

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Отделение Информационных технологий и энергетических систем

Кафедра Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Допустить к защите:

Заведующий кафедрой

_____ / Башмаков Д.А. /

« ____ » _____ 20__ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ВКР 1.2181340.20.06.00.00 ПЗ

на тему: Исследование характеристик устройства для облегчения пуска двигателя
внутреннего сгорания

Выпускник: _____ / Закиров А.З. /
(подпись)

Руководитель ВКР: _____ / Гумеров А.З., доцент, к.т.н. /
(подпись)

г. Набережные Челны, 2020 г.

Содержание

Введение.....	3
ГЛАВА I. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	8
1. Холодный пуск двигателя. Исследование основных факторов, влияющих на работу двигателя. Предпусковой подогрев.....	8
1.1. Эксплуатация автомобиля в сильный мороз.....	8
1.2. Холодный пуск. Аккумулятор	8
1.3. Моторное масло.....	10
1.4. Бензин.....	10
1.5. Повторный запуск	12
1.6. Обзор и анализ существующих видов подогревателей	13
1.7. Выводы по главе.....	29
ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	31
2.1 Обзор по патентам.....	31
ГЛАВА III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	43
Экспериментальное исследование №1. Прогрев салона двигателя. Экономия топлива.....	43
Экспериментальное исследование №2. Экономия топлива за n-ый промежуток времени. Срок окупаемости предпускового подогревателя	52
Экспериментальное исследование №3. Изучение общего принципа работы предпусковых подогревателей. Создание макета алгоритма работы предпусковых подогревателей на основе жидкостных подогревателей 14ТС	59
Экспериментальное исследование №4. Исследование зависимости нагрева различных частей двигателя предпусковым подогревателем при изменении кругов циркуляции ОЖ, при утеплении впускного коллектора	70
4. Разработка оригинального предпускового подогревателя индукционного типа.....	91
4.1. Расчет индуктора на впускной коллектор.....	92
4.1.1. Тепловой расчет.....	92
4.1.2. Электрический расчет	96
4.2. Инвертор.....	103
4.3. Разработка принципиальной схемы системы предпускового подогрева.....	107
4.3.1. Преобразователи «температура-напряжение».....	108
Заключение	112
Список использованной литературы	114
Приложения	116

Введение

ВКР магистра – это оригинальное научное исследование, которое направлено на решение проблемных задач, объединённых общей целью. Это исследование пишется выпускником самостоятельно по материалам, накопленным за время обучения, исследованиям, выполненным во внеучебное время, и в ходе преддипломной практики, а само выполнение этой работы контролируется научным руководителем. Содержание ВКР магистра может быть трех типов: теоретическое исследование; решение прикладных задач; разработка инновационных методов и подходов к разрешению академических проблем; или же включать в себя все три типа одновременно. От ВКР бакалавра магистерская работа существенно отличается глубиной, всесторонней теоретической проработкой решаемой проблемы. Написание и защита работы дает возможность выпускнику продемонстрировать сформированные в течение курса обучения компетенции и полученные знания, показать готовность к научной, производственной и педагогической деятельности.

Актуальность работы. Главным преимуществом предпускового подогрева перед дистанционным запуском двигателя или как его принято называть автозапуском является то, что мотор заводится уже находясь в прогретом до рабочей температуры. Ведь при запуске двигателя в холодном состоянии масло в нём является загустевшим, все зазоры в механизмах увеличены, рабочие поверхности не смазаны, гидрокомпенсаторы и гидронатяжители не имеют необходимого давления, то есть в первые секунды двигатель работает как будто практически без масла. Отсюда нежелательные задиры на стенках цилиндров, на кольцах, на распределительных валах и шейках. Таким образом, автозапуск может и удобен для водителя, но явно неприятен и не полезен для двигателя. К тому же при системе предпускового подогрева (и при других системах) уже с первой секунды работы печки в салон идет тёплый воздух.

Важным аспектом данной работы является расчёт и исследование необходимых характеристик устройств, предназначенных для облегчения пуска двигателя, которые основаны на одном и том же принципе работы – это подогрев и циркуляция воздуха или жидкости по предназначенному для этого контуру. Цель же у них тоже одна – прогрев двигателя перед его запуском. Но все эти устройства имеют те или иные недостатки, которые будут подробно рассмотрены в аналитическом обзоре. Также в остальных частях ВКР будут рассмотрены положительные и отрицательные свойства этих устройств. В ходе исследований устройств для облегчения пуска ДВС будут получены начальные расчётные данные, с использованием некоторых будет рассчитан и спроектирован нестандартный оригинальный индукционный нагреватель, имеющий свои преимущества и отличающийся от других устройств. Тема проблемного запуска двигателя сверхактуальна в нашей стране и останется таковой на многие годы.

