

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Рябко Евгения Владимировна

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИЛОВЫХ
ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк – 2018

Работа выполнена в ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк.

Научный

руководитель: доктор технических наук, доцент
ГУТАРЕВИЧ Виктор Олегович
профессор кафедры «Горнозаводской транспорт и логистика»

Официальные
оппоненты:

Ведущая
организация:

Защита состоится «__» _____ 2018 г. в 14.00 часов на заседании специализированного ученого совета Д 01.008.01 при ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: ул. Артема, 58, г. Донецк, 283001, учебный корпус I, ауд. 1203. Тел./факс +38(062)304-30-55, e-mail: uchensovet@donntu.org.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» по адресу: ул. Артема, 58, г. Донецк, 283001, учебный корпус II, адрес сайта университета <http://donntu.org>.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 01.008.01
доктор технических наук, доцент

И. А. Бершадский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Горная промышленность Донбасса представляет собой сложную отрасль, которая нуждается в повышении эффективности добычи полезных ископаемых. Внедрение нового оборудования и технологий, отвечающих современным требованиям по производительности и качественным характеристикам, позволяет увеличить объемы добычи, а также способствует развитию горнодобывающей промышленности.

В то же время существенное повышение объема добычи невозможно без совершенствования поверхностного и подземного транспорта горных предприятий, который является важнейшей составной частью технологического цикла горнодобывающего предприятия, работающего в сложных горно-технических условиях.

Актуальным направлением исследований являются силовые дизельные установки карьерных тепловозов, большегрузных автосамосвалов, дизель-генераторов буровых установок, а также подземных дизелевозов и подвесных монорельсовых дорог. Силовые дизельные установки, являющиеся составной частью многих горно-транспортных машин, во многом определяют эффективность и безопасность работы горных предприятий.

Таким образом, **актуальная задача**, имеющая большое значение для горной промышленности, состоит в повышении эффективности силовой дизельной установки за счет обоснования параметров и улучшения режимов работы, а также применения комплекса мероприятий, направленных на снижение температурной напряженности дизельных двигателей горно-транспортных машин для тяжелых условий эксплуатации.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами совершенствования конструкции и улучшения условий эксплуатации горно-транспортных машин занимались следующие ученые: В. Г. Гуляев, А. Б. Ефименков, А. М. Керопян, В. П. Кондрахин, А. П. Кононенко, С. В. Корнеев, Б. А. Кузнецов, В. Б. Малеев, А. А. Ренгевич, А. О. Спиваковский, И. А. Таран, Г. Ш. Хазанович, О. Е. Шабаев, П. С. Шахтарь, И. Г. Штокман, F. Becker, E. Pieczora, J. Rusinek и A. Sladkowski.

Несмотря на значительный объем исследований по повышению эффективности работы силовых дизельных установок горно-транспортных машин, обоснованию параметров и улучшению их режимов работы уделено недостаточно внимания.

Проблемам силовых дизельных установок посвящены труды: И. И. Вибе, С. А. Горожанкина, Р. З. Кавтарадзе, А. К. Костина, М. Г. Круглова, Н. С. Маластовского, С. П. Мягкова, А. С. Орлина, И. А. Ролле и Н. Д. Чайнова.

Однако в этих исследованиях не учитываются условия эксплуатации горно-транспортных машин и, особенно, их скоростной режим, а также цикличность работы. Существующие теоретические положения, относящиеся к автомобильному и железнодорожному транспорту, не могут быть использованы в полном объеме, поскольку условия эксплуатации горно-транспортных машин имеют ряд особенностей: наличие плохого состояния рельсового пути, значительные углы наклона (движение груженого состава на подъем при вывозке горной массы из карьера), малые радиусы закруглений, частые остановки подвижного состава, вызванные технологическими остановками, большое количество стрелочных переводов и съездов.

Большинство проведенных исследований охватывает конструктивные особенности горно-транспортных машин, и, как следствие, повышение надежности достигается за счет изменения их конструкции или применяемых материалов. Учитывая количество силовых дизельных установок, находящихся в эксплуатации, вопрос улучшения режимов работы должен быть решен с использованием комплекса мероприятий, реализация которого возможна без существенного изменения конструкции.

Цель и задачи исследований. Цель работы – повышение эффективности силовых дизельных установок за счет обоснования параметров и улучшения режимов работы, а также применения комплекса мероприятий, направленных на снижение температурной напряженности дизельных двигателей горно-транспортных машин для тяжелых условий эксплуатации.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Определить факторы, влияющие на выход из строя цилиндро-поршневой группы с целью предупреждения причин отказов, а также установить зависимости между особенностями эксплуатации, климатическими условиями, техническим состоянием, типом горно-транспортной машины и конструктивными особенностями силовых дизельных установок.

2. Разработать математическую модель процесса изменения температуры в слоях огневого днища крышки цилиндра при различных режимах работы дизельного двигателя горно-транспортной машины.

3. Провести имитационное компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния крышки цилиндра дизеля горно-транспортной машины и выполнить сравнение конструкционных материалов крышек цилиндров дизельного двигателя.

4. Разработать мероприятия по усовершенствованию системы охлаждения дизельного двигателя и улучшению условий работы цилиндро-поршневой группы горно-транспортной машины.

5. Провести экспериментальные исследования, подтверждающие достоверность теоретических положений и определить экономическую эффективность научно-практических результатов.

Идея работы заключается в улучшении условий эксплуатации силовых дизельных установок в результате применения комплекса мероприятий, выбора температурных параметров и режимов работы, соответствующих конкретным условиям эксплуатации.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются процессы, протекающие в крышках цилиндров силовых дизельных установок, которые формируются во время работы, а предметом – функциональная связь между конструктивными особенностями, температурными режимами и параметрами дизелей карьерных, рудничных локомотивов с учетом условий их эксплуатации.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- впервые выявлено, что наименее надежным узлом из систем дизельного двигателя горно-транспортной машины является цилиндро-поршневая группа, на долю которой приходится до 40...50% отказов. Причем наибольшее количество отказов из всех деталей цилиндро-поршневой группы соответствует крышкам цилиндров, показатель которых достигает 39%. Определено влияние режимов работы и особенности эксплуатации на показатель безотказности цилиндро-поршневой группы силовой дизельной установки;

