаруживать и количественно оценивать типовые дефекты ТКР по диагностической модели в форме логической таблицы неисправностей.

При диагностировании тракторных и комбайновых дизелей используют различные контрольно-диагностические устройства и системы. Разнообразие диагностических средств представлено в классификационной схеме (табл. 1.2), отражающей их различие по назначению, степени автоматизации измерений, спектру решаемых задач, конструктивным особенностям и др. [157, 158, 159, 160, 162, 172, 175].

Основной недостаток методов диагностирования воздухоподающих систем с помощью механических средств - неизбежное их вмешательство в нормальное функционирование системы. Помимо этого, производимая частичная разборка может отрицательно сказываться на работоспособности элементов системы.

Рассмотрим некоторые из применяемых в настоящее время средств и устройств определения параметров воздухоподачи, которые могли быть использованы для диагностирования ТКР.

Например, рядом иностранных фирм [79] разработаны приборы для определения технического состояния турбокомпрессора, использование которых связано с минимальным вмешательством в работу дизеля. Общий их принцип в том, что во впускной трубопровод монтируют датчик давления либо датчик расхода воздуха. При изменении давления во впускном трубопроводе сигнал поступает от исполнительного механизма к регистрирующему устройству.

Таблица 1.2 - Классификация средств диагностирования

Классифицирующие признаки	Средства диагностирования
Исполнение	Портативные; передвижные; стационарные; бортовые; часть общей системы управления работой дизеля
Состояние объекта диагностирования	Используемые при: нефункционирующем объекте; функционирующем объекте; тестовых воздействиях на объект; любых состояниях объекта
Степень автоматизации	Механизированные; автоматизированные; автоматические
Назначение и приспособленность к диагностированию элементов ТА	Устройства и приборы для измерения отдельных параметров или узлов; стенды для испытаний ТИС; диагностические системы и мотор-тестеры;
Характеристика информации по диагностируемому объекту	Количественная оценка; качественная оценка; количественная и (или) качественная оценка с прогнозированием состояния
Адаптивность	Все операции диагностирования проводятся с участием оператора (мастера-наладчика); настройка параметров и режимов диагностирования производится оператором; самонастраивающиеся
Спектр решаемых задач	Информация о состоянии; информация о состоянии, прогнозирование и рекомендации; информация о состоянии, прогнозирование и рекомендации, формирование базы данных для автоматической настройки и управления работой ДВС

Принципиальная основа других разработанных способов и устройств - анализ кривой давления наддува в трубопроводе между компрессором и впускным коллектором. Эти способы позволяют выявить неисправности ТКР.

Ряд эффективных методов, реализованных в диагностических приборах, автоматизированных установках, машинотестерах, не представляется возможным для применения на практике без предварительных мер по улучшению приспособленности как диагностических средств, так дизеля и его ТКР к диагностированию [102]. Улучшение приспособленности ТКР к базо-

вым диагностическим средствам снижает трудоемкость установки датчиков на объект, уменьшает количество переходных устройств, повышает эффективность диагностирования.

В целом следует отметить, что данные устройства и средства диагностирования позволяют производить оценку за один цикл измерений, не обеспечивают выдачу конкретных данных по ресурсу и вероятному дефекту, не указывает о конкретном дефекте ТКР. Не дают полного представления о многих диагностических параметрах. Затруднен анализ полученной информации диагностируемого ТКР. Все это требует разработки современных средств диагностирования и их программного обеспечения, т. е. электронных автоматизированных систем.

Электронные автоматизированные системы создают условия для решения проблемы диагностирования на принципиально новой индустриальной основе [36, 66], то есть выполнение почти всех операций технического диагностирования блоками электронной установки с выдачей конечного результата о составе объекта в виде «годен», «негоден», «норма», «меньше нормы», «больше нормы», категории качества и т.п. При этом процесс диагностирования ТКР может осуществляться непрерывно по заданной оптимальной программе в определенной закономерной последовательности.

2.5 Цель и задачи исследования

Краткий обзор и анализ состояния проблемы показал, что к настоящему времени созданы определенные научные основы контроля технического состояния правильного функционирования турбокомпрессоров в составе двигателей мобильных сельскохозяйственных агрегатов. Вместе с тем, существующие технологии и методы диагностирования, контроля и оценки технического состояния современных ТКР не учитывают в полной мере особенностей их функционирования.

Повышение достоверности и снижение трудоемкости диагностических работ может быть достигнуто разработкой автоматизированных средств, обладающих возможностью оцифровки данных, полученных прямым измерением, и последующей обработки их с использованием математического аппарата, что повышает точность диагноза за счет увеличения количества сравниваемых параметров при неизменном количестве датчиков.

На основании изученного материала сформулированы задачи исследования:

- провести комплексный анализ взаимосвязей оценочных показателей правильного функционирования ТКР, существующих методов и средств их диагностирования.

- установить закономерности формирования показателей ТКР и оценить их изменение при характерных неисправностях в системе ГТН.

- разработать диагностические средства для безразборной оценки правильного функционирования ТКР в эксплуатации.

- дать технико-экономическое обоснование внедрения предложенных мероприятий.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТКР В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

3.1 Основные понятия и определения, используемые при теоретических исследованиях

Основное назначение технической диагностики техники, как известно, состоит в повышении её надежности на этапе эксплуатации [2, 20]. Кроме того, диагностическое обеспечение позволяет также получать высокие значения достоверности правильного функционирования объектов. Применительно к теме диссертации объектом исследования является турбокомпрессор двигателей мобильной техники.

Введем следующее определение состояния объекта исследования [79]. Турбокомпрессор считается исправным (находится в исправном состоянии), если он удовлетворяет всем требованиям нормативно-технической документации. Убедиться в исправности ТКР необходимо после его изготовления и после ремонта.

Для условий эксплуатации важным является понятие работоспособного технического состояния турбокомпрессора. ТКР работоспособен, если он может выполнять все заданные ему функции с сохранением значений заданных параметров (признаков) в требуемых пределах. Убедиться в работоспособности объекта необходимо, например, при его профилактике, после транспортирования и хранения. Для этапа применения по назначению существенным является понятие технического состояния правильного функционирования объекта (ТКР). Правильно функционирующим является турбокомпрессор, значения параметров (признаков) которого в текущий момент реального времени применения ТКР по назначению находится в требуемых пределах (в этот момент времени объект не отказал, т. е. правильно выполняет конкретную заданную функцию). Неисправное и неработоспособное техническое состояние, а также техническое состояние неправильного функционирования объекта (ТКР) детализируются путём указания соответствующих дефектов, нарушающих исправность, работоспособность или правильность

функционирования и относящихся к одной или нескольким составным частям турбокомпрессора, либо ТКР в целом. Обнаружение поиска дефектов являются процессами определения технического состояния ТКР и объединяются общим термином «диагностирование». Диагноз есть результат диагностирования. Таким образом, задачами диагностирования являются задачи проверки исправности, работоспособности и правильности функционирования ТКР, а также задачами поиска дефектов, нарушающих исправность, работоспособность или правильность функционирования.

3.2 Исходные взаимосвязи параметров турбокомпрессора и показателей работы двигателя

Как было установлено ранее, показатели работы турбокомпрессора оказывают существенное влияние на показатели эффективности работы двигателя в составе мобильного сельскохозяйственного агрегата [73].

Тесная их взаимосвязь обуславливает необходимость обоснования предельных значений показателей функционирования ТКР, при достижении которых дальнейшая эксплуатация дизеля должна быть приостановлена до выявления причин появления отказа. Решение подобной задачи возможно на основании математической модели взаимосвязи показателей двигателя и турбокомпрессора.

Турбокомпрессор представляет собой единый агрегат, состоящий из турбинного и компрессорного колёс, закреплённых на общем валу. Турбина приводится в действие энергией выпускных газов и обеспечивает воздухо-снабжение двигателя. При подобной схеме газотурбинного наддува между турбиной и компрессором помимо механической имеется газовая связь, автоматически изменяющая параметры турбины, а, следовательно, и компрессора при изменении мощности дизельного двигателя.

Преимущества такой схемы очевидны. Главный же недостаток её состоит в том, что эффективно функционировать она может только при взаимосвязях, характерных для технически исправных отдельных её элементов на режимах, установленных заводом-изготовителем. Неисправность в любом из элементов, постепенно накапливающаяся в

процессе эксплуатации и внешне заметно не проявляющаяся, на определенных режимах работы может привести к внезапному их отказу. Сложность диагностирования такой системы с целью оценки её работоспособности заключается в том, что показатели функционирования турбокомпрессора в эксплуатации изменяются, как в зависимости от технических и режимных характеристик самого двигателя, так и от технических и режимных характеристик турбокомпрессора. Выявление характерных параметров ТКР определяющих правильность его функционирования, является первостепенным в условиях эксплуатации.

3.3 Обоснование границ исправного состояния ТКР

Как уже отмечалось выявление характерных функциональных параметров ТКР, определение их предельных значений и методов контроля является первостепенным при оценке технического состояния правильного функционирования ТКР в эксплуатации. Условием правильного функционирования ТКР является выполнение условия $\frac{n_{t\varnothing}}{n_t} = 1$, что на установившемся режиме подтверждается балансом мощностей $N_t = N_k$.