Целью данной ВКР является исследование и анализ устройств для облегчения запуска двигателя внутреннего сгорания, тем самым нахождение необходимых характеристик и значений, на которые нужно делать первоочередной акцент производителям при производстве и потребителям при ежедневном использовании. А так же с использованием полученных значений и заключений ставиться не менее значимая цель – рассчитать и спроектировать новый вид оригинального предпускового подогревателя, а именно индукционный нагреватель.

Объектом исследования в данной ВКР выступают предпусковые подогреватели различных типов и проблемный пуск двигателя.

Предметом исследования является расчёт и исследование характеристик предпусковых подогревателей, их сравнение, анализ и на основе всех данных конструирование и расчёт нового типа предпускового подогревателя.

Задачи ВКР:

1. Провести анализ причин затрудненного низкотемпературного пуска двигателей внутреннего сгорания и факторов, влияющих на работу двигателя, проанализировать возможности предпускового подогрева двигателя;
2. Провести разбор всевозможных видов предпусковых подогревателей, принцип работы, преимущества и недостатки каждого вида, сравнить характеристики этих устройств, применяемых для подготовки двигателей к пуску;
3. Выполнить патентный поиск устройств предпускового подогрева, вычлнить необходимые теоретическую и практическую информации, которые будут полезны при написании ВКР;
4. Провести экспериментальное исследование, направленное на нахождение температуры прогрева салона двигателя до определённых значений и экономию топлива;
5. Выполнить экспериментальное исследование, направленное на нахождение экономии топлива за n-ый промежуток времени и срока окупаемости предпускового подогревателя;
6. Провести экспериментальное исследование, направленное на изучение общего принципа работы подогревателей и создание макета алгоритма работы предпусковых подогревателей на основе жидкостных подогревателей 14ТС;
7. Провести эксперимент, направленный на исследование зависимости нагрева различных частей двигателя предпусковым подогревателем при изменении кругов циркуляции ОЖ, при утеплении впускного коллектора;
8. Сделать анализ поставленных экспериментальных исследований, написать выводы (заключения) по каждому эксперименту;
9. Разработать новое оригинальное предпусковое устройство индукционного типа, что включает в себя расчёт и проектирование.

Научная новизна состоит в проведении оригинальных исследований и получение новых научных положений, которые будут иметь как научную, так и практическую значимость. А также к научной новизне относятся разработка и создание нового оригинального упрощённого макета, наглядно демонстрирующий общий алгоритм работы (пуск необходимых процессов) жидкостных и воздушных предпусковых подогревателей в точности повторяющий каждый пункт экспериментального исследования; и разработка нового типа предпускового устройства, работающий на принципе высокочастотной индукции.

Проведённые экспериментальные исследования и полученные научные положения имеют **практическую значимость**. Каждый эксперимент направлен на исследование различного вида актуальных вопросов, а на заключения (выводы), полученные в ходе экспериментов, необходимо делать первоочередной акцент производителям при производстве и потребителям при ежедневном использовании.

Степень достоверности научных положений подтверждается корректным применением известных теорий и методов, применением сертифицированных методик, пакетов программ, изделий и материалов, оборудования.

Апробация работы. Основные положения выпускной работы докладывались на следующих конференциях:

- Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Проблемы функционирования систем транспорта» (г. Тюмень, 2019 г.);
- Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «XI Камские чтения» (г. Набережные Челны, 2019 г.);

- IX Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП-2020)» (г. Набережные Челны, 2020 г.).

Публикации. По теме ВКР опубликованы 3 печатные работы (в сборниках докладов конференции).

Структура и объём работы. ВКР состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы, приложения. Работа изложена на 117 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков и список литературы из 24 источников отечественных и зарубежных авторов.

ГЛАВА I. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Холодный пуск двигателя. Исследование основных факторов, влияющих на работу двигателя. Предпусковой подогрев.

1.1. Эксплуатация автомобиля в сильный мороз

Сильные морозы становятся основной причиной того, что автомобиль не заводится или после двух-трех оборотов стартером садиться аккумуляторная батарея. Но, если все же удастся завести утром на морозе автомобиль, владелец встречается с целым рядом неприятных сюрпризов: повышенный расход топлива, жесткая подвеска, гремющий салон и т. д. Проблема в том, что современные автомобили плохо приспособлены к эксплуатации в зимний период, и, по большому счету, личный транспорт в такие морозы лучше вообще оставить в гараже. Только пуск двигателя в мороз от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ сопоставим по износу движущихся и трущихся деталей с серьезным пробегом в нормальных условиях, а десятиминутную поездку на работу можно будет приравнять к 500-километровому пробегу в летнее время. Но если уж от использования автомобиля в тридцатиградусные морозы никак нельзя воздержаться, то ее необходимо предварительно к этому подготовить.