- впервые установлены вид и параметры закона распределения наработки на отказ крышек цилиндров горно-транспортных машин с учетом условий их эксплуатации. Выявлено, что с достаточной для инженерных расчетов точностью и в соответствии с критерием Колмогорова, наработка на отказ крышек цилиндров дизельных двигателей в анализируемых предприятиях описывается законом Вейбулла. При этом средняя вероятность отказа одной крышки цилиндра дизельного двигателя горно-транспортной машины в течение 30 суток составляет 8 %;

- дальнейшее развитие получила математическая модель процесса изменения температуры в слоях огневого днища крышки цилиндра в нестационарном режиме прогрева дизеля горно-транспортной машины, которая позволяет учитывать средний коэффициент теплоотдачи в течение цикла, а также градиент температур, изменяющийся во времени. В результате установлено, что снижение температуры огневого днища с 300°C до 250°C позволяет уменьшить возникающие напряжения на 24% и за счет этого повысить срок службы крышки.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в решении научно-практической задачи, направленной на улучшение условий работы крышек цилиндров дизельного двигателя на основании математической модели, учитывающей процесс

изменения температуры в слоях огневого днища цилиндровой крышки с учетом оценки особенностей эксплуатации горно-транспортной машины.

Практическое значение полученных результатов:

- определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на долговечность деталей цилиндро-поршневой группы дизеля горно-транспортной машины, учет которых позволит улучшить условия эксплуатации крышек цилиндров;

- разработано устройство, позволяющее снизить влияние градиента температур в крышках цилиндров в постостановочный период силовой дизельной установки;

- усовершенствована система охлаждения дизеля горно-транспортной машины и рекомендован дополнительный водяной насос с рациональными параметрами деталей проточной части и уплотнений, что позволяет сократить время прогрева силовой установки, а также уменьшить влияние явления поверхностного кипения в полостях охлаждения крышки цилиндров при больших нагрузках или после резкой остановки дизельного двигателя и за счет этого улучшить условия эксплуатации.

Методология и методы исследования. Методологической основой диссертационной работы являются общеполитические и общенаучные методы познания явлений и процессов, используемых в технических, а также прикладных науках. Для решения поставленных задач использованы системный подход; метод численного решения задач нестационарной теплопроводности; метод элементарных балансов; имитационное компьютерное моделирование и метод конечных элементов.

Теоретической базой исследования силовых дизельных установок являлись научные труды отечественных и зарубежных авторов, посвященные проблемам создания различных видов горнодобывающих и транспортных машин, а также дизельных двигателей.

Положения, выносимые на защиту:

- вид и параметры закона распределения наработки на отказ крышек цилиндров с учетом их условий эксплуатации, что позволяет уточнить надежностные характеристики силовой дизельной установки горно-транспортной машины и спрогнозировать возникновение отказов в крышках цилиндров;

- теоретические зависимости, характеризующие процесс изменения температуры в слоях огневого днища крышки цилиндра дизельного двигателя горно-транспортной машины с учетом среднего коэффициента теплоотдачи в течение цикла и градиента температур, изменяющегося во времени, что позволило разработать способы улучшения режимов их работы с учетом влияния особенностей эксплуатации путем усовершенствования гидродинамических параметров циркуляции охлаждающей жидкости. При этом уменьшение энергзатрат в системе охлаждения достигается до 8 %.

Степень достоверности и апробация результатов. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается анализом статистических данных выходов из строя узлов дизелей горно-транспортных машин с различными условиями эксплуатации; корректностью формулировки математического описания задачи; данными, полученными при имитационном моделировании в компьютерной среде с применением современного программного обеспечения; данными экспериментальных исследований, процентное отклонение которых по изменениям значений температуры проведенных опытов составило менее 9%.

Основные положения диссертационной работы апробированы на научно-технических конференциях ДонИЖТ (г. Донецк, 2010 г., 2015 г.); международных научно-технических конференциях: «Наука и образование транспорту» (СамГУПС, г. Самара, 2013 г.); «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт – 2017») (РГУПС, г. Ростов-на-Дону, 2017 г.); «Современные тенденции и инновации в науке и производстве» (КузГТУ, г. Междуреченск, 2018 г.); «Инновационные перспективы Донбасса» (ДонНТУ, г. Донецк, 2018 г.); «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» в рамках XXV международной специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (СибГИУ, г. Новокузнецк, 2018 г.), а также X Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Россия Молодая» (КузГТУ, г. Кемерово, 2018 г.).

Личный вклад соискателя заключается в обосновании идеи работы и ее реализации, цели и задач работы, в выборе методов и направлений исследований, выполнении теоретических, аналитических и экспериментальных исследований, разработке положений и методических рекомендаций по использованию результатов работы, а также их внедрению.

Основные положения и результаты диссертации, полученные автором, доведены до уровня методических и практических разработок, направленных на улучшение эксплуатационных свойств силовых дизельных установок. Подтверждением практического значения полученных результатов является использование «Комсомольским рудоуправлением» методики расчета процесса изменения температуры в деталях силовой дизельной установки горно-транспортной машины, а также методики расчета конструктивных параметров водяного насоса системы охлаждения силовой дизельной установки горно-транспортной машины.

Основные результаты работы переданы ГП «Донецкая железная дорога» в виде вышеназванных методик, а также технических предложений по улучшению условий работы крышек цилиндров силовых дизельных установок. Годовой экономический эффект от внедрения мероприятий по

улучшению условий работы крышек цилиндров дизельных двигателей на одну установку составил 41,0 тыс. р. в год.

Полученные в ходе выполнения диссертационных исследований результаты использованы ДонНТУ в учебном процессе для студентов по специальности «Горное дело» специализаций «Горные машины и оборудование» и «Транспортные системы горного производства», а также ДонИЖТ – по специальности «Подвижной состав железных дорог».

Основные положения диссертации опубликованы в 17 научных работах, в том числе: 9 статей в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, а также 8 публикаций материалов и тезисов на международных конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа содержит 222 страницы машинописного текста и состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 136 источников на 14 страницах и 5 приложений на 52 страницах. Основной текст, изложенный на 155 страницах, иллюстрируется 61 рисунком и содержит 13 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, изложена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены сведения об апробации и публикации основных положений работы.