Уравнение баланса мощностей $N_t = N_k$ после преобразований можно записать в виде:

$$\left(\frac{P_k}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 = \frac{K_1}{K_1 - 1} \cdot \frac{K - 1}{K} \cdot \frac{R_1}{R_0} \cdot \frac{T_t}{T_0} \cdot \frac{G_t}{G_k} \cdot \eta_t \cdot \eta_k \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_t}\right)^{\frac{K_1 - 1}{K_1}} \right]$$

Обозначим:

$$\frac{K_1}{K_1 - 1} \cdot \frac{K - 1}{K} \cdot \frac{R_1}{R_0} = \beta;$$

$$\frac{T_t}{T_0} \cdot \frac{G_t}{G_k} = \tau$$

Тогда:

$$\left(\frac{P_k}{P_0}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 = \beta \cdot \tau \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_t}\right)^{\frac{K_1 - 1}{K_1}} \right] \cdot \eta_{tk} \quad (3.1)$$

Тогда из выражения (3.1) получим зависимость для расчета КПД турбокомпрессора в виде:

$$\eta_{tk} = \frac{\left(\frac{P_k}{P_0}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1}{\beta \cdot \tau \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_t}\right)^{\frac{K_1-1}{K_1}}\right]} \quad (3.2)$$

Уравнение (3.2) устанавливает взаимосвязь между КПД турбокомпрессора и параметрами воздуха на впуске и параметрами газа на выпуске. Анализ выражения показывает, что снижение % в эксплуатации относительно номинального значения может быть по причине:

- роста теплоперепада газов в турбине $\frac{T_t}{T_0}$;
- уменьшения степени повышения давления воздуха в компрессоре $\frac{P_k}{P_0}$;
- снижения степени расширения газа в турбине $\frac{P_z}{P_t}$;
- роста механических сопротивлений (снижения η_{tkm} , являющейся составляющей частью η_{tk}).

Учитывая, что в технически исправной системе ГТН, рост T_t происходит одновременно с повышением P_k за счет увеличения цикловой подачи топлива при повышении нагрузочного режима, по параметру T_t довольно проблематично аналитическим путем рассчитать предельные значения функциональных показателей ТКР (P_k ; P_t ; η_{tk}).

Сделаем попытку установления предельных показателей P_k , P_t , η_{tk} по более объективному критерию теплонапряженности цилиндропоршневой группы двигателя q_{II} [97, 89].

Запишем уравнение:

$$q_{II} = b \cdot C_m^{0,5} \left(p_e \cdot g_e \frac{T_k}{T_0} \right)^{0,88} \cdot \left(\frac{D}{\eta_v \cdot P_k} \right)^{0,38}, \quad (3.3)$$

где b - коэффициент, учитывающий тактность двигателя, для четырехтактных двигателей $b=1,0$; P_k - давление наддува воздуха, кг/см²; T_k - температура надувочного воздуха, К; C_m - средняя скорость поршня, м/с; D - диаметр цилиндра, дм; η_v - коэффициент наполнения, для двигателя Д-245-35 и турбокомпрессора ТКР 6,1 равен 0,95; p_e - среднее эффективное давление, кг/см²; g_e - удельный расход топлива, кг/(л.с.ч); T_0 - температура окружающего воздуха при нормальных условиях, $T_0 = 293$ К.

Как видно из формул, q_{II} является комплексным критерием, учитывающим скоростной (C_m), нагрузочный (P_e) режимы работы двигателя

конструктивные параметры (D), параметры атмосферного и надувочного воздуха (T_0, T_k, P_k).

С помощью представленной выше зависимости (3.1) составим параметрическую модель взаимосвязи предельного давления наддува P_k и предельного давления P_T перед турбиной.

Выражение (3.1) будет в этом случае запишем в виде:

$$\left(\frac{P_{k_{пред}}}{P_0} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 = \rho \cdot \tau \left[1 - \left(\frac{P_{z_{пред}}}{P_{t_{пред}}} \right)^{\frac{K_1-1}{K_1}} \right] \eta_{tk_пред}, \quad (3.4)$$

где $P_{t_{пред}}$ и $P_{z_{пред}}$ - предельные значения давления до и после турбины, кПа.

Предельное значение P_k получим из выражения (3.3):

$$P_k = \frac{b^{\frac{1}{0,38}} \cdot C_m^{0,5} \left(p_e g_e \frac{T_k}{T_0} \right)^{0,88} \cdot D}{q_n^{0,38} \eta_v}$$

После преобразований, приняв $P_k = P_{k_перед}$, $b=1$, получим

$$P_{k_перед} = \frac{C_m^{1,32} \cdot \left(p_e g_e \frac{T_k}{T_0} \right)^{2,32} \cdot D}{q_n^{2,63} \cdot \eta_v} \quad (3.5)$$

На основании выражения (2.42) предельное значение давления газов перед турбиной выразим зависимостью:

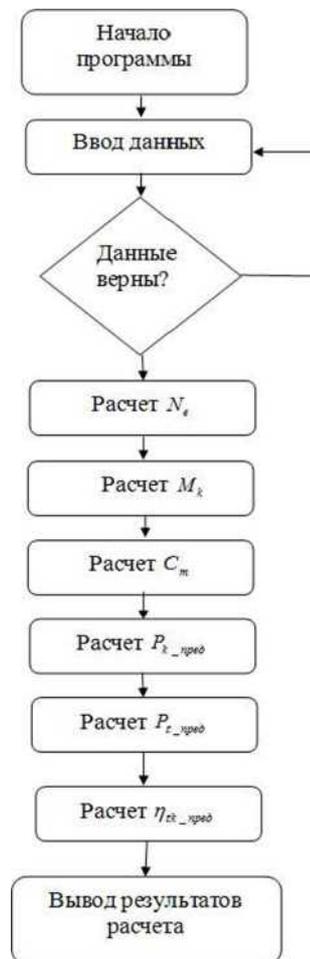
$$P_{t_перед} = \frac{P_{z_перед}}{1 - (\beta \cdot \tau \cdot \eta_{tk})^{\frac{K_1}{1-K_1}} \cdot \left(\frac{P_{k_перед}}{P_0} \right)^{\frac{(K-1)K_1}{K(K_1-1)}}} \quad (3.6)$$

где $P_{t_перед}$, $P_{z_перед}$ - предельные значения давления до и после турбины, кПа.

Подставив подсчитанные значения давления наддува P_k и давления отработавших газов P_t в формулу (3.2) получим зависимость предельного по теплонапряженности двигателя значения КПД турбокомпрессора η_{tk} от параметров, характеризующих правильность функционирования ТКР в эксплуатации (P_k, P_t, T_t).

$$\eta_{tk_перед} = \frac{\left(\frac{P_{k_перед}}{P_0} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1}{\beta \cdot \tau \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_{t_перед}} \right)^{\frac{K_1-1}{K_1}} \right]} \quad (3.7)$$

Расчет предельных эксплуатационных параметров P_k , P_T и η_{tk} проводился с помощью контрольно-допусковой диагностической математической модели и алгоритма добавленного в программное обеспечение «ControlMES» и «TURBOCOMP» [145, 146, 147]. Блок - схема алгоритма расчета представлена на рис. 2.4. Константы для расчета приняты, исходя из эксплуатационных параметров работы дизельного



двигателя Д-245-35

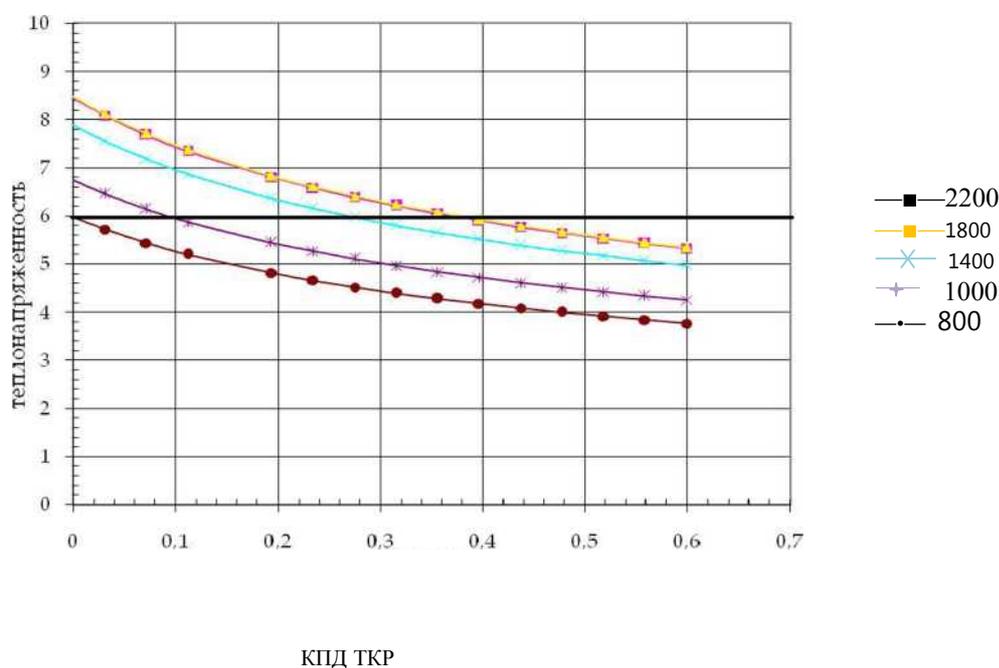
Рисунок 2.4 - Упрощенная блок-схема программы расчета предельных значений $P_{k_пред}$, $P_{T_пред}$, $\eta_{tk_пред}$ по критерию теплонапряженности поршня.

Допуски температуры наддувочного воздуха и температуры окружающей среды приняты из условий эксплуатации двигателя Д-245-35 и требований руководства по эксплуатации 245.7 - 0000100РЭ [38, 39]: $T_k = 393$ К, $T_0 = 293$ К. Градации P_k осуществлялись методом малых приращений [73]. По результатам расчетов получаем зависимость, представленную на рис. 2.5.

Анализируя полученную зависимость, можно сделать вывод, что на частотах вращения вала двигателя 800 и 1000 об/мин теплонапряженность практически не выходит за верхний предел $q_n=6$. На частотах вращения n_0

=1400 об/мин при номинальной нагрузке предельное значение коэффициента полезного действия турбокомпрессора по критерию теплонапряженности двигателя составляет $\eta_{tk_пред} = 0,28$, на скоростном режиме двигателя $n_d = 1800-2200$ об/мин $\eta_{tk_пред}$ находится в пределах $\eta_{tk_пред} = 0,35-0,36$.