1.2. Холодный пуск. Аккумулятор

Срок службы аккумуляторной батареи (АКБ) ограничен. Обычно эти цифры варьируются от 3 до 5 лет. Аккумулятор может прослужить шесть, семь и даже десять лет, но после трех лет эксплуатации его работу уже никто гарантировать не может. Более того, если внимательно прочитать гарантийные обязательства многих автопроизводителей, то обнаружится, что они не ручаются за аккумуляторы уже после 12 месяцев со дня продажи. Для АКБ характерна прямая зависимость его внутреннего сопротивления от температуры окружающей среды (т.е. от рабочей

температуры): чем меньше температура, тем меньше ёмкость АКБ. Для многих марок АКБ такой момент наступает именно тогда, когда столбик термометра опускается ниже $-20\div 30$ °С. Только если батарея новая и её внутреннее сопротивление невелико, она может заряжаться полностью. Причем штатного автомобильного генератора в любом случае недостаточно — ограничение регулятора напряжения в 14 вольт в любом случае позволит зарядить аккумулятор только на 90–95 % (такой способ зарядки в движении при постоянном напряжении называют ускоренным). Но после нескольких лет эксплуатации или при длительном хранении в разряженном состоянии на пластинах появляются крупные нерастворимые кристаллы сульфата свинца. Они увеличивают внутреннее сопротивление батареи и затрудняют электролиту доступ к пластинам. И чтобы преодолеть это сопротивление и максимально зарядить батарею, требуется еще большее напряжение. В результате с каждым разом аккумулятор заряжается все меньше и меньше. Когда его зарядка составляет 80 % или даже 70 % процентов от номинальной, машина все еще прекрасно заводится. Но с наступлением холодов 70 % заряда уже не могут обеспечить стартеру необходимую мощность, т.к. ему необходимо преодолеть сопротивление загустевшего масла. А также, стоит учесть, что холодная батарея заряжается гораздо дольше, чем теплая. А значит, если водителю предстоит короткая поездка, заряд, который ушел на запуск двигателя, не успеет восполниться в движении, и на запуск для обратного пути его уже может не хватить. Да и сами батареи, которые теперь, как правило, необслуживаемые, не предназначены для таких холодов. С целью борьбы с этим «недугом» некоторые владельцы поддерживают более высокую плотность электролита в зимнее время года — 1,29 против 1,27. Получается, что практически все современные необслуживаемые аккумуляторы — «летние». Таким образом, при подготовке к зимней эксплуатации в первую очередь следует проверить аккумулятор (или обновить). Но даже этого бывает недостаточно. [1]

1.3. Моторное масло

Даже самый хороший и полностью заряженный аккумулятор не сможет провернуть слишком вязкое масло. Здесь все просто — чем меньше вязкость масла и выше его прокачиваемость, тем легче стартеру завести замерзший двигатель. При выборе моторного масла действует простейшее мнемоническое правило — необходимая зимняя вязкость масла соответствует правилу «-35», то есть если вычесть из первого числа индекса вязкости число 35, то мы получим примерную температуру, когда масло должно быть достаточно жидким для нормального запуска. Соответственно, для большей части нашей страны достаточный запас для езды при температурах до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ обеспечит масло с вязкостью SAE 5W-40. Есть масла, пригодные и для больших холодов, — те, у которых первая цифра в маркировке «ноль» (речь идет о синтетических маслах с обозначением 0W40 или 0W50). Если водителю всё же нужно ездить в особо сильные морозы, нужно заблаговременно менять масло. Однако следует помнить, что при использовании во многих теплонагруженных высокооборотистых моторах такое масло ведет себя не очень хорошо, особенно летом. Так что перед его заливкой следует уточнить рекомендации производителя автомобиля по допустимым маслам, и если двигатель является таковым, то сильно «крутить» его на подобном масле в любом случае не стоит.[1]

1.4. Бензин

Может быть такое, что стартер крутится в привычном для него ритме, но автомобиль не заводится. Как правило, это связано с тем, что заливаемое качество топлива не соответствует желаемому, и особенно это заметно именно зимой, в сильные морозы. Отечественное топливо не очень-то хорошо испаряется и горит при отрицательных температурах. Если вдаваться в подробности «испаряемости» бензинов (соответственно,