В **первой главе** рассмотрены проблемы эксплуатации силовых дизельных установок на горных предприятиях, которые в настоящее время находят все большее применение среди горно-транспортных машин. Дизельные установки используются на шахтных локомотивах, экскаваторах, карьерных тепловозах, автосамосвалах, буровых установках, подвесных монорельсовых дорогах.

Совершенствованием силовых дизельных установок занимались: А. И. Володин, Д. Н. Вырубов, Н. Х. Дьяченко, Е. А. Никитин, М. А. Салтыков, А. В. Симсон, А. З. Хомич.

Однако в исследованиях силовых установок практически не учитывались условия эксплуатации, которые имеют непосредственное влияние на надежность дизельных двигателей.

Проведенный обзор публикаций позволил определить основные направления исследования проблемы улучшения условий эксплуатации цилиндропоршневой группы силовой дизельной установки горно-транспортной машины. Было выявлено, что полученные теоретические исследования мало применяются на практике ввиду отсутствия экспериментальных исследований по данной тематике. Несмотря на преимущества силовой дизельной установки,

существует ряд актуальных проблем, для решения которых сформулированы последующие задачи исследований.

Во **второй главе** выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на работоспособность силовых дизельных установок горно-транспортных машин. Рассмотрен механизм разрушения крышек цилиндров дизельных двигателей. Проведен анализ отказов элементов дизельных двигателей горно-транспортных машин. Исследовано влияние особенностей эксплуатации на выход из строя цилиндрических крышек силовых дизельных установок карьерных тепловозов.

Среднее количество циклов изменения температуры охлаждающей жидкости дизельной силовой установки зависит от режимов ее работы и может составлять до 32 раз за сутки, температурный диапазон при этом изменяется в пределах от 50 до 95 °С. Общее число циклов нагружения от действия температурных напряжений и рабочих газов может достигать $2,5 \cdot 10^8$ в год.

Для получения объективной оценки причин отказов крышек цилиндров дизельных двигателей карьерных тепловозов проведен анализ статистических данных на транспортных предприятиях с различными условиями эксплуатации, результаты которого приведены на рисунке 1.

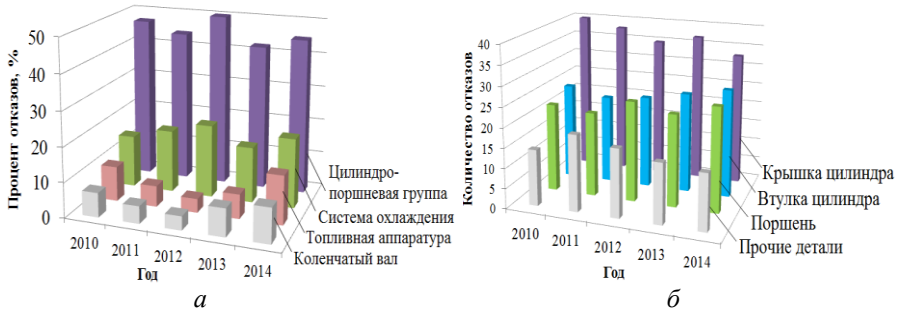


Рисунок 1. Распределение неисправностей узлов силовой дизельной установки горно-транспортной машины: *а* – всего двигателя; *б* – деталей цилиндрической поршневой группы

На основании полученных данных об отказах элементов дизельного двигателя в период с 2010-2014 гг. установлено, что наименее надежным узлом является цилиндро-поршневая группа горно-транспортных машин, на долю которой приходится до 40...50 % отказов дизелей (рисунок 1, *а*). Анализ выхода из строя деталей цилиндрической поршневой группы в период с 2010-2014 гг. свидетельствует о том, что почти 39 % повреждений приходится именно на крышки цилиндров дизельного двигателя горно-транспортной машины (рисунок 1, *б*).

Для более достоверной оценки влияния условий эксплуатации на крышки цилиндров силовой дизельной установки проведен дополнительный анализ отказов на промышленных предприятиях со средней напряженностью работы, с легкими и тяжелыми условиями работы (рисунок 2).

Из рисунка 2, *а* и рисунка 2, *б* видно, что в первых двух случаях наибольшее количество выходов из строя крышек цилиндров распределено относительно равномерно в течение года. Зимой отказ цилиндровых крышек происходит из-за резкого перепада температур между дизельным двигателем и окружающей средой, что влечет за собой возникновение и постепенное развитие микротрещин.

Существенное влияние на работоспособность узлов цилиндрического комплекта оказывают переходные процессы, которые в зимний период выходят на первый план. Согласно диаграмме статистических данных с тяжелыми условиями работы очевидно, что наибольшее число выходов из строя крышек цилиндров приходится на летний период (рисунок 2, *в*). Это обусловлено перегревом дизельного двигателя, который возникает ввиду тяжелых условий эксплуатации в карьере. В результате проведенных исследований выявлено, что средняя вероятность отказа одной крышки цилиндра дизеля горно-транспортной машины в течение 30 суток составляет более 8 %.

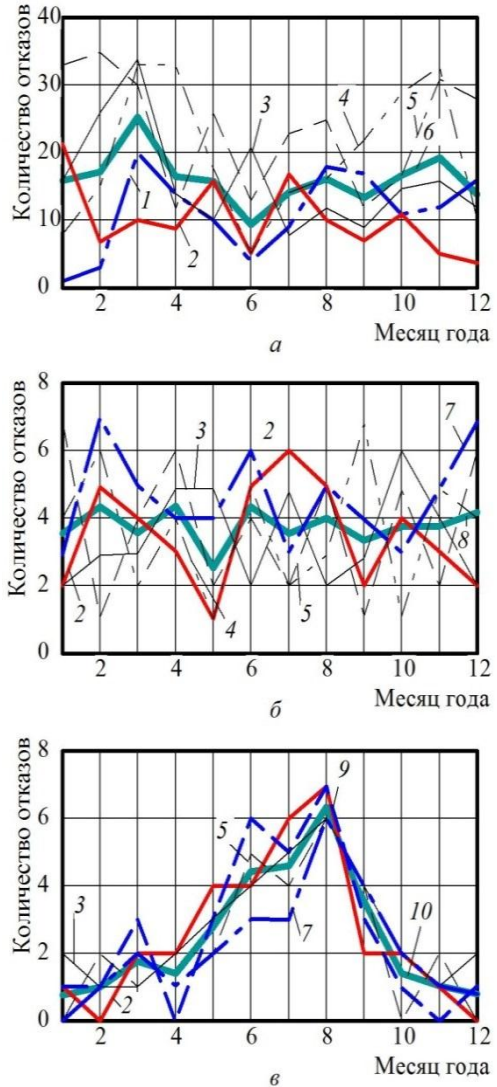


Рисунок 2. Диаграммы статистических данных отказов крышек цилиндров дизельных двигателей со средней (*а*), легкой (*б*) и тяжелой (*в*) интенсивностью работы за: 1 – 2009; 2 – 2010; 3 – 2011; 4 – 2012; 5 – 2013; 7 – 2014; 9 – 2015; 6, 8, 10 – средние значения

Таким образом, получено **первое научное положение**.