Рисунок 2.5 - Зависимость показателей теплонапряженности двигателя Д-245-35 от частоты вращения двигателя и КПД турбокомпрессора



Проведённые расчёты подтвердили выдвинутую ранее гипотезу о том, что при нагрузках, близких к номинальным, в случае появления «скрытых» отказов, связанных с нарушением воздухоподачи, критерий теплонапряженности q_n может превышать предельно допустимое значение. Одним из показателей, характеризующим правильность функционирования двигателя, является η_{tk} . Значение КПД ТКР, соответствующее предельному критерию теплонапряженности $q_n = 6$, на скоростном режиме двигателя $n_d = 1800-2200$ об/мин находится в пределах $\eta_{tk} = 0,35 - 0,36$.

3.4 Обоснование метода выбора диагностируемых параметров правильного функционирования турбокомпрессора в эксплуатации

Изложенное выше позволяет констатировать, что в процессе функционирования мобильного сельскохозяйственного агрегата имеется возможность отслеживать информацию о работоспособности ТКР, контролируя его выходные показатели. Учитывая, что на диагностику отводится определенное время, то из экономических соображений целесообразно за этот промежуток времени проверять такие показатели работы ТКР, которые обеспечат наибольшую достоверность результатов контроля его работоспособности. Предлагаемая методика и выбор диагностических параметров основана на их информативности с учетом их взаимосвязи с функциональными показателями двигателя и экономичностью диагностирования [166].

Исходя из того, что турбокомпрессор как объект диагностирования в системе воздухоподдачи дизеля характеризуется различными диагностируемыми параметрами a_1, a_2, a_j , и которые в общем случае могут быть представлены эксплуатационными показателями (давлением наддува, давлением перед компрессором, давлением до и после турбины, частотой вращения ротора ТКР, температурами газа в компрессоре и турбине, КПД ТКР, шумностью, вибрацией и другими). Наличие каждого из показателей на выходе объекта зависит от работоспособности определенных групп элементов ТКР. Допустим, что элементы, необходимые для наличия какого-либо диагностируемого параметра a_j , составляют подмножество A_j из множества A . Принимаем, что достоверность диагностирования всех параметров одинакова, и время на контроль каждого равно t .

Ценность диагностируемого параметра определяется тем, какой объем информации он несет. При выборе диагностируемых параметров важно установить степень связи их с техническим состоянием объекта [100]. При этом вероятность исправного состояния ТКР до и после

диагностики a_j -го параметра будет различной. Если принять вероятность исправного (работоспособного) состояния ТКР до диагностики $P(S)$ (априорная вероятность), а после диагностики a_j -го параметра (апостериорная вероятность) стала $P_{aj}(S)$. Тогда разность между апостериорной и априорной вероятностями работоспособного состояния покажет насколько возросли наши знания о техническом состоянии проверяемого объекта. Если знания о техническом состоянии объекта не изменились, или изменились незначительно, то выбранный диагностируемый параметр малоценен. Следовательно, чем больше разность $\Delta P_c = P_{aj}(S) - P(S)$, тем более ценен для диагностики параметр [17].

В связи с тем, что время диагностирования при техническом сервисе ограничено, то оно должно быть обязательно учтено. Тогда в единицу времени:

$$\varphi_j = \frac{P_{aj}(S) - P(S)}{t} \quad (3.8)$$

где φ_j - ведущая функция процесса; t - время, затрачиваемое на диагностику выбранного параметра.

Из зависимости (3.8) видно, что для выбора диагностируемого параметра важны как приращения апостериорной вероятности работоспособного состояния, так и время, затрачиваемое на диагностику выбранного параметра.

Апостериорная вероятность работоспособного состояния объекта $P_{aj}(S)$ может быть определена по формуле Байеса [9]:

$$P_{aj}(S) = \frac{P(S) \cdot P\left(\frac{S}{a_j}\right)}{R_{aj}} \quad (3.9)$$

где $P(S/a_j)$ - вероятность работоспособного состояния объекта при условии, что выбран для диагностики именно этот параметр a_j ; R_{aj} - полная вероятность события, заключающаяся в том, что выбранный параметр a_j действительно годен для диагностики с вероятностью $(1 - \alpha)$ и негоден с вероятностью β .

Подставляя (3.8) в (3.9) получим:

$$\varphi_j = \frac{P(S)}{t} \cdot \left(\frac{P\left(\frac{S}{a_j}\right)}{R_{aj}} - 1 \right) \quad (3.10)$$

Из формулы (2.50) следует, что ведущая функция процесса φ_j будет иметь максимум при:

$$\frac{P\left(\frac{S}{a_j}\right)}{Ra_j} = \max$$

Таким образом, выбор диагностируемых параметров сводится к следующему. Для всех возможных параметров подсчитывают $P\left(\frac{S}{a_j}\right)/Ra_j$ и ведущую функцию процесса φ_j . Затем выбирают параметр, имеющий максимальное значение φ_j .

Следующий параметр выбирают по аналогичному максимальному φ_k / a_j но с учетом того, что первый параметр выбран наилучшим образом.

Для второго параметра ведущая функция процесса будет иметь вид:

$$\varphi_{k/aj} = \frac{P_{aj} \cdot a_k(S) - P_a(S)}{t} = \frac{P_a(S)}{t} \left(\frac{P\left(\frac{S}{K}\right)}{R_{ak}} - 1 \right)$$

Для последующих параметров определение ведущей функции процесса аналогично. Выбор параметров может продолжаться до тех пор, пока не будет достигнуто ограничение по времени, сложности или требуемой вероятности безотказной работы турбокомпрессора.

При комплексной диагностике, когда одновременно проверяется несколько диагностируемых параметров, ведущая функция процесса определяется соотношением:

$$\varphi_{\Sigma a_j} = \frac{P(S) \cdot \left(\frac{P\left(\frac{S}{a_j}\right) - 1}{R_{a_j}} \right) + P_{a_j} a_k(S) \cdot \left(\frac{P\left(\frac{S}{K}\right) - 1}{R_{a_k}} \right) + P_{a_j} a_k \dots a_n(S) \cdot \left(\frac{P\left(\frac{S}{n}\right) - 1}{R_{a_n}} \right)}{t} \quad (3.11)$$

При этом допускается, что на диагностирование каждого параметра в случае их последовательного выявления затрачивается одинаковое время t .

Как видно из уравнения (3.11) ведущая функция процесса будет в n раз больше той, которая получается при последовательной диагностике параметров. В указанных выше зависимостях вместо времени t можно подставлять стоимость диагностики a_j -го параметра. Тогда выбор диагностируемых параметров будет зависеть от экономических ограничений. Данные теоретические предпосылки могут быть положены в основу разработки для различных видов диагностики комплекса диагностических параметров и соответствующего оборудования. Предпочтение следует отдавать тем приборам и приспособлениям, которые обеспечивают достаточную точность и сравнительно малое время или стоимость на процесс диагностирования того или иного параметра.

Ведущую функцию процесса диагностирования ТКР в общем виде представим зависимостью:

$$\varphi_j = \frac{\Pi_{\Sigma} - \Pi_j}{t} \quad (3.12)$$

где Π_{Σ} - показатель работоспособного состояния ТКР (КПД турбокомпрессора, обороты ротора и др.), принимаем их известными и равными номинальным значениям; Π_j - показатель работоспособного состояния ТКР после диагностики (фактически замеренные показатели).

Зависимость (3.12) представим применительно для следующих параметров:

- оборотов турбокомпрессора

$$\varphi_{jn_{ik}} = \frac{n_{ikn} - n_{ik\phi}}{t} \quad (3.13)$$

- КПД турбокомпрессора

$$\varphi_{jn_{ik}} = \frac{\eta_{ikn} - \eta_{ik\phi}}{t} \quad (3.14)$$

где n_{tkn}, η_{tkn} - номинальные значения оборотов и КПД ТКР технически исправного турбокомпрессора; $n_{tk\phi}, \eta_{tk\phi}$ - фактические значения частоты вращения и КПД ТКР определенные в момент диагностирования; t - время на диагностирование, мин.

Для того, чтобы обеспечить максимум функции $\varphi_{jn_k}, \varphi_{jn_{tk}}$ необходимо, чтобы разность в числителе зависимости (3.13) и (3.14) была наибольшей.

С этой целью необходимо установить предельное уменьшение значения $n_{tk\phi}, \eta_{tk\phi}$ в эксплуатации. В зависимости от поставленных целей, предельное снижение показателей ТКР может быть назначено по различным ограничениям:

- по допустимым ограничениям снижения эффективной мощности, ΔN_e ;
- по допустимым ограничениям увеличения удельного эффективного расхода топлива, Δg_e ;
- по допустимым ограничениям роста теплонапряженности двигателя q_n . Ранее проведенный расчет позволил установить $n_{tk_nped} = 85000$ об/мин,

Следовательно, диагностируемые параметры ТКР n_{tk}, η_{tk} могут быть выбраны в качестве диагностируемых по степени влияния на такие выходные показатели двигателя, как мощность, удельный расход топлива, теплонапряженность и другие.

3.5 Развитие методов оценки технического состояния турбокомпрессора по параметрам его функционирования

Параметры ТКР (давление наддува, расход воздуха, частота вращения вала, КПД), а также выходные параметры двигателя, зависящие от параметров ТКР (мощность, удельный расход топлива, дымность, температура отра-

ботавших газов, теплонапряжённость и др.) являются носителями информации о степени работоспособности турбокомпрессора.

Оценка состояния ТКР по уровню параметров воздухоподачи, температуре отработавших газов, теплонапряженности является, в настоящее время, одним из новых методов определения его исправности в процессе эксплуатации.

Эффективность оценки состояния ТКР по уровню параметров воздухо- подачи и теплонапряжённости определяется:

- уровнем точности контрольно-измерительной аппаратуры, используемой для измерения этих параметров;
- достоверностью технических норм на допускаемые отклонения давления наддува, температуры отработавших газов, теплонапряженности двигателя.