и эффективности их воспламенения): утверждение «чем выше октановое число — тем быстрее воспламеняется бензин» не всегда является верным. Это связано с тем, что октановое число — это не единственная характеристика бензина, есть ещё целый ряд показателей соответствия нормам, которые дают право называть ту или иную смесь бензином АИ-80, АИ-92, АИ-95 или АИ-98. Для испаряемости характерно такое распределение бензинов (в порядке ухудшения): АИ-80/АИ-92/АИ-98/АИ-95. То есть (за исключением АИ-98), чем выше октановое число, тем хуже испаряемость бензина. Данное распределение условно, и меняется в зависимости от многих причин, но в среднем в течение года оно остается именно таким. Поэтому, если автомобиль может использовать АИ-92, то зимой лучше использовать именно его. При получении АИ-98 используют до 15% легковоспламеняющихся добавок МТБЭ (по существу, эфира). Именно они и более летучие фракции улучшают испаряемость бензина АИ-98 (помимо снижения его плотности и увеличения октанового числа). Естественно, каждый двигатель рассчитан на потребление соответствующего вида топлива. Поэтому всегда следует понимать, стоит ли применять бензин с более высоким или более низким октановым числом. Но, как правило, бензин с октановым числом 92 с некоторыми оговорками можно применять во всех современных автомобилях. Так же стоит учесть, что чем больше в баке пустого пространства, тем больше там скапливается водяных паров. А на морозе происходит их кристаллизация, микрокристаллы воды оседают в топливе и будут затруднять как работу бензонасоса и топливной системы, так и сам запуск. Также существуют различные металлосодержащие присадки в отечественном бензине, которые быстро выводят из строя свечи зажигания. Присадки часто используются как раз для повышения октанового числа бензина и употребляются разными нефтезаводами по-разному, но, как бы там ни было, срок службы свечей в России обычно редко превышает 20-30 тыс. км. [1]

1.5. Повторный запуск

Также машина может заводиться со второго или с третьего раза. Часто это выглядит следующим образом: при первом включении стартера двигатель исправно крутится, но «не схватывает»; при втором включении стартера двигатель или запускается и сразу нормально работает на прогревочных оборотах, или запускается, но работает неустойчиво; при третьем включении стартера двигатель запускается нормально. Причина этому чаще всего — слишком обедненная смесь, которая проектируется автопроизводителями по строгим экологическим нормам Евро-5. В результате системы питания, разработанные в соответствии с европейскими экологическими нормами, малоприменимы в нашем климате. Получить идеальную смесь на незаведенной машине довольно сложно: измерить реальный расход воздуха при запуске и прогреве просто нечем, т.к. дроссельная заслонка закрыта, а проходного сечения клапана холостого хода может оказаться недостаточно. Поэтому на современных автомобилях обогащение смеси делается не сразу, а постепенно, по мере увеличения времени работы стартера. То есть если на улице тепло (благоприятные условия для запуска двигателя), тогда автомобиль заводится сразу, еще на обедненной смеси, и, следовательно, удовлетворяет всем экологическим нормам. А если автомобиль сразу не заводится и стартер продолжает крутиться, то устройство управления подает команду на обогащение смеси. Если двигатель не завелся с нескольких попыток, то возможно, что плохо испаряющийся бензин залил свечи, затруднив искрообразование. В этом случае при очередной попытке следует выжать акселератор до упора — на некоторых моделях это действие даже включает специальную программу продувки цилиндров (т. е. топливные форсунки не работают, и бензин в цилиндры не поступает), но в любом случае большой поток воздуха должен помочь в данной ситуации. Как только двигатель завелся, «стартерная» программа перестает действовать, и в работу вступает программа прогрева, которая

опять же будет стараться привести состав смеси в соответствие с требованиями экологии. И если это холодная зима, то не исключено, что мотор может опять заглохнуть.