Установлен вид и параметры закона распределения наработки на отказ крышек цилиндров с учетом условий их эксплуатации, что позволяет уточнить надежностные характеристики силовой дизельной установки горно-транспортной машины и спрогнозировать возникновение отказов в крышках цилиндров.

Третья глава посвящена теоретическим исследованиям процессов изменения температуры в слоях цилиндровой крышки силовой дизельной установки горно-транспортной машины, разработке математической модели, изучению напряженно-деформированного состояния.

При этом учтено, что температурное поле в огневом днище крышки цилиндра является нестационарным, обусловленным с одной стороны изменяющейся температурой газов в цилиндре в течение цикла и постепенным прогревом крышки цилиндра, а с другой стороны – значительным изменением суммарного коэффициента теплоотдачи α_{Σ} .

С принятыми упрощениями огневое днище представлено в виде, изображенном на рисунке 3. Для огневого днища граничные условия существенно отличаются, так как температуры сред с обеих сторон пластины неодинаковы и граничные условия теплообмена не симметричны. Температура газов, омывающих пластину, и коэффициент теплоотдачи α резко изменяются во времени.

Исследование температурных полей в стенках крышки цилиндра производится одним из численных методов – методом элементарных балансов. Суть метода заключается в том, что стенка по толщине разбивается на ряд слоев, а время охлаждения – на ряд интервалов. При этом температура в i -том

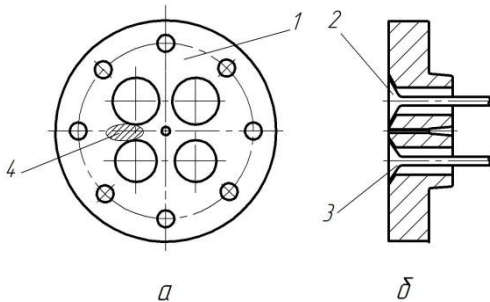


Рисунок 3. Схема огневого днища крышки цилиндра: *а* – вид со стороны рабочих газов; *б* – разрез по клапанам; 1 – крышка цилиндра; 2 – впускной клапан; 3 – выпускной клапан; 4 – трещины

слое через один интервал времени определяется по температурам примыкающих слоев в момент времени, предшествующий расчетному. Расчетная температура i -того слоя через один интервал времени определяется исходя из балансов количества теплоты, которое входит в этот слой и которое выходит из этого слоя, а также количества теплоты, которое накапливается в данном слое. Ввиду резкого изменения температуры газов в цилиндре в течение одного цикла, наибольшие градиенты температур будут иметь

место у поверхностных слоёв стенки. В связи с этим толщины слоев в стенке принимаем неодинаковыми: меньшие значения толщин у поверхностных слоев и большие – в глубинных слоях.

Количество теплоты, подводимой от горячих газов к стенке определяется по закону Ньютона-Рихмана:

$$Q_1 = \alpha_{r,0}(t_{r,0} - t_n) \cdot F \cdot \Delta\tau_1, \quad (1)$$

где $\alpha_{r,0}$ – коэффициент теплоотдачи от рабочих газов к поверхности стенки в начальный момент времени; $t_{r,0}$ – температура рабочих газов в начальный момент времени; t_n – начальная температура стенки; F – площадь поверхности теплообмена; $\Delta\tau_1$ – длительность первого шага по времени.

Количество накопленной теплоты в первом слое за время теплообмена в течение времени $\Delta\tau_1$ будет иметь вид:

$$\Delta Q_1 = \frac{1}{2} \Delta\chi_2 \cdot F \cdot \rho \cdot c (t_{\Delta\tau, \Delta\chi} - t_n). \quad (2)$$

На основании (1) и (2) получено:

$$\alpha_{r,0}(t_{r,0} - t_n) F \cdot \Delta\tau_1 = \frac{1}{2} \Delta\chi_2 \cdot F \cdot \rho \cdot c (t_{\Delta\tau, \Delta\chi} - t_n), \quad (3)$$

где $t_{\Delta\tau, \Delta\chi}$ – ожидаемая температура первого слоя через один интервал времени.

Расстояние между центрами слоев принято в общем случае равным шагу по толщине стенки $\Delta\chi_2$. Такое же значение $\Delta\chi_2$ взято и для расстояния между первым и вторым слоями, несмотря на то, что толщина первого слоя равна половине шага $\Delta\chi_2$ по толщине. Тогда температура первого слоя будет соответствовать температуре поверхности рассматриваемой стенки.

Таким образом, из уравнения (3) найдено ожидаемое значение температуры первого слоя $t_{\Delta\tau, \Delta\chi}$, одновременно являющейся температурой поверхности стенки:

$$t_{\Delta\tau, \Delta\chi} = t_{r,0} \cdot \frac{2\alpha_{r,0} \cdot \Delta\tau_1}{\Delta\chi_2 \cdot \rho \cdot c} + t_n \left(1 - \frac{2\alpha_{r,0} \cdot \Delta\tau_1}{\Delta\chi_2 \cdot \rho \cdot c} \right).$$

После первого шага по времени температура последующих слоев, начиная со второго, остается неизменной и равной t_n . Таким образом, после каждого отдельного шага по времени рассчитываются последовательно температуры в каждом слое, начиная от первого, примыкающего к рабочим газам. Затем для последующего шага по времени рассчитываются таким же образом температуры в каждом слое стенки.

С помощью математической модели определено изменение температуры в слоях крышки цилиндра (рисунок 4).