Однако данные оценки применимы чаще для установления предельных значений параметров, по достижению которых объект подлежит капитальному ремонту. Для целей эксплуатации более приемлемы оценки технического состояния ТКР по уровню параметров, характеризующих правильность его функционирования в составе двигателя мобильного сельскохозяйственного агрегата. К таким оценкам могут быть отнесены допускаемые отклонения частот вращения ТКР и его КПД во всем диапазоне скоростной (регуляторной) характеристике двигателя. На ниже приведенных графиках указаны границы эффективной работы турбокомпрессора в составе двигателя мобильного сельскохозяйственного агрегата, построенные с учетом расчетных данных. Зона 1 на графиках (рис. 2.6) и (рис. 2.7) характеризует правильное функционирование агрегата наддува, нижняя граница обусловлена допустимым снижением эффективной мощности двигателя с наддувом в 11% [142]. Зона 2 указывает на работу двигателя в режиме пониженной эффективности, причем эксплуатация проходит с повышением тепловой нагрузки. Падение значений частоты вращения вала турбокомпрессора и его КПД до границы зоны 2 указывает на необходимость комплексного обследования

турбокомпрессора на ближайшем ТО. Зона 3 характеризует состояние при котором дальнейшая эксплуатация может привести к серьёзным повреждениям двигателя, по причине повышенной теплонапряженности.

Задачу диагностики состояния ТКР можно решать на одном из двух уровней.

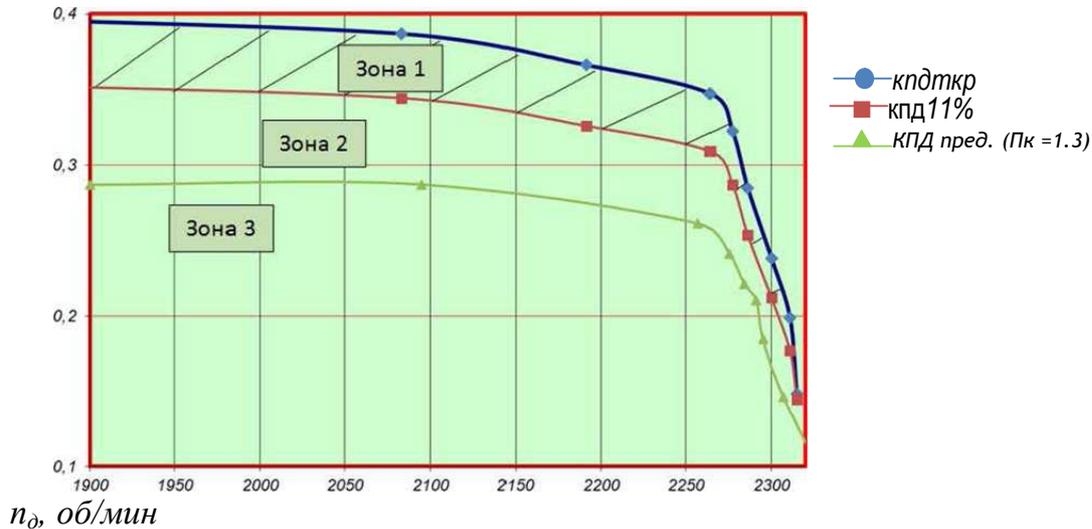
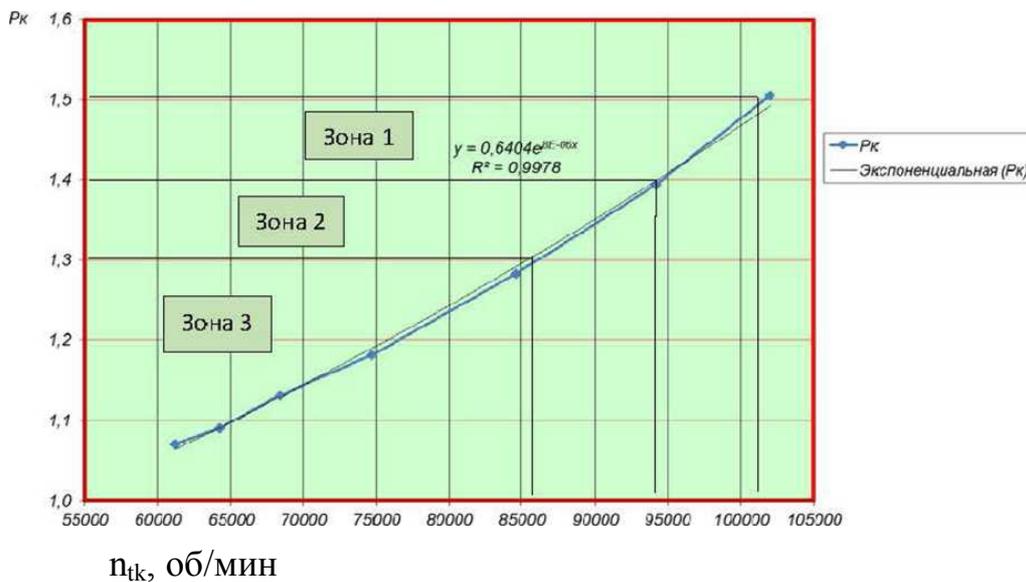


Рисунок 2.6 - Изменение КПД турбокомпрессора от оборотов двигателя



Зона 1-эффективная работа двигателя;
 Зона 2- неэффективная работа двигателя;
 Зона 3- предельная теплонапряженность деталей двигателя и ТКР.

Рисунок 2.7 – Зональное распределение эффективной работы системы наддува

На первом уровне принятие решений о состоянии объекта может производиться двумя подходами.

Методы оценки технического состояния ТКР на сравнении фактических или расчётных значений параметров двигателя с техническими

нормами на допускаемые отклонения этих параметров или на сравнении темпов изменения параметров по мере выработки ресурса.

Обычно производят оценку состояния в данный момент времени без использования априорной информации о предистории состояния и, следовательно, без каких-либо дальнейших его прогнозов. Такой подход фактически совпадает с процедурой контроля состояния и относится к диагностическим методам до пускового контроля, т.е. если значения параметров находятся в пределах технических норм, считается, что состояние объекта относится к категории годных, а если значения параметров находятся за пределами технических норм, то к категории дефектных. Такой подход, к оценке состояния при наличии достоверных технических норм получил широкое распространение в эксплуатации. Этот способ предполагает наличие взаимосвязи между технической нормой и состоянием двигателя на различных режимах работы [103, 104, 143, 155, 156].

Использование такого подхода для оценки состояния является достаточно простым при наличии априорного решения вопросов, связанных с обоснованием выбора конечного числа диагностических параметров и с разработкой методов расчёта технических норм. Поэтому отождествление технических норм X_T с диагностическим допуском X_D , т.е. принятие $X_T = X_D$ неблагоприятно сказывается на правильности получаемого ответа при оценке состояния и предполагает появление в диагностическом процессе таких ситуаций, когда часть годных изделий будет признаваться дефектными, а часть дефектных - годными. Это обстоятельство порождает необходимость решения дополнительных вопросов по определению оптимальных допусков на выходные параметры.

Второй подход основан на оценке характера и динамики изменения параметров. При его использовании требуется дискретное или непрерывное измерение параметров по времени. Признаком изменения состояния в данном случае является момент времени t , который соответствует началу изменения параметров отличного от типового протекания. Начало

изменения состояния в данном случае определяется моментом времени t_i скоростью изменения параметров. Информативность такого метода оценки состояния может быть повышена при использовании одновременно нескольких параметров, взаимосвязанных между собой в соответствии с моделью двигателя.

Оценку момента начала нештатного изменения параметров можно производить различными методами:

- методом определения момента начала изменения параметров, основанного на анализе тренда параметров, путём сравнения значений результатов измерения на различных участках измерения;

- методом спектрального анализа, основанным на выделении из сигнала вторичных признаков, путем перевода исследований из временной области в частотную область. Применение спектрального анализа, во многих случаях, позволяет получить эффективное распознавание состояния дизельного двигателя с газотурбинным наддувом, что объясняется наличием в двигателе неисправностей, проявляющихся в росте амплитуд отдельных периодических составляющих в спектральном составе сигналов, поступающих от датчиков контролируемых параметров. Однако сложный и длительный анализ спектров, большой объём необходимой априорной информации не всегда позволяют получать, на базе спектрального метода, конструктивные алгоритмы распознавания состояний двигателя в масштабе реального времени;

- методом определения нештатного изменения параметров, основанного на моделировании дискретных измерений параметров в процессе наработки моделями авторегрессии. Модели авторегрессии достаточно эффективно используются для анализа временных рядов, которыми можно математически описывать реализации дискретных измерений параметров двигателя по времени наработки. Модель авторегрессии представляет собой запись колебательного процесса на входной широкополосный процесс, типа белого шума, что соответствует природе дискретных измерений параметров двигателя, состоящих из

действительного значения измеряемой величины и случайной ошибки измерения в виде белого шума. Момент изменения свойств реализаций результатов измерений, при использовании моделей авторегрессии, определяется из условия обеспечения максимума функции правдоподобия.

На втором уровне оценка состояния сводится не только к распознаванию годного и негодного двигателя, но и к определению места локализации дефекта, выявлению внутренних причин появления признаков дефектного состояния. В этом случае по информации, которую несут параметры воздухоподдачи, теплонапряжённости с помощью детерминированных или вероятностных моделей объекта диагностики определяются причины дефектного состояния ТКР.

Для формирования методов диагностики в любом случае требуется решение вопросов, связанных с построением моделей объекта диагностики и с выбором наиболее информативных параметров, характеризующих техническое состояние правильного функционирования турбокомпрессора.

Выводы по главе 3

Таким образом, проведенные во 3-й главе теоретические исследования позволяют сформировать следующие выводы:

1. Для изучения взаимосвязей показателей работы двигателя и турбокомпрессора разработана математическая модель в виде аналитических зависимостей давления наддува, давления перед турбиной, КПД турбокомпрессора и критерия теплонапряженности двигателя.

2. Обосновано соотношение частот вращения $\frac{n_{т2}}{n_t}$ (по регуляторной характеристике), которое может быть принято в качестве оценочного диагностического показателя технического состояния правильного

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

Выполнение ТО относится к числу ответственных и трудоемких работ по поддержанию агрегатов в работоспособном состоянии. Одним из путей, обеспечивающих снижение трудоемкости и повышения качества выполнения ТО, является внедрение в этот процесс новых средств и методов диагностирования [92, 94].