1.6. Обзор и анализ существующих видов подогревателей

Радикальным решением проблемы запуска двигателя на морозе может стать периодический автозапуск или предпусковой подогрев. Автозапуск может реализовать система сигнализации, которая программируется, например, на повторный запуск двигателя в том случае, когда температура в салоне падает ниже заданного предела. Это дешевое решение, но его можно реализовать только в том случае, если машина стоит на улице и двигатель не мешает своей работой жителям соседних домов. Но если машина в один из таких автозапусков не заведется, то есть риск полностью посадить аккумулятор. Более разумными средствами для обеспечения гарантированного запуска двигателя в морозы могут служить предпусковые подогреватели. Существенно, что греют они не только двигатель, но и все подкапотное пространство. Причины и факторы, влияющие на запуск двигателя и последующую её работу, разобраны в предыдущих пунктах (см. 1.1-1.5). Таким образом, подкапотное пространство современного автомобиля нужно греть в первую очередь. Подогреватели бывают электрические (с питанием от стационарной электросети) или топливные (автономные). «Серьезный» электрический обогреватель должен иметь мощность в несколько киловатт, поэтому ни от какого аккумулятора он работать не сможет, и включить его можно будет только в гараже. К примеру, у скандинавов такие обогреватели используются весьма широко, а столбики с электрическими розетками стоят на всех парковках, у кемпингов и на автозаправочных станциях. Суть их очень проста — в подкапотное пространство или непосредственно в блок цилиндров встраиваются нагревательные элементы, которые

работают по принципу конвекции, без принудительной циркуляции охлаждающей жидкости. Самый главный нюанс в подобных неавтономных подогревателях – они нуждаются в розетке на 220 вольт, к которой можно было бы подключиться. В России розеток на стоянках нет. Те же поделки, которые иногда продаются под видом специальных электрических обогревателей, которые вставляются в отверстие масляного щупа и питаются от автомобильного аккумулятора, очевидно, никакого существенного эффекта дать не могут, и только разрядят и без того «подсевший» на морозе аккумулятор. Но самыми эффективными предпусковыми подогревателями, безусловно, являются жидкостные, которые работают автономно.

1.6.1. Автономные предпусковые подогреватели

В Поволжье, зима, конечно же, не настолько сурова, как в Сибири или остальных местах нашей необъятной страны, но все мы прекрасно знаем, что так называемая климатическая весна, то есть среднесуточная температура выше нуля, и здесь устанавливается лишь ближе к началу апреля. А все вышеуказанные неприятности в моторе из-за холодного пуска справедливы даже при 0...+5 градусов. Что же говорить про салон? Люди часто мёрзнут в домах даже в мае, когда отключают отопление. А железная машина даже за мартовскую ночь может выстудиться очень сильно. Очень часто погода огорчает нас и с другой стороны. Когда чередуются оттепели и заморозки можно обнаружить на стёклах машины толстый слой льда, удалить который из холодного стекла достаточно сложно. Здесь тоже поможет подогреватель, конечно, если его правильно подключить и заранее выставить нужные параметры отопителя автомобиля.

Конструктивное исполнение таких подогревателей показано в разрезе устройства предпускового подогревателя жидкостного типа компании «Eberspacher» (модель «Hydronic»), изображённый на рисунке 1.

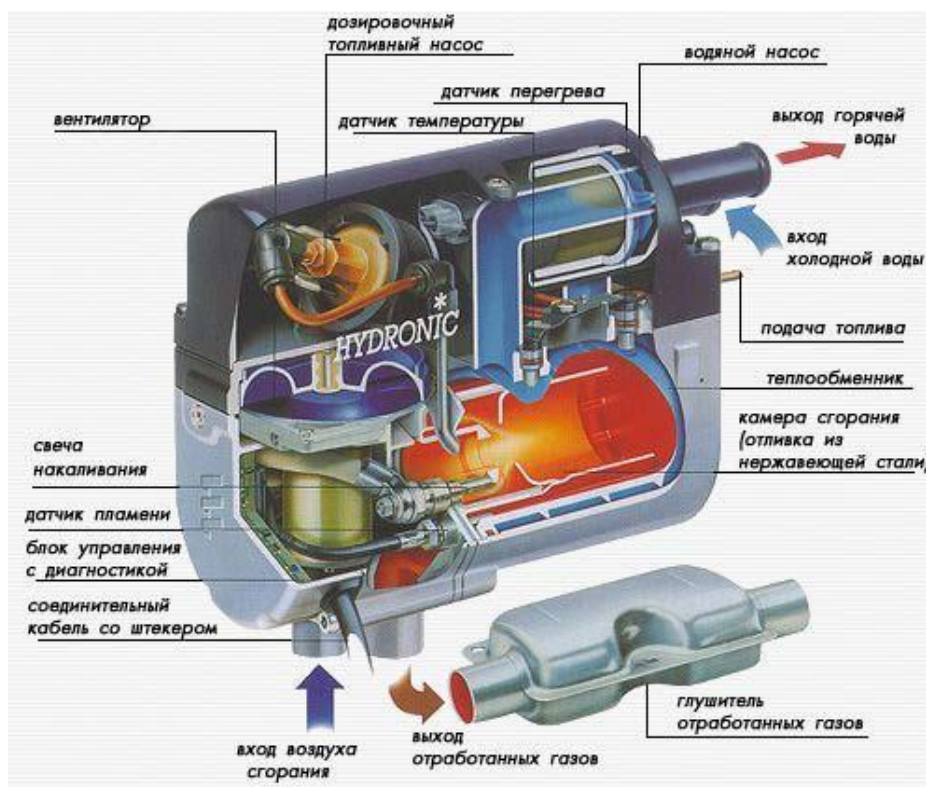


Рис. 1. Устройство предпускового подогревателя

Все предпусковые подогреватели жидкостного или воздушного типа конструктивно похожи. Разберём их принцип работы на примере подогревателя жидкостного типа.