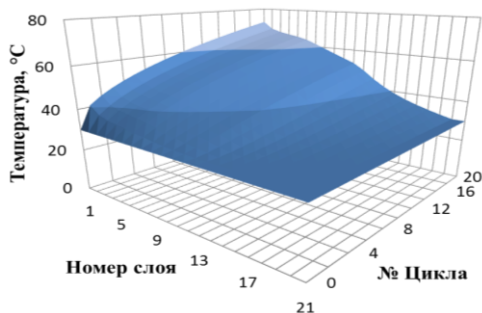


Рисунок 4 – Диаграмма распределения температуры в слоях крышки цилиндра

(рисунок 5) и подпрограмма расчета напряженно-деформированного состояния крышки цилиндра, позволяющая при заданных значениях температуры в отдельных точках и на отдельных поверхностях рассчитать температурные напряжения в опасных сечениях днища крышки.

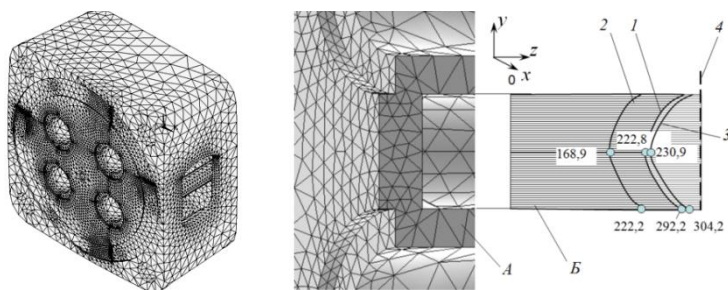


Рисунок 5. Конечно-элементная модель *А* и эпюры эквивалентных напряжений *Б*: 1 – температура 300 °С; 2 – температура 250 °С; 3 – совместное действие температуры 300 °С и давления в цилиндре 2,1 МПа; 4 – предел текучести чугуна ВЧ50 $\sigma_{0,2} = 320$ МПа

На рисунке 5 приведены эпюры эквивалентных напряжений в перемычке между клапанами. Позициями 1 и 2 представлены напряжения, вычисленные при температуре огневой поверхности соответственно 300 и 250 °С, позиция 3 – напряжения от совместного действия температуры 300 °С и давления в цилиндре величиной 2,1 МПа (увеличение напряжений от давления при этом незначительное), позиция 4 – предел текучести чугуна ВЧ50 $\sigma_{0,2} = 320$ МПа. Максимальные эквивалентные напряжения 304,2 МПа близки к пределу текучести материала $\sigma_{0,2} = 320$ МПа. Поэтому возможно появление

пластических деформаций, а с учетом концентрации напряжений в корне трещин пластическая деформация неизбежна.

На рисунке 6 приведены контурные диаграммы интенсивностей напряжений в крышке цилиндров дизельного двигателя от действия температуры (6, а) и внутреннего давления (6, б).

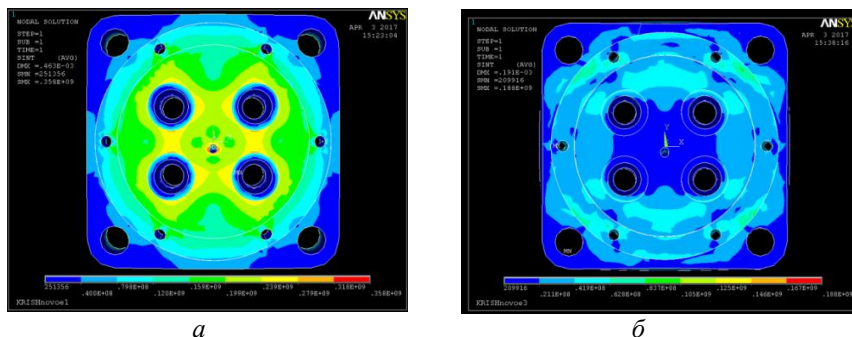


Рисунок 6. Контурные диаграммы интенсивностей напряжений в крышке цилиндров от действия температуры (а) и давления рабочих газов (б)

Из рисунка следует, что уровень расчетных температур газов в цилиндре значительно влияет на напряжения в огневом днище. Так снижение расчетной температуры с 300 °С до 250 °С приводит к снижению напряжений в огневом днище на 24%.

В **четвертой главе** рассмотрены мероприятия по улучшению условий работы цилиндрических крышек дизелей горно-транспортных машин. Для улучшения условий работы силовой дизельной установки необходимо понижение градиента температур.

Для уменьшения температурного перепада между дизелем и окружающей средой предлагается установить теплоизоляционный экран (рисунок 7), позволяющий снизить температурный градиент. Экран представляет собой рольставни, изготовленные из стальной жести.

Дополнительно предлагается применение вспомогательного водяного насоса с целью улучшения циркуляции охлаждающей жидкости в полостях цилиндрических крышек силовой дизельной установки. Использование дополнительного водяного насоса имеет свои особенности на различных режимах работы силовой дизельной установки горно-транспортной машины. На рисунке 8 представлена усовершенствованная схема системы охлаждения дизельного двигателя Д49.

После пуска при прогреве силовой дизельной установки дополнительный водяной насос выполняет функцию гидравлического шунта.

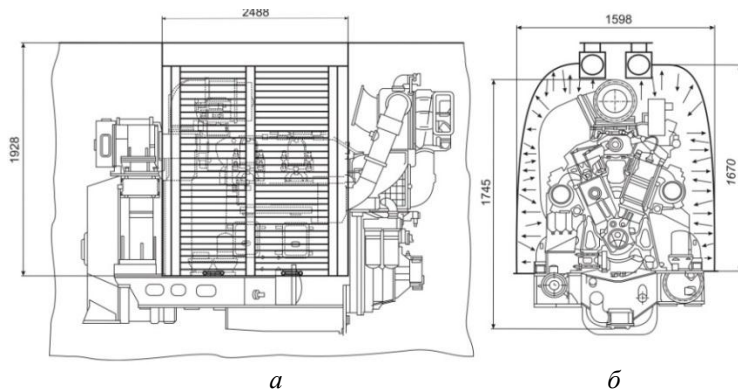


Рисунок 7. Общий вид теплоизоляционного экрана:
a – вид сбоку; *б* – вид спереди

Часть напора шунтируется дополнительным насосом, тем самым уменьшая напор в системе охлаждения, что способствует ускорению процесса прогрева дизельного двигателя после холодного пуска, уменьшению расхода топлива, снижению тепловой напряженности деталей цилиндро-поршневой группы.