Современная тенденция развития средств диагностики предполагает наличие оборудования, позволяющего проводить безразборную диагностику узлов и агрегатов [80]. Как было изложено выше, до последнего времени диагностика турбокомпрессоров производится органолептическими методами, либо путем измерения структурных параметров, требующего разборки агрегата. Разработанная автором методика диагностирования турбокомпрессоров относится к безразборным моторным методам и может быть использована при проведении различных видов технического обслуживания на станциях технического обслуживания, сервисных центрах и ремонтных предприятиях [86, 173, 174]. При разработанном методе диагностирования операции монтажа датчиков и их подключение производятся без демонтажа турбокомпрессора с двигателя и полной, либо частичной его разборки. Обработка данных производится при помощи ЭВМ, что позволяет повысить производительность труда мастера-диагноста. Заложенный в программное обеспечение принцип локализации неисправности дает возможность повысить качество диагностических работ и при этом снизить требования к квалификации мастеров. Универсальность разработанного оборудования делает его незаменимым в линейке приборов, необходимых для диагностики системы наддува автотракторных двигателей.

Наибольшую эффективность использования любого диагностического оборудования можно получить при правильном обращении с приборами, средствами и при рациональной технологии диагностирования [153].

Диагностирование системы наддува автотракторного двигателя производится в соответствии с технологией, изложенной в таблице 4.1.

Диагностирование начинается с опроса оператора о работе двигателя и его систем, изменения внешних органолептических параметров, позволяющего составить представление о наличии неисправности в определенных системах и оценить техническое состояние двигателя. Затем производится внешний осмотр двигателя и детальный осмотр турбокомпрессора на предмет наличия гидравлических утечек газов и жидкостей, механических повреждений и разрывов патрубков. При отсутствии внешних признаков неисправности турбокомпрессора его диагностика проводится в следующем порядке, указанном в таблице 4.1.

Для проведения рационального процесса определения технического состояния турбокомпрессора в предлагаемой методике процесс диагностирования разбивается на два этапа (режима). На первом этапе мастер-диагност производит контроль параметров частоты вращения вала турбокомпрессора при помощи разработанного устройства определения частоты вращения вала турбокомпрессора. На основе полученной диагностической информации, мастер-диагност сможет сделать заключение о техническом состоянии узла, частично локализуя неисправность на первом этапе.

На втором режиме при помощи программы для ЭВМ «Программа определения технического состояния турбокомпрессора» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2014616619) и разработанных приборных средств, производится детальное диагностирование эффективности работы турбокомпрессора, следующим образом. Вначале вместо штатных патрубков устанавливаются патрубки, имеющие входные отверстия под датчики температуры и давления. Затем полученные данные вводятся в программное обеспечение, где происходит расчет значений КПД турбокомпрессора. Рассчитанные значения КПД турбокомпрессора сверяются с установленными по данным завода-изготовителя.

Снижение одного из параметров дает возможность окончательной локализации неисправности.

При проведении подготовительных и диагностических работ необходимо соблюдать установленные правила техники безопасности в соответствии с содержанием проводимых операций.

Весь процесс определения работоспособности турбокомпрессора дизельного двигателя при помощи разработанной методики составляет от 15 до 30 минут.

Типовая технология диагностирования турбокомпрессора предусматривает измерение структурных параметров агрегата и проверку на специализированном стенде марки «TurboTest» СИМАТ, для чего, требуется демонтаж ТКР с двигателя.

После проведения процесса диагностирования необходимо установить технологические заглушки на свои штатные места, снять переходные проставки.

В таблице 4.2 приведены стоимости диагностирования по типовой и предлагаемой технологии. Цена отдельных диагностических операций представлена на состояние 01.09.2016 г. в г. Рязани по данным станций технического обслуживания. Как видно из таблицы 5.2, общая стоимость диагностических работ по предлагаемой технологии на 3500 руб. ниже по сравнению с типовой за счет сокращения числа диагностических операций.

Таблица 4.1 - Стоимость услуг диагностирования

Наименование	Типовая технология, руб.	Предлагаемая технология, руб.
Внешний осмотр	100	100
Диагностирование I этап	-	400
Диагностирование II этап	-	1000
Снятие турбокомпрессора с ДВС	500	-
Проверка ТКР на стенде	2000	-
Проверка давления наддува ГОСТ АМ-1К	400	-
Проверка герметичности впускного тракта КП-13948	500	-
Проверка сопротивления воздухоочистителя ДНМ-100	200	-
Проверка выпускной системы	800	-
Разборка турбокомпрессора	500	-
Диагностический вывод	-	-
Итого	5000	1500

Таблица 4.2 - Стоимость диагностического оборудования

Наименование	Типовая технология, руб.	Предлагаемая технология, руб.
Стенд «TurboTest» СИМАТ(Польша)	800000	-
Прибор для проверки герметичности впускного тракта КП-13948	3 945	-
Манометр для проверки сопротивления воздухоочистителя ДНМ-100	1 830	-
Манометр для проверки выпускной системы МПТИ-У2	3 300	-
Разработанный компьютеризированный система с датчиками:	-	-
- система датчиков	-	3 800
- плата сбора данных NI USB -6009 компании National Instruments	-	13 800
- персональный компьютер ASUS X200M	-	14300
- комплекс ZETLAB	-	36000
- набор оснастки	-	3000
Итого	809075	70900

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель, позволяющая комплексно изучать взаимосвязи показателей работы двигателя и турбокомпрессора. Установлено, что работоспособность ТКР в эксплуатации может быть оценена системой показателей: КПД турбокомпрессора и частотой вращения ротора во всем диапазоне изменения скоростного режима работы двигателя. Получены количественные оценки показателей правильного функционирования турбокомпрессора в условиях моторных испытаний двигателя на номинальном режиме.

2. Разработана методика оценки качества функционирования ТКР в эксплуатации по частоте вращения ротора ТКР и его разгонным характеристикам. Обосновано, что соотношение частот вращения ротора турбокомпрессора в эксплуатации относительно нормативной, устанавливаемой заводом изготовителем, может быть принято в качестве оценочного диагностического параметра технического состояния турбокомпрессора.

3. Разработана методика расчета предельных по теплонапряженности двигателя значений КПД турбокомпрессора.

4. Разработана технология диагностирования системы наддува двигателей мобильной техники, позволяющая в эксплуатации получить экономический эффект на программу 100 диагностирований в сумме 118530 руб. в год.

Литература

1. Алексеев О. А. Обоснование средств диагностирования турбокомпрессоров мобильных энергетических средств: автореф. дис. канд. техн. наук / О. А. Алексеев. - Оренбург: Оренбургский ГУ, 2007. - 16 с.
2. Ананьин А. Д. Диагностика и техническое обслуживание машин / А. Д. Ананьин, В. М. Михлин, И. И. Габитов, А.В. Неговора - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 432 с.
3. Асатурян С.В. Совершенствование методики и средств диагностирования тракторных двигателей с турбонаддувом / автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Зерно град. - 2010. - 18с.
4. Ахметов Г.М. Исследование и обоснование безмоторных методов испытания дизелей с газотурбинным наддувом / автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М. - 1980. - 27 с.
5. Баширов Р.М. Основы теории и расчета автотракторных двигателей. - Уфа: БГАУ, 2008. - 304 с.
6. Байков Б. И. Турбокомпрессоры для наддува дизелей / Байков Б. П., В. Г. Бордуков, И. В. Иванов, Р. С. Дей. - Л.: Машиностроение Ленинградское отделение, 1975. - 84 с.
7. Баутин В. М. Информационные ресурсы инженерно-технические системы АПК / В. М. Баутин, Д. С. Буклагин, Э. Л. Аронов, Д. Д. Демидов. - М.: Росинформагротех, 2001. - 56 с.
8. Бельских В. И. Справочник по техническому обслуживанию и диагностированию тракторов / В. И. Бельских. - М.: Россельхозиздат, 1986. - 399 с.
9. Бельских В. И. Диагностирование и обслуживание

сельскохозяйственной техники / В. И. Бельских. - М.: «Колос», 1980. - 575 с.

10. Биргер И. А. Техническая диагностика /И. А. Биргер. - М.: Машиностроение, 1978. - 240 с.

11. Бобков Ю. К. Техническая диагностика двигателей внутреннего сгорания по параметрам рабочих процессов / Ю. К. Бобков, Ю. М. Горский, Е. А. Чернышев. -М.: ГОСНИТИ, 1973.- 172 с.

12. Буклагин Д.С., Гольтяпин В.Я., Колчина Л.М., Соловьева Н.Ф., Толкачев Н.Н. Состояние и перспективные направления автоматизации сельскохозяйственных агрегатов. Аналит. обзор. - М.: ФГНУ «Роеинформагро-тех», 2005. - 128 с.

13. Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Юхин И.А., Жуков К.А., Гусаров С.Н. Повышение готовности к использованию по назначению мобильной техники совершенствованием системы диагностирования. Монография. - Рязань: Издательство «ФГБОУ ВПО РГАТУ», 2013. - 187 с.

14. Бышов Н.В. Периодичность контроля технического состояния мобильной сельскохозяйственной техники / Бышов Н.В., Борычев С.Н., Кокорев Г.Д., Успенский И.А., Юхин И.А., Синицин П.С., Карцев Е.А., Николотов И.Н., Гусаров С.Н. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 81. С. 390-400.

15. Васильев Ю. А. Повышение эффективности диагностирования машин / Ю. А. Васильев //Вестник сельскохозяйственной науки. 1989. - № 10. С. 122-127.

16. Величкин И. Н. Факторы, влияющие на надежность машин / И. Н. Величкин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1999. - №8.

17. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. - М.: «Наука», 1969. - 572 с.

18. Власкин В.В. Повышение долговечности турбокомпрессоров ди-

зельных двигателей восстановлением изношенных деталей методом электроискровой обработки / автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Саранск. - 2004. - 18 с.

19. Волков А. В. Виброакустическая диагностика тепловозных турбокомпрессоров: автореф. дис. канд. техн. наук / А. В. Волков, РГУПС. - Ростов- на-Дону, 2005.