Через специальную форсунку топливо из бака автомобиля (или из отдельной емкости) автономным насосом подается в камеру сгорания подогревателя. Небольшой вентилятор подает туда же атмосферный воздух. Топливовоздушная смесь поджигается собственной свечой или штифтом накаливания (вольфрамовая спираль в керамической оболочке). Сгорая, смесь нагревает теплообменник, от него, в свою очередь,

нагревается охлаждающая жидкость. Подогретый антифриз прокачивается через систему охлаждения двигателя встроенным насосом. Кроме того, автоматически включается вентилятор печки, что позволяет прогревать и салон автомобиля. На нашем рынке подобные системы представлены, например, немецкими фирмами «Webasto» (модели «Thermo Top Evo Start» и «Thermo Top Evo Comfort+», каждая соответственно стоит 29950 и 45000 руб. [2]), «Eberspacher» (жидкостные и воздушные подогреватели от 30238 и до 167745 рублей [3]) и отечественным аналогом самарский "Теплостар" (от 28800 рублей на подогреватели жидкостного типа [4]). Опять же не стоит забывать, что эти цены указаны на конец апреля 2020 года, не учитывая сумму за установку в дилерских центрах.

Такой подогреватель представляет собой относительно компактный прибор, который устанавливается в моторном отсеке и питается топливом из бака автомобиля. Теплообменник отопителя подсоединяется к охлаждающему контуру двигателя, электроника — к бортовой сети, а система подачи топлива — к топливному баку автомобиля. Подогреватели «Вебасто» подчиняются электронному блоку управления и, в зависимости от температуры жидкости в контуре охлаждения двигателя, переключают его в режим полной (работает с максимальной мощностью), частичной (с половинной мощностью) нагрузки или регулировочной паузы (временное отключение). Момент запуска и продолжительность работы устанавливаются на таймере (10–60 минут), расположенном в салоне автомобиля. При дооборудовании системой «Телестарт» запуск подогревателя и изменение режимов его работы можно производить с пульта дистанционного управления с радиусом действия до одного километра. А система включения по телефону «Термоколл» позволяет запустить подогреватель, выбрать режим и продолжительность его работы в любой момент и с любого телефона, имеющего тоновый набор (если, конечно, автомобиль находится в зоне действия сети). Управление подогревателем осуществляется посредством удобного русскоязычного

голосового меню. Подогреватели, оснащенные системами «Телестарт» или «Термоколл» либо специальным переключателем «зима-лето», могут пригодиться и в теплое время года — для того чтобы проветрить салон до начала поездки. Для легковых автомобилей малого и компактного класса, а также для кабин грузовых микроавтобусов подходит бюджетный подогреватель Thermo Top E отопительной мощностью 4 кВт. Для автомобилей среднего класса и большого класса с кузовом седан предназначен Thermo Top C отопительной мощностью 5 кВт. А для автомобилей представительского класса, универсалов, внедорожников, минивэнов и пассажирских микроавтобусов «Webasto» предлагает Thermo Top P — модификацию Thermo Top C с оптимизированным режимом прокачки горячей жидкости, обеспечивающим ускоренный прогрев салона и лобового стекла при меньшем потреблении тока. Но и цены меняются в зависимости от комплектации подогревателя. [9]

Установка подогревателя – это довольно серьезное вмешательство в системы автомобиля, требующее знаний и навыков в работе с электрикой и электроникой и топливной аппаратурой. Неправильный монтаж может привести не только к поломке самого отопителя, но и к серьезным последствиям для машины, не говоря уже и про пожароопасность. Поэтому рекомендуется устанавливать подогреватели Вебасто в авторизованных сервисных центрах, которые можно найти практически в любом крупном городе России. На большинство машин разработаны стандартные инструкции по установке, по которой работают все официальные сервисы.