При номинальном режиме работы дополнительный водяной насос увеличивает скорость протекания жидкости, тем самым повышая производительность основного насоса и улучшая циркуляцию охлаждающей жидкости для отвода тепла от наиболее нагретых участков силовой дизельной установки.

В период после остановки дизельного двигателя горно-транспортной машины наблюдается явление поверхностного кипения в полостях охлаждения крышек цилиндров. Для исключения этого явления дополнительный водяной насос продолжает свою работу от аккумуляторной батареи в течение заданного времени, обеспечивая постепенное охлаждение деталей цилиндро-поршневой группы дизельного двигателя.

Проведен расчет гидравлических параметров и рекомендованы размеры рабочего колеса и корпуса дополнительного водяного насоса (напор при этом возрастает на 1,4 м, КПД увеличивается на 4,5 %, удельные затраты уменьшаются примерно до 8 %).

Из всего вышесказанного вытекает **второе научное положение**.

Установлены теоретические зависимости, характеризующие процесс изменения температуры в слоях огневого днища крышки цилиндра дизельного двигателя горно-транспортной машины с учетом среднего коэффициента теплоотдачи в течение цикла и градиента температур, изменяющегося во времени, что позволило разработать способы улучшения режимов их работы с учетом влияния особенностей эксплуатации путем усовершенствования гидродинамических параметров циркуляции охлаждающей жидкости. При этом уменьшение энергозатрат в системе охлаждения достигается до 8 %.

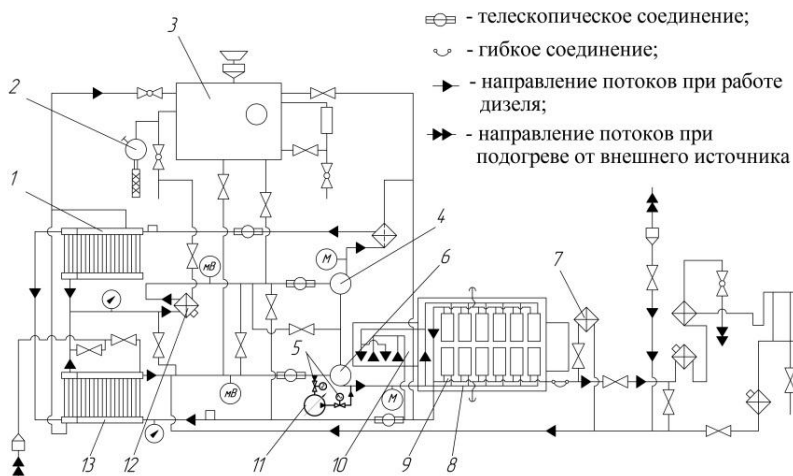


Рисунок 8. Модернизированная система охлаждения дизельного двигателя Д49 с дополнительным электрическим насосом: 1 – секции охлаждения дополнительного контура; 2 – ручной насос; 3 – расширительный бак; 4, 6 – водяной насос дополнительного и основного контуров; 5 – арматура с электроприводом; 7 – топливopодогреватель; 8 – дизель-генератор; 9 – цилиндры; 10 – турбокомпрессор; 11 – регулируемый водяной насос; 12 – охладитель масла; 13 – секции охлаждения

В пятой главе диссертационной работы рассматриваются экспериментальные исследования теплофизических процессов, протекающих в огневом днище крышки цилиндров. Для измерения температуры в различных слоях крышки цилиндра использовались термоэлектрические методы измерения с помощью термопар. При этом величина температуры определялась по показаниям АЦП/ЦАП. На основании экспериментальных данных исследования температурных полей крышки цилиндра дизельного двигателя горно-транспортной машины проведен анализ полученных результатов и сопоставление с теоретическими исследованиями (рисунок 9).

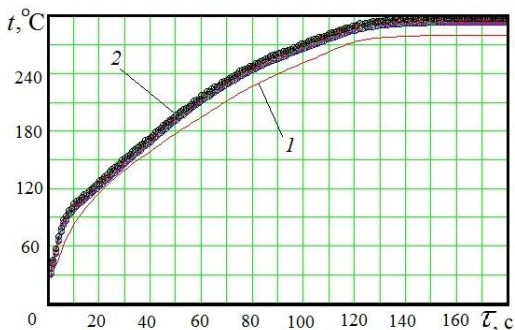


Рисунок 9 – Результаты сравнения теоретических расчетов (1) и результатов эксперимента (2)

Рассчитано среднее процентное отклонение по изменениям значений температуры проведенных опытов, которое составило 9 %, выборочное среднее \bar{x} среднеквадратичных отклонений – 3,28 °С, мера точности среднего результата всех опытов – 1,2 °С.

Для оценки эффективности решения научно-технической задачи определен экономический эффект, который составил 41,0 тыс. р. в год на одну силовую дизельную установку. При этом срок окупаемости капиталовложений составляет 3,2 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований решена научно-техническая задача, имеющая важное значение для горной промышленности, заключающаяся в повышении эффективности силовой дизельной установки за счет улучшения режимов работы, обоснования их параметров, применения комплекса мероприятий, что позволяет снизить на 24 % тепловую напряженность крышки цилиндров дизельного двигателя и увеличить срок службы.

По полученным результатам диссертационной работы сформулированы основные выводы:

1. Определены факторы, оказывающие непосредственное влияние на преждевременный выход из строя крышек цилиндров дизельных двигателей горно-транспортных машин, выявлены их основные группы и подгруппы. На основании полученных данных об отказах элементов дизельного двигателя горно-транспортных машин выявлено, что наименее надежным узлом из систем дизельного двигателя является цилиндро-поршневая группа, на долю которой приходится до 40...50% отказов. При этом на долю цилиндровых крышек из всех деталей цилиндро-поршневой группы силовой дизельной установки приходится 39% отказов.

2. Проведен анализ механизма разрушения крышек цилиндров дизельного двигателя горно-транспортной машины, который свидетельствует, что преждевременный выход из строя в большей степени зависит от градиента температур. Количество циклов изменения температуры охлаждающей жидкости силовой дизельной установки зависит от режимов работы, при этом температурный диапазон изменяется в пределах от 50 до 95 °С. Общее количество нагружений от действия рабочих газов и температурных напряжений составляет не менее $2,5 \cdot 10^8$ циклов в год.