20. Габитов И.И. Совершенствование технологии и средств технического сервиса автотракторной и мобильной техники. / Габитов И.И., Негово- ра А.В.// В сборнике: Перспективы инновационного развития АПК Материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXIV Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2014». 2014. С. 167-173.

21. Гаврилов К.Л. Профессиональная диагностика ДВС, систем: топливоснабжения, зажигания, энергоснабжения, пуска автомобилей, дорожностроительных и сельскохозяйственных машин. - СП.: Федеральное Государственное Учреждение «Российский центр сельскохозяйственного консультирования», 2012. - 720 с.

22. Дятлов. В.А., Кабанов А.Н., Милов Л.Т. Контроль динамических систем. -Л.: Энергия, 1978. 88 с., - ил.

23. ГОСТ 18509-88 (СТ СЭВ 2560-80). Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. - М.: Изд-во стандартов, 1988. - 70 с.

24. ГОСТ 20417-75. Техническая диагностика. Общие положения о порядке разработки систем диагностирования. - М.: Изд-во стандартов, 1975. - 4 с.

25. ГОСТ 20760-85. Техническая диагностика. Тракторы. Параметры и качественные признаки технического состояния. - М.: Изд-во стандартов, 1975.-12 с.

26. ГОСТ 23435-79. Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания. Номенклатура диагностических параметров. - М.:

Изд-во стандартов, 1979. - 8 с.

27. ГОСТ 23564-79 Техническая диагностика. Показатели диагностирования. - М.: Изд-во стандартов, 1980. - 16 с.

28. ГОСТ 24925-81 Техническая диагностика. Тракторы. Приспособленность к диагностированию. - М.: Изд-во стандартов, 1981. - 14 с.

29. ГОСТ 25044-81 Техническая диагностика. Диагностирование автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин. Основные положения. - М.: Изд-во стандартов, 1981. - 9с.

30. ГОСТ 25176-82 Техническая диагностика. Средства диагностирования автомобилей, тракторов, строительных и дорожных машин. Классификация. Общие технические требования. - М.: Изд-во стандартов, 1982. - 17 с.

31. ГОСТ 27.310- 95. Анализ видов, последствий и критических отказов. - Минск. Изд-во Стандартов, 1995. - 12 с.

32. ГОСТ 53637-2009. Турбокомпрессоры автотракторные. Общие технические требования и методы испытаний. - М.: Стандартинформ, 2010. - 10 с.

33. ГОСТ 7057-86. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 25 с.

34. ГОСТ 22870-84. Техническая диагностика. Тракторы сельскохозяйственные. Правила диагностирования. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 8 с.

35. Государственная система обеспечения единства измерений. Динамические измерения. Термины и определения. МИ 1951-88. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 17 с.

36. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах / В. С. Гутников // 2-е изд., переработ, и доп. - Л.: Энергоатомиздат, 1988.- 132 с.

37. Диагностика, надежность и ремонт машин: Сб. науч. тр./

Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. - М.: МАУ, 1995.-80 с.

38. Дизели 2-245.7, Д-245.9, Д-245.12С. Руководство по эксплуатации 245.7 – ОО01ОРЭ. - Минск. - 2008. 79 с.

39. Дизели. Справочник / Изд. 3-е. Под общей ред. В. А. Ваншейдта. - Л.: Машиностроение, 1977. -477 с.

40. Добролюбов И.П. Обоснование признаков классификации приэкспресс - экспертизе состояния ДВС с помощью измерительного технологического комплекса // Двигателестроение. - 1999. - №2. - С.25-29.

41. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Альт В.В. Информационная ценность признаков при распознавании состояния ДВС измерительной экспертной системой //Агроинженерная наука - итоги и перспективы: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. - Новосибирск: НГАУ, 2004. - Ч. 2. - С.226 - 234.

42. Дорошко С.М. Контроль и диагностирование технического состояния газотурбинных двигателей по вибрационным параметрам,- М.: Транспорт, 1984.-128с.

43. Доценко Б.И. Диагностирование динамических систем. - К.: Техника, 1983.- 159 с.

44. Дьяков Р.А. Воздухоочистка в дизелях. - Л.: Машиностроение, 1975.-152 с.

45. Дьячков А.Я. Управление процессом сгорания топлива в дизеле с учетом режимов его работы / Межвузовский сборн. научн. трудов. - Пермь,1988. - С. 107.

46. Ждановский Н. С., Аллилуев В. А. , Шхлин В. М. Диагностика автотракторных двигателей с использованием электронных приборов. М-Л.: ГОСНИТИ, 1973.- 125 с.

47. Ждановский Н.С., Улитовский Б. А., Аллилуев В. А. Диагностика дизелей автотракторного типа. М: Колос, 1970. - 32 с.

48. Иванов Н. Б. , Маркова Г. И. , Казуро Л. С. Каталог средств

измерений, испытаний, контроля и диагностирования, применяемых при ремонте и техническом обслуживании тракторов и сельскохозяйственных машин. М.: ГОСНИТИ, 1988. -65 с.

49. Игнатов В. А., Уланский В. В. , Горемыкин В. К. Эффективность систем диагностирования // Оценка характеристик качества сложных систем и системный анализ. / Сб. науч. тр. М.: АН СССР, 1978. - С. 134-141.

50. Инструкция по оценке экономической эффективности создания и использования диагностических средств. М.: ГОСНИТИ, 1978. - 81 с.

51. Иншаков А. П. Автоматизированный комплекс для диагностирования систем наддува воздуха в двигателях МЭС / А. П. Иншаков, А. Н. Кувшинов, И. И. Курбаков // Тракторы и сельхозмашины. - 2012. - № 10. - С. 16 -18.

52. Иншаков А. П. Способ диагностирования системы воздухоподдачи тракторного дизеля / А. П. Иншаков, И.И. Курбаков, А. Н. Кувшинов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2014. - №3.-С. 67-71.

53. Иншаков А. И. Диагностирование турбокомпрессора автотракторного дизельного двигателя на обкаточно-тормозном стенде КИ 5543 ГОС- НИТИ / А. И. Иншаков, А. И. Кувшинов, И.И. Курбаков, О.Ф. Корнаухов // Тракторы и сельхозмашины. -2014. - №1. - С. 39-41.

54. Иншаков А. И. Экспериментальные исследования системы диагностирования турбонаддува автотракторного двигателя Д-245-35 / А. И. Иншаков, А. И. Кувшинов, И.И. Курбаков, О.Ф. Корнаухов // Тракторы и сельхозмашины. - 2014. - №5. - С. 45 - 47.

55. Иншаков А. И. Диагностика турбокомпрессоров на стенде КИ-5543/ А. И. Иншаков, А. И. Кувшинов, И.И. Курбаков, О.Ф. Корнаухов // Сельский механизатор. -2013.-№12.-С.39.

56. Иншаков А. И. Программный комплекс «ДИЗЕЛЬ РК» / А. И.

Иншаков, И.И. Курбаков // Сельский механизатор. - 2013. - №12. - С. 45.

57. Иншаков А. И. Аппаратное средство контроля работоспособности турбокомпрессора / А. И. Иншаков, И.И. Курбаков, А. И. Кувшинов // Энерго- эффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. на- уч. тр. / редкол.: А.В. Котин [и др.]. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. - С. 137-141.

58. Иншаков А. И. Диагностика турбокомпрессоров с помощью информационно-измерительного комплекса. / А. И. Иншаков, И.И. Курбаков, А. И. Кувшинов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. / редкол.: А.В. Котин [и др.]. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. - С. 142-143.

59. Иншаков А. П. Средство получения диагностической информации при моторных испытаниях турбокомпрессора. / А. П. Иншаков, А. Н. Кувшинов, О.Ф. Корнаухов, И.И. Курбаков // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники-Уфа: Изд-во БГАУ, 2013. -С. 133 - 137.

60. Иншаков А. И. Влияние неисправностей в системе воздухоподачи на показатели наддува автотракторного двигателя. / А. И. Иншаков, А. И. Кувшинов, И.И. Курбаков, О.Ф. Корнаухов // Вестник Нижегородской сельскохозяйственной академии. 2013. Том 3- И.Новгород, Т.3. 2013. - С. 71 - 75.

61. Иншаков А. И. Лабораторный информационно-измерительный комплекс для моторных испытаний турбокомпрессора. / А. И. Иншаков, А. И. Кувшинов, И.И. Курбаков, О.Ф. Корнаухов // Вестник Нижегородской сельскохозяйственной академии. 2013. Том 3- И.Новгород, Т.3. 2013. - С. 75 - 80.

62. Иншаков А.И. Использование современных вычислительных средств и плат сбора данных при исследовании систем наддува дизельных двигателей на обкаточно-тормозном стенде КИ 5543 ГОСНИТИ./А.П.

Иншаков, А.Н. Кувшинов, И.И. Курбаков // Промышленный салон. Ремонт. Восстановление. Реновация // Материалы V Международной научно- практической конференции. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. - 261 с.

63. Иншаков А.П. Информационно-измерительный комплекс для диагностики турбокомпрессоров тракторных дизелей / А.П. Иншаков, И.И. Курбаков, А.Н. Кувшинов // Научное сопровождение инновационного развития агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы: Материалы 65-й международной научно-практической конференции 20-21 мая 2014 года- Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехно логического университета, 2014. - Часть 2. - 237 с. С. 101-104

64. Иншаков А. И. Измерительные модули для диагностики турбокомпрессоров / А. И. Иншаков, А. И. Кувшинов, С. С. Родионов // Сельский меха-низатор. -2011.- №8. - С. 40 - 41

65. Иншаков А. П. Контроль давления наддува при диагностировании турбокомпрессоров тракторных дизелей / А. П. Иншаков, А. Н. Кувшинов // Тракторы и сельхозмашины. - 2011. - № 1. - С. 24 - 25.

66. Иншаков А. И. Необходимость комплексного подхода к диагностированию систем наддува тракторных дизелей / А. И. Иншаков, А. Н. Кувшинов, О. Ф. Корнаухов // Тракторы и сельхозмашины. - 2012. - № 10.-С. 15 - 16.