На такую установку можно получить расширенную 2-х летнюю гарантию от производителя, если, конечно же, установить её у официальных дилеров и выполнять все предписанные требования. Для того что бы гарантия начала действовать необходимо ввести серийный номер оборудования, который указан на тип-шилде, а также в блоке

управления отопителя на сайте, то есть зарегистрировать оборудование после монтажа. Плюс ко всему тому, таким образом, вы сможете убедиться в подлинности вашего подогревателя и получите официальную гарантию производителя. При монтаже отопителя устанавливаются: топливозаборник в топливный бак; насос-дозатор под днищем автомобиля; сам отопитель, как правило, монтируется в подкапотном пространстве, к нему подключается шланг идущий от двигателя на печку салона по которому проходит нагретый антифриз; делается выхлопная и воздухозаборная системы; в жидкостный контур также внедряется дополнительный циркуляционный насос. Практически на всех автомобилях есть места для установки подогревателя, они либо предусмотрены, либо просто являются незанятыми. При монтаже оборудования не всегда, но как правило, не переходится переносить или заменять конструкцию машины, в неё добавляется отопитель и его компоненты.

Автономный отопитель «Eberspacher» работает примерно также. На всех моделях «Eberspacher» имеется встроенная система климат-контроля, которая регулирует мощность по заданным параметрам при любом изменении температуры окружающей среды.

Таким образом, предпусковой подогрев осуществляет прогрев двигателя и салона перед запуском, чтобы водитель сел в уже теплую машину и без проблем запустил мотор. Дальнейшее поддержание температуры в салоне осуществляется, естественно, уже за счет тепла от двигателя, но аппаратура подогревателя может и далее выполнять вспомогательную роль. А топливо, которое подогреватель затратит на предпусковой обогрев, компенсируется при езде на теплом двигателе, не говоря уж о том, что моторесурс автомобиля увеличится в несколько раз.

Преимущества автономных жидкостных подогревателей:

1. Автономный режим - не нужно зависеть от внешних источников питания, не считая аккумулятора.
2. Эффективность и возможность длительного постоянного функционирования. До рабочей температуры салон машины и ДВС в холодные зимние дни можно нагреть при расходе горючего менее 1 л/ч всего за 40-50 мин.
3. Широкий выбор способов задействования и программирования.

Более научный разбор недостатков:

1. Трудность установки. Это не электроподогреватель, который можно легко установить своими руками и который будет рассмотрен в следующих пунктах.
2. Дороговизна. Стоят на порядок выше даже базовые модели, без дополнительных составляющих (цены приведены на стр. 13-14). Кроме того, высоко оценивается инсталляция такого оборудования – как минимум, от 8-10 тыс. рублей. И чем сложнее будет найти место под капотом для монтажа, тем дороже будет установка.
3. Зависимость от АКБ. Под капотом всегда нужно держать подзаряженный и надежный аккумулятор.
4. Энерго- и топливопотребление. Хотя это топливо отчасти и компенсируется, но всё же определённая часть израсходуется подогревателем.
5. Зависимость от качества топлива. Хотя такие подогреватели и работают довольно долгосрочное время без каких-либо технических осмотров, но всё же некоторые модели зависимы от качества топлива, а качество топлива в нашей стране оставляет желать лучшего. Рекомендуется обращать внимание на это, регулярно проводить диагностику и чистку.
6. Вероятность покупки некачественного устройства при желании сэкономить (подделки, брак, некачественная продукция). На рынке

техники есть множество неизвестных/малоизвестных производителей подогревателей, продающих свои аппараты по относительно дешёвым ценам. Но также много видео-подтверждений и отзывов, оценок на сайтах, наглядно показывающих качество таких устройств.

7. Отдельное приобретение. Система дополнительного отопления не идет в комплект с автомобилем. Придется отдельно устанавливать оборудование.

8. Износ и поломка. Оборудование защищает подвижные механизмы от изнашивания, однако само устройство может выйти из строя. Необходимо ежегодно проверять работоспособность прибора, чтобы он функционировал исправно в течение всего зимнего периода.

Вывод по автономным подогревателям: эти устройства будут взяты для дальнейшего анализа и исследования, так как являются более «законченным» и продуманным продуктом по сравнению с другими. Имеют сложную и интересную конструкцию: включают в себя теплообменник, сложную схему блока управления, мотор нагнетателя, различные патрубки и т.д. Основываясь на их принципе, а так же на их преимуществах и недостатках будет предложен альтернативный вариант предпускового подогревателя.

1.6.2. Электрические подогреватели

1.6.2.1. Блочные электроподогреватели

Блочные подогреватели встраиваются в блок цилиндров (БЦ) и обычно выбор на них падает по причине их демократичной цены. Они довольно просты в конструктивном плане, так как наделены лишь соединителем (проводкой идущей от розетки) и нагревательным элементом. Прочего навесного оборудования, фиксаторов и дополнительных компонентов в таком подогревателе не предусмотрено.