3. Установлены зависимости выхода из строя крышек цилиндров от времени работы, учитывающие особенности эксплуатации дизельных силовых установок горно-транспортной машины, на которые в большей степени влияют нагрузочные режимы работы, материал изготовления, температура окружающей среды. Анализ статистических данных с учетом причин отказов

позволил определить значения средней наработки на отказ крышек цилиндров дизельного двигателя с легкими, средними и тяжелыми режимами работы. В результате выявлено, что средняя вероятность отказа одной крышки цилиндра дизельного двигателя горно-транспортной машины в течение 30 суток составляет более 8 %.

4. Разработана математическая модель процесса изменения температуры в слоях огневого днища крышки цилиндра в режиме прогрева дизеля горно-транспортной машины, впервые учитывающая суммарный коэффициент теплоотдачи в течение цикла и температуру рабочих газов, изменяющихся во времени. Установлено, что наибольший температурный градиент наблюдается на глубине до 3 мм от огневой поверхности. При этом область применения математической модели не ограничивается только крышками цилиндров и с учетом необходимых исходных данных можно решать различные задачи теплопроводности в любой силовой дизельной установке.

5. Для подтверждения теоретических и методологических положений диссертации проведено имитационное компьютерное моделирование. Разработана конечно-элементная модель и подпрограмма расчета напряженно-деформированного состояния крышки цилиндра дизеля горно-транспортной машины, которая позволяет вычислить температурное поле при заданных значениях температуры. На основании этого определено, что снижение температуры в огневом днище крышки цилиндра на 50 °С приводит к снижению напряжений на 24 %.

6. Проведен сравнительный анализ конструкционных материалов ВЧ50 и АК8 крышек цилиндров дизельного двигателя. Установлено, что алюминиевый сплав АК8 не обладает необходимыми прочностными характеристиками, вследствие чего не рекомендуется его использование в качестве конструкционного материала для крышек цилиндров силовых дизельных установок горно-транспортных машин.

7. Разработан комплекс мероприятий, направленный на улучшение условий работы силовой дизельной установки горно-транспортной машины и положительно влияющий на срок службы крышек цилиндров. Модернизация системы охлаждения карьерного тепловоза путем установки дополнительно водяного насоса с электрическим приводом предусматривает повышение энергетических показателей насоса: напор – на 1,4 м, КПД – на 4,5 %. При этом удельные затраты уменьшаются до 8 %. Рассмотрены особенности использования дополнительного водяного насоса на различных режимах работы силовой дизельной установки.

8. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие адекватность математической модели процесса изменения температуры в огневом днище крышки цилиндра дизельного двигателя горно-транспортных машин. Среднепроцентное отклонение от теоретических данных составило 9 %, мера точности среднего результата всех опытов составляет 1,2 °С, что является достаточным для практического использования результатов эксперимента.

9. Экономический эффект от внедрения мероприятий по улучшению условий работы крышек цилиндров дизельного двигателя типа Д49 составляет на одну установку 41, 0 тыс. р. в год. Окупаемость данного комплекса мероприятий не превышает 3,2 года.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные работы, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях

1. Математическая модель нестационарного теплообмена через стенку и гильзы тепловозного ДВС / Ю. В. Черняк, А. М. Гушин, М. В. Володарец, Е. В. Щербина (Рябко) // Подвижной состав и специальная техника железнодорожного транспорта : сб. науч. тр. – Харьков, 2008. – № 96. – С. 50-55.

2. Математическая модель процесса изменения температуры в слоях огневого днища крышки цилиндра в режиме прогрева дизеля / А. С. Шапшал, А. Н. Горобченко, К. А. Рябко, Е. В. Рябко // Вестник транспорта Поволжья : науч. журн. – 2016. – № 5(59). – С. 35-40. – ВАК РФ.

3. Рябко, Е. В. Анализ факторов, влияющих на надежность дизельных силовых установок карьерных и рудничных локомотивов / Е. В. Рябко // Вестник Донецкого национального технического университета. – Донецк, 2017. – № 3(9). – С. 44-51. – ВАК ДНР.

4. Напряженно-деформированное состояние крышки цилиндра дизеля тепловоза / Ю. В. Тимохин, В. Н. Савенков, А. М. Гушин, Е. В. Рябко // Вестник ИрГТУ : науч. журн. – 2017. – № 4, т. 21. – С. 198-207. – ВАК РФ.

5. Рябко, Е. В. Эксплуатационная надёжность крышек цилиндров тепловозного дизеля / Е. В. Рябко // Мир транспорта : науч.-практ. журн. – 2017. – № 2, т. 15. – С. 178-187. – ВАК РФ.

6. Гутаревич, В. О. Проблемы и направления совершенствования экологических характеристик горно-транспортных машин с дизельной установкой / В. О. Гутаревич, К. А. Рябко, Е. В. Рябко // Вестник Донецкого национального технического университета. – Донецк, 2018. – № 1(11). – С. 12-17. – ВАК ДНР.

7. Гутаревич, В. О. Определение надёжностных характеристик силовых дизельных установок горно-транспортных машин / В. О. Гутаревич, К. А. Рябко, Е. В. Рябко // Устойчивое развитие горных территорий : междунар. науч. журн. – 2018. – № 2(36), т. 10 – С. 294-301. – ВАК РФ.

8. Рябко, Е. В. Математическая модель и результаты расчета температуры стенки, образующей камеру сгорания дизеля горно-транспортной машины / Е. В. Рябко // Известия Уральского государственного горного университета : науч.-техн. журн. – 2018. – № 2(50). – С. 107-113. – ВАК РФ.

9. Гутаревич, В. О. Методика расчета механических напряжений в огневом днище крышки цилиндра дизеля горно-транспортной машины / В. О. Гутаревич, Е. В. Рябко // Известия вузов. Горный журнал : науч.-техн. журн. – 2018. – № 3. – С. 65-71. – ВАК РФ.

Научные работы и тезисы докладов в материалах конференций

10. Рябко, К. А. Исследование температурных полей в крышке цилиндра тепловозных дизелей / К. А. Рябко, Е. В. Щербина (Рябко) // Материалы VI Международной научно-технической конференции, посвященной 40-летию Самарского государственного университета путей сообщения. – Самара, 2013. – С. 47-48.