67. Иншаков А. И. О средствах и методах диагностирования мобильных энергетических средств / А. И. Иншаков, А. Н. Кувшинов, А. В. Настюшкин, А. В. Филин // XXXVII Огаревские чтения: материалы науч. конф. в 3 ч. Ч. 3 : Технич. науки. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. - 160 с.

68. Иншаков А.П. К вопросу обоснования пределов варьирования

показателей работы тракторного дизеля с газотурбинным наддувом // Техническое обеспечение перспективных технологий: Сб. науч. тр. - Саранск, 1995. - С. 7

69. Иншаков А.П. Корректирование топливоподачи по давлению наддува как способ улучшения эксплуатационных свойств МТА // Международная научно-техническая конференция «Новые методы ремонта и восстановления деталей сельскохозяйственных машин»: Сб. материалов. - Саранск, 2001. - С. 136-139.

70. Иншаков А.П. Обоснование целесообразности регулирования топливоподачи двигателя по давлению наддува с целью улучшения эксплуатационных показателей машинно-тракторного агрегата. Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. - Челябинск, 1979. - 18 с.

71. Иншаков А.П. Основы расчёта и испытания автотракторных двигателей: Учеб, пособие. - Саранск Изд-во Мордов. ун-та, 2001. -212 с.

72. Иншаков А.П. Особенности взаимосвязей показателей работы тракторного двигателя с газотурбинным наддувом в условиях сельскохозяйственной эксплуатации // Вопросы механизации сельского хозяйства Нечернозёмной зоны РСФСР: Межвуз. темат. сб. науч. тр. - Саранск, 1980. - с. 172-175.

73. Иншаков А.П. Применение метода малых отклонений при теоретическом исследовании взаимосвязи показателей работы тракторного двигателя с газотурбинным наддувом. - М., 1988. - Деп . в ЦНИИТЭИ тракторо- сельхозмаш № 983 - ТС 88.

74. Иншаков А.П., Ветчинников М.Н. Основы теории, расчёта и моделирования процессов в автотракторных двигателях с использованием средств компьютерной графики: Учеб, пособие. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1999.-112с.

75. Иншаков А.И., Крючков С.В. методические аспекты разработки

универсальной системы контроля эксплуатационных качеств МТА // Международная научно-техническая конференция «Новые методы ремонта и восстановления деталей сельскохозяйственных машин»: Сб. материалов. - Саранск, 2001.-С. 129-136.

76. Иншаков А.П., Резепов А.В. Особенности переходных процессов тракторного двигателя с газотурбинным наддувом в условиях сельскохозяйственной эксплуатации // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара «Разработка и оптимизация динамических характеристик двигателей мобильных сельскохозяйственных комплексов». - Казань, 1991.-С. 23-24.

77. Калявин В.И., Мозгалевский А.В. Технические средства диагностирования. - Л.: Судостроение, 1984. - 210 с

78. Киртбая Ю. К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка. -М.: Колос, 1982.-136 с.

79. Ключев В. В., Пархоменко И. И., Абрамчук В. Е. и др. Технические средства диагностирования. Справочник. - М.: Машиностроение, 1989.- 672 с.

80. Кокорев Г.Д. Методология совершенствования системы технической эксплуатации мобильной техники в сельском хозяйстве. Монография. - Рязань: Издательство «ФГБОУ ВПО РГАТУ», 2013. - 239 с.

81. Колемаев В.А., Староверов О. В, Турундаевский В.Б. Теория вероятностей и математическая статистика.- М.: Высшая школа, 1991. - 400 с.

82. Колесник П.А., Шейнин А.А. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. М.: Транспорт, 1985. 325 с.

83. Колчин А.В., Бобков Ю.К. Новые средства и методы диагностирования автотракторных двигателей. - М.: Колос, 1982. - 110 с.

84. Колчин А.В., Каргиев Б.Ш., Доронин Д.В. Технологическое руководство по контролю и регулировке тракторных и комбайновых дизелей при эксплуатации. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. - 136 с.

85. Колчин А.В., Каргиев Б.Ш., Саяпин С.Н., Филиппова Е.М., Юсипов Р.Т. Технологическое руководство по контролю и регулировке дымности и токсичности отработавших газов дизелей тракторов и самоходных машин (сельскохозяйственных, дорожно-строительных и др.). - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. - 84 с.

86. Концепция развития технического сервиса в АПК России на период до 2010 года. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. - 200 с.

87. Корн Г.К., Корн Т.К., Справочник по математики для научных работников и инженеров. -М.: Наука, 1984. - 831 с.

88. Коровин А. И. Диагностирование автомобильных дизельных двигателей по амплитудным параметрам колебаний давления отработавших газов: Автореф. дис. канд. техн. наук. /МАДИ. -Харьков, 1983. 21 с.

89. Костин А. К., Ларионов В.В., Михайлов Л. И. Тепло напряжённость двигателей внутреннего сгорания. Справочное пособие.- Л.: Машиностроение Ленингр. Отд-ние, 1979.-222с.

90. Костин А.К., Пугачев Б.П., Кочинев Ю.Ю. Работа дизелей в условиях эксплуатации. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. - 284 с.

91. Краскевич В.Е., Зеленский К.Х., Гречко В.И. Численные методы в инженерных исследованиях. - К.: Вицашк. Головное изд-во, 1986. - 263 с.

92. Кувшинов А. Н. Комплексная схема системы диагностирования турбокомпрессоров тракторных дизелей / А. Н. Кувшинов // Тракторы и сельхоз-

93. КузнецовЕ. С., Воронов В. И., Болдин А. П. и др. Техническая эксплуатация автомобилей. М.: Транспорт, 1991. - 413 с.

94. Кузнецов П. И., Пчелинцев Л.А. Последовательное обучение систем диагностики. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 112 с.: ил.

95. Курбаков И. И. Исследование показателей работы

турбокомпрессора ТКР 6.1. / И.И. Курбаков, О. Ф. Корнаухов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвуз. сб. науч. тр. / редкол.: А.В. Котин [и др.]. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. - С. 144 - 145.

96. Курбаков И. И. Исследование показателей двигателя при нарушении воздухоподачи // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : межвуз. сб. науч. тр. / редкол.: А.В. Котин [и др.]. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. - С. 145 - 147.

97. Курбаков И.И Теоретическое обоснование предельного значения давления наддува для диагностирования турбокомпрессоров автотракторных двигателей // Научное сопровождение инновационного развития агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы: Материалы 65-й международной научно-практической конференции 20-21 мая 2014 года. - Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехно логического университета, 2014. - Часть 2. - 237 с. С. 125-130

98. Лихачёв В.С. Испытания тракторов. - М.: Машиностроение, 1974. - 282 с.

99. Левцев А.И. Оценка и управление энергетическими процессами сельскохозяйственных агрегатов. Автореф. дис. на соискание уч. ст. докт. техн. наук / Мордовский государственный университет им. И.И. Огарева. Саранск, 2005. - 35 с.

100. Лезин И.И. Основы научных исследований использования сельскохозяйственной техники: Учебное пособие. - Саранск: Изд. Мордов. ун-та, 1983.-79 с.

101. Лянденбургский В.В. Совершенствование встроенной системы диагностирования автомобилей КАМАЗ с использованием мониторинга технического состояния транспортных средств / Лянденбургский В.В., Родионов Ю.В., Рыбакова Л.А. // Автотранспортное предприятие. 2014. № 1. С. 51-54.

102. Лянденбургский В.В. Совершенствование комплекса КАД300

для диагностирования двигателей автомобилей Лянденбургский В.В. монография/ В. В. Лянденбургский; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Пензенский гос. ун-т архитектуры и стр-ва». Пенза, 2012.

103. Лянденбургский В.В. Программа поиска неисправностей дизельных двигателей / Лянденбургский В.В., Тарасов А.И., Кривобок С.А. // Контроль. Диагностика. 2012. № 8. С. 17-20.

104. Лянденбургский В.В. Программа поиска неисправностей транспортных средств / Лянденбургский В.В., Тарасов А.И., Федосков А.В., Кривобок С.А. // Контроль. Диагностика. 2012. № 8. С. 23.

105. Лянденбургский В.В. Динамичная система технического обслуживания автомобилей / Лянденбургский В.В., Федосков А.В., Мнекин П.А. // Грузовик. 2012. № 8. С. 16-19.

106. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2 х т.: Пер с Франц. - Мир, 1983. Т.2. - 256 с.

107. Марушкин Ю. А. Анализ методов и средств диагностирования турбокомпрессоров ДВС / Ю. А. Марушкин, В. В. Власкин, Е. Брейкин // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: материалы Всерос. науч. - техн. конф., 19-23 окт. 2009 г - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. - 560 с.

108. Мельников С. В., Алешин В. Р., Рощин Е. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. 1. Л.: Колос, 1980. 168 с.

109. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытноконструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М : ВАСХНИЛ, 1980. -116 с.

110. Методика определения экономической эффективности

технологий и сельскохозяйственной техники. - М.: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации. Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, 1998.- 220 с.

111. Методы и средства диагностирования сельскохозяйственной техники, - М.: АгроНИИТЭИИТО, 1989. 7-15 с.

112. Миленький В.С., Шаровар Т.А. Оценка ресурсов деталей в зависимости от их сменяемости в эксплуатации // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1986. -Вып.29.

113. Михлин В.М. Прогнозирование технического состояния машин. М.: «Колос» 1976.-106-110 с.

114. Михлин В.М. Методические указания по прогнозированию технического состояния машин./ Михлин В.М., Сельцер А.А. // М.: Колос, 1972. - 17 с.

115. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1984. - 333 с.

116. Мозголевский А. В., Гаскаров Д. В. Техническая диагностика. М.: Высшая школа, 1975. - 207 с.

117. Морозов А.Х. Техническая диагностика в сельском хозяйстве. - М.: Колос, 1979. - 207 с., ил.

118. Надежность и эффективность в технике / Авдучевский А.В., И.В. Апполонов, Е.Ю. Барзилович и др. М.: Машиностроение, 1986-223 с.

119. Налимов В. В. , Чернова Е. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965.

120. Неговора А.В. Улучшение эксплуатационных показателей авто-тракторных дизелей совершенствованием конструкции и технологии диагностирования топливоподающей системы /автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Санкт-Петербург.-2004.-32 с.

121 Неговора А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей:

- Учебно- практическое пособие.- Уфа: Изд-во ООО «Башдизель» -2006.-150
122. Никитин Е.А. Станиславский Л.В. Диагностирование дизелей. М.: Машиностроение, 1987. — 318с.
123. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. -М.: Колос, 1984. - 335 с.
124. Новиков Г.В. Бортовые компьютерные системы информационной автоматики на зарубежных тракторах // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1991. № 5. - С. 47.
125. Новиков Г.В. Новое поколение приборов и средств электронной автоматики фирмы RDSTechnology// Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1991. № 8. - С. 49.
126. Новицкий Е В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. М : Энергоатомиздат, 1985. - 248 с.
127. Новиченко А.Н. Повышение безотказности техники средствами диагностирования // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2006.-№ 10.
128. Ополоник Т.И. Эффективность диагностирования тракторов. М.: РОСАГРОПРОМИЗДАТ, 1998.-4-17,22-65, 109-110 с.
129. Орлин А.С Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1983.-372 с.
130. Осис Я. Я., Гельфандбейн Я. М., Маркович З. Е. и др. Диагностирование на графмоделях. М.: Транспорт, 1982. - 224 с.
131. ОСТ 70.0001.225-86. Техническая диагностика. Диагностирование тракторов и сельскохозяйственных машин. Общие требования. М.: ГОСНИ- ТИ 1986. - 15 с.
132. Пархоменко Е Е Основы технической диагностики. М.: Энергоиз- дат, 1985. - 265 с.
133. Пат. 145761 Российская Федерация, МПК

GO1P3/00. Устройство для измерения частоты вращения вала турбокомпрессора / А. П. Иншаков, И. И. Курбаков, А. Н. Кувшинов, О. Ф. Корнаухов, патентообладатель ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». - № 2013157453 ; заявл. 24.12.2013 ; опубл. 27.09.2014, Бюл. №6. - 8 с.: ил.

134. Патрахальцев Н.Н., Севастенко А.А. Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом: -М.: Легион- Авто дата, 2007. - 176 с.: ил.

135. Положение о диагностировании машин в РАПО. М.: ГОСНИТИ, 1986.-24 с.

136. Положение о диагностировании машин. М.: ГОСНИТИ, 1988. - 72 с.

137. Принципы анализа и обработки диагностических сигналов / методические рекомендации. Ч. 2. - Новосибирск, 1981. - 54 с.

138. Приборы и оборудование для государственных инспекций по надзору за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники в Российской Федерации. Каталог. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. - 160 с.

139. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания Текст.: Учебник для вузов / И.Я. Райков. М.: Высшая школа, 1975. - 320 с.

140. Раппорт Д.М. Использование температуры выхлопных газов в качестве параметра, характеризующего загрузку двигателя. - М.: ОНИИ-НАТИ, 1961.-34 с.

141. Руководство по диагностированию тракторов. -М.: ГОСНИТИ, 1984. 106 с.

142. Савельев А.П. Диагностирование тракторов по динамическому состоянию машинно-тракторных агрегатов. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1993.-220 с.

143. Савченко О.Ф., Добролюбов И.И., Альт В.В., Ольшевский С.Н. Автоматизированные технологические комплексы экспертизы двигателей/ РАСХН. Сиб. отд-ние. СибФТИ. - Новосибирск, 2006. - 272 с.

144. Салмин В.В. Топливные системы современных и перспективных двигателей внутреннего сгорания / В.В. Салмин, ВВ. Лянденбургский, А.М. Белоковылский, П.И. Аношкин и др. - Пенза: ПГУАС, 2006. - 252 с.

145. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2011610457. Программа регистрации параметров функционирования мобильных энергетических средств. А. П. Иншаков, С. В. Крючков, А. Н. Кувшинов, С. С. Родионов; заявка № 2010616311 от 15.10.2010. Зарег. 11.01.2011.

146. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013615096. Мотор-тестер диагностики систем наддува двигателей внутреннего сгорания. А. П. Иншаков, В.В. Кузнецов, А. Н. Кувшинов; заявка № 2013612573 от 01.04.2013. Зарег. 28.05.2013.

147. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013617233. Система исследования режимов работы турбокомпрессора. В.В. Кузнецов, А. Н. Кувшинов; заявка № 2013612570 от 01.04.2013. Зарег. 06.08.2013.

148. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014616619. Программа определения технического состояния турбокомпрессора. А. П. Иншаков, И. И. Кур баков, А. Н. Кувшинов, М. Н. Ветчинни- ков; заявка № 2014614084 от 05.05.2014. Зарег. 30.06.2014.

149. Селиванов А.И., Артемьев Ю.Н. Теоретические основы ремонта и основы надежности сельскохозяйственной техники.-М.: «Колос», 1978. 248 с.

150. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений: Метрологическая справочная книга.-Л.: Лениздат, 1987. - 295 с.

151. Сельцер А.А. Обнаружение и устранение неисправностей тракторов: Справочник. -М.: Агропромиздат, 1987. -271 с.: ил.

152. Сельскохозяйственные тракторы. Технические и эксплуатационные характеристики / Под ред. Н.А. Щельцына. - М.: НП

«Гильдия «АКП- ПРЕСС», 2007. - 144 с.

153. Сергеев А. Г. Точность и достоверность диагностики автомобиля.

М.: Транспорт, 1980. - 188 с.

154. Симеон А.Э. Турбонаддув высокооборотных дизелей. - М.: Машиностроение, 1976. - 390 с.

155. Скибневский К. Ю. Выбор диагностических параметров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1985. - №1. -С. 12-14.

156. Скибневский К. Ю. и др. Техническая диагностика тракторов и зерноуборочных комбайнов. М.: Колос, 1978. - 287 с.

157. Скибневский К. Ю. Методические указания по оптимизации алгоритмов диагностирования. М.: ГОСНИТИ, 1977. - 43 с.

158. Скибневский К. Ю. Принципы оптимизации номенклатуры структурных параметров и диагностической информации. // Диагностирование сельскохозяйственной техники: Науч. тр. / ГОСНИТИ. М. ; 1985. Т. 75. - С. 90-102.

159. Скибневский К. Ю. Средства и методы диагностирования тракторов. М.: Колос, 1978. - 80 с.

160. Скибневский К.Ю. Методология и комплекс средств диагностирования сельскохозяйственных тракторов при техническом обслуживании: Ав- тореф. дис. докт. техн. наук / ГОСНИТИ. -Л , 1986. 302

161. Смирнов С.В. Улучшение эксплуатационных показателей авто-тракторных дизелей путем совершенствования параметров системы наддува/ автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пушкин. - 2007. - 18 с.

162. Станиславский Л. В. Техническое диагностирование дизелей. Киев: Высшая школа, 1983. - 136 с.

163. Стефановский Б.С., Скобцов Е.А., Кореи Е.А. и др. Испытание двигателей внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1972. - 368 с.

164. Табашников А.Т. Обработка результатов испытаний и научных

исследований. - Новокубанск: ФГНУ «РосНИИТиМ», 2006. - 173 с.

165. Тенденции развития сельскохозяйственной техники за рубежом (По материалам Международной выставки «SIMA-2007»): Науч. ан. обзор.

-

М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. - 308 с.

166. Терских И. Е. Функциональная диагностика машинно-тракторных агрегатов. Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1987. - 312 с.

167. Успенский И.А. Разработка теоретических положений по распознаванию класса технического состояния техники / Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Николотов И.Н., Гусаров С.И. // В сборнике: Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств. Материалы XV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора Игоря Николаевича Аринина. Под общей редакцией А.Г. Кириллова. 2013. С. ПО- 113.

168. Успенский И.А. Место и роль диагностирования в системе технической эксплуатации мобильного транспорта в сельском хозяйстве./ Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Гусаров С.Н. // В сборнике: Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2013. - С. 333-336.

169. Фирсов В.В. Планирование эксперимента при создании сельскохозяйственной техники. -М.: Изд-во «ИНФРА-М», 1999. - 127 с.

170. Харазов А. М. Диагностическое обеспечение технического обслуживания и ремонта автомобилей. М.: Высшая школа, 1990. -208 с.

171. Харазов А. М., Кривенко Е. И. Диагностика легковых автомобилей на станциях технического обслуживания. М.: Высшая школа. 1987. - 272 с.

172. Чернованов В.И. и др. Руководство по техническому диагностированию при техническом обслуживании, ремонте тракторов и сельскохозяйственных машин. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. -249 с.

173. Черноиванов В.И. Стратегия развития технического сервиса в АПК // Техника в сельском хозяйстве. 2002. №2. -33-35 с.

174. Черноиванов В.И., Ежевский А.А., Федоренко В.Ф. Интеллектуальная сельскохозяйственная техника. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. - 124 с.

175. Шипилевский Г.Б. Концепция автоматизации контроля и управления тракторами в современных условиях // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Автоматизация производственных процессов в сельском хозяйстве». Углич, 13-15 марта 1995. - М.:Изд-во ВИМ, С. 52-55.

176. Юдин М.И., Савин И.Г., Кравченко В.Г., Кузнецов Е.Н., Кузовлев А.Т. и др. Ремонт машин в агропромышленном комплексе / Под редакцией д.т.н., проф. М.И. Юдина. Издание второе переработанное и дополненное /. - Краснодар: КЕАУ, 2000. - 688 с.

177. Юлдашев А.К. Динамика рабочих процессов двигателя машинно- тракторных агрегатов. - Казань: Татарское кн. изд-во, 1980 - 142 с.

178. Юлдашев А.К., Хайрутдинов И Н. Стенды для исследования двигателей при неустановившихся нагрузках. - Казань: Изд-во «Фэн», 2002 - 228 с., ил.