11. Рябко, К. А. Методика оценки теплонпряженности огневого днища цилиндрических крышек тепловозного дизеля типа Д49 / К. А. Рябко, Е. В. Рябко // Локомотивы XXI век : сб. тр. IV Междунар. науч.-техн. конф. – Санкт-Петербург, 2016. – С. 16-18.

12. Рябко, Е. В. Комплексный подход к решению проблемы напряженно-деформированного состояния крышки цилиндра тепловозного дизеля / Е. В. Рябко // Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт – 2017») : междунар. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону, 2017. – С. 245-249.

13. Рябко, К. А. Повышение долговечности крышек цилиндров тепловозных дизелей путем уменьшения градиента температуры при охлаждении дизеля после его останова / К. А. Рябко, Е. В. Рябко // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика : сб. материалов XLI Междунар. науч.-практ. конф. / Каз. Акад. транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – Алматы, 2017. – Т. 1. – С. 305-307.

14. Рябко, Е. В. Метод оценки процесса изменения температуры стенки, образующей камеру сгорания дизеля горной машины / Е. В. Рябко, В. О. Гутаревич // Современные тенденции и инновации в науке и производстве : VII междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию филиала КузГТУ. – Междуреченск, 2018. – С. 101-102.

15. Рябко, Е. В. Особенности дизельной тяги на открытых горных работах [Электронный ресурс] / Е. В. Рябко // Электронный архив Кузбасского государственного технического университета (г. Кемерово). – Электрон. дан. – Кемерово, 2018. – Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2018/RM18/pages/Articles/10504-.pdf> - Загл. с экрана.

16. Рябко, Е. В. Разработка мероприятий по улучшению условий работы цилиндрических крышек дизелей горно-транспортных машин [Электронный ресурс] / Е. В. Рябко // Электронный архив Донецкого национального технического университета (г. Донецк). – Электрон. дан. – Донецк, 2006-2018. –

Режим доступа: http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/33251/1/7-s3_04_Ryabko.pdf - Загл. с экрана.

17. Гутаревич, В. О. Теоретические основы методики расчета температурных полей в огневом днище крышки цилиндра дизеля горно-транспортной машины / В. О. Гутаревич, Е. В. Рябко // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов : междунар. науч.-практ. конф. в рамках XXV междунар. спец. выставки технологий горн. разработок «Уголь России и Майнинг». – Новокузнецк, 2018. – № 4. – С. 224-227.

Личный вклад автора в научных работах, опубликованных в соавторстве: [1] – подготовка расчетных зависимостей, обработка статистических данных; [2] – постановка научной задачи и построение системы уравнений; [4, 11] – подбор материала и анализ исследований; [6] – методы и пути снижения экологического воздействия; [7] – концепция, подбор материала, анализ исследований, расчеты параметров надежностных характеристик; [9] – схема взаимодействия сил, конечно-элементная модель; [10, 14] – расчетные зависимости; [13] – конструкция и разработка устройства; [15] – анализ дизельной тяги горной промышленности; [17] – схема нагрева пластины и оценка плотности теплового потока.

АННОТАЦИЯ

Рябко Е.В. Обоснование параметров и режимов работы силовых дизельных установок горно-транспортных машин. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 – «Горные машины» – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки ДНР, Донецк, 2018.

В диссертационной работе решена научно-техническая задача, имеющая важное значение для горной промышленности, заключающаяся в повышении эффективности силовой дизельной установки за счет улучшения режимов работы, обоснования их параметров, применения комплекса мероприятий, что позволяет снизить на 24 % тепловую напряженность крышки цилиндров дизельного двигателя и увеличить срок службы.

Выполнен анализ безотказности крышек цилиндров силовой дизельной установки горно-транспортной машины; установлен вид и параметры закона распределения наработки на отказ крышек цилиндров горно-транспортных машин с учетом их условий эксплуатации. Разработаны расчетные зависимости определения температурных полей в стенке цилиндрической крышки дизельного двигателя горно-транспортной машины.

Получены новые теоретические и экспериментальные результаты, позволяющие научно обосновать параметры и режимы работы силовых дизельных установок горно-транспортных машин нового технического уровня.

Разработаны мероприятия, позволяющие улучшить условия эксплуатации горно-транспортных машин. Экономический эффект от внедрения мероприятий составляет на одну установку 41,0 тыс. р. в год. Окупаемость данного комплекса мероприятий не превышает 3,2 года.

Ключевые слова: карьер, горно-транспортная машина, силовая дизельная установка, математическая модель, режимы работы, параметры, тепловая напряженность, крышка цилиндров.

ABSTRACT

Ryabko E.V. Substantiation of parameters and operating modes of power diesel installations of mining transport machines – the manuscript.

Thesis for a Degree of Candidate of Science (Engineering) in specialty 05.05.06 – «Mining Machines» – State Educational Institution of Higher Professional Education «Donetsk National Technical University» of the Ministry of Education and Science of DPR, Donetsk, 2018.

In the thesis the scientific and technical problem, which is of great importance for the mining industry, is solved. It deals with increasing the efficiency of the power diesel installation by improving the operating modes, justifying their parameters, applying a set of measures. It reduces the thermal tension of the cylinder head of the diesel engine by 24% and increase the service life.

The reliability analysis of the cylinder heads of the diesel power installation of the mining transport machine is performed; the form and parameters of the law of distribution of the operating time for the failure of the cylinder heads of mining transport machines, taking into account their operating conditions, are established. Calculated dependences temperature fields the determination of in the wall of the cylinder head of the diesel engine of the mining transport machine are developed.

New theoretical and experimental results, which allow to prove the parameters and operating modes of power diesel installations of mining transport machines of a new technical level scientifically are obtained.

Measures to improve the operating conditions of mining transport machines are developed. The economic effect of the measures introduction is 41,0 thousand rubles per year for one installation. The payback of this set of measures does not exceed 3,2 years.

Key words: quarry, mining transport machine, power diesel installation, mathematical model, operating modes, parameters, thermal tension, cylinder head.

Подписано к печати 05.07.2018 г. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 1,0. Печать лазерная. Заказ № _____. Тираж 100 экз.

Отпечатано в «Цифровой типографии» (ФЛП Артамонов Д. А.)
г. Донецк. Тел. (050)886-53-63

Свидетельство о регистрации ДНР серия АА02 № 51150 от 9 февраля 2015 г.