Рис. 2. Блочные подогреватели компаний «Defa» и «Lunfei»

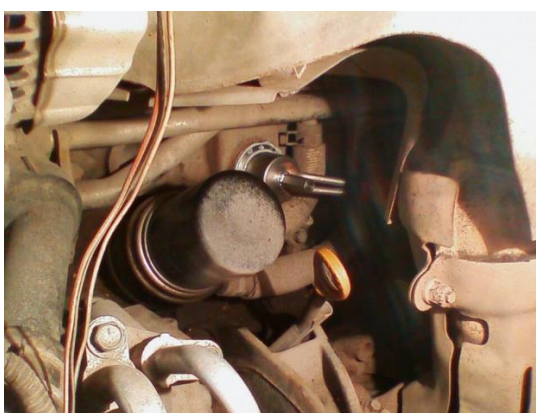


Рис. 3. Предпусковой подогреватель Defa, встроенный в БЦ

Нагреватели устройств, встраиваемых в БЦ, не очень мощны, 400-750 W – это максимум. Они не дают быстрый результат и питаются от стационарной розетки 220 В/50 Гц, так что использовать подогреватель монтируемый в блок двигателя можно разве что в гараже или протянув удлинитель от ближайшего источника питания. С другой стороны, из-за того, что греется БЦ, двигатель прогревается по центру и равномерно.

На сегодняшний день, среди многочисленных моделей бюджетного сегмента встраиваемых подогревателей, выделяются электрооборудования от Дефа и Каликс. Стоят они в комплекте с проводом и вилкой не более 4 тыс. рублей. Система легко дополняется всевозможным оборудованием,

дающим пользу. Например, можно добавить таймер запуска, пульт, подзарядку АКБ, салонный тепловентилятор и многое другое. Однако это уже будет стоить больше 25 тыс. рублей, не считая средств на установку.

Существуют и отечественные блочные подогреватели, но их применение ограничено. Для вазовских моторов подходит устройство ценою от 1,3 тыс. рублей. Можно купить оборудование «Старт-мини» за еще более низкую цену, которое подходит не только в отечественные автомобили, но и японские или корейские, такие как Тойота или Хюндай.

Преимущества встраиваемых блочных подогревателей:

1. Возможность длительной работы. С одной стороны это хорошее качество, а с другой – отрицательное. То есть устройство сможет работать в длительном режиме при этом не испортив и не израсходовав антифриз или тосол (т.к. не контактирует с ним), но при этом недостаток в том, что потребуется много времени для прогрева всего двигателя и холодного загустевшего масла.
2. Безопасность использования. Как правило, в комплекте имеется теплоизоляционная ткань, не позволяющая плавиться изоляции, расположенных рядом проводов и распространяться энергии в окружающее пространство, увеличивая, таким образом, КПД устройства.
3. Простота конструкции.
4. Дешевизна.

Недостатки блочных подогревателей:

1. Длительное время нагрева. Поскольку, вот например, при температуре окружающего воздуха около 0°C обогреватель мощностью 600 Вт разогреет жидкость в течении одного часа. Если же температура будет - 10°C, то время увеличится до двух часов. А если покупать бюджетную модель с мощностью 0,5 кВт то еще дольше [5].

2. Потребность в стационарной розетке 220 вольт и количество потребляемой энергии. То есть возможность использования во время езды или вне дома сразу же отпадает.
3. Отсутствие каких-либо видов защит. Хотя провода и идут в теплоизоляционной оплётке, но всё же при возникновении неисправностей устройство не сможет автоматически отключиться, что может привести к чрезвычайным ситуациям.
4. Низкое качество. Надёжность некоторых моделей по отзывам в интернете оставляют желать лучшего.
5. Нестандартная установка запрессовыванием, которое мало где выполняют.
6. Обязательность открытия капота для доступа к вилке. Этими сложностями грешат старые российские модели подогревателей. На современных появились бамперные разъемы.

Вывод по блочным подогревателям: грубо говоря, эти устройства как советские кипятильники для чая, только в качестве чайника с водой выступает двигатель с маслом. Для исследования эти устройства не подходят, т.к. являются слишком простыми, да и имеют большое количество недостатков по сравнению с автономными моделями подогревателей.

1.6.2.2. Патрубочные электроподогреватели

Помимо устройств, встраиваемых в БЦ, есть также системы для монтажа в разрез толстых патрубков. Отличаются они наличием корпуса-переходника. Инсталляция не несет какой-либо особой сложности, отдача неплохая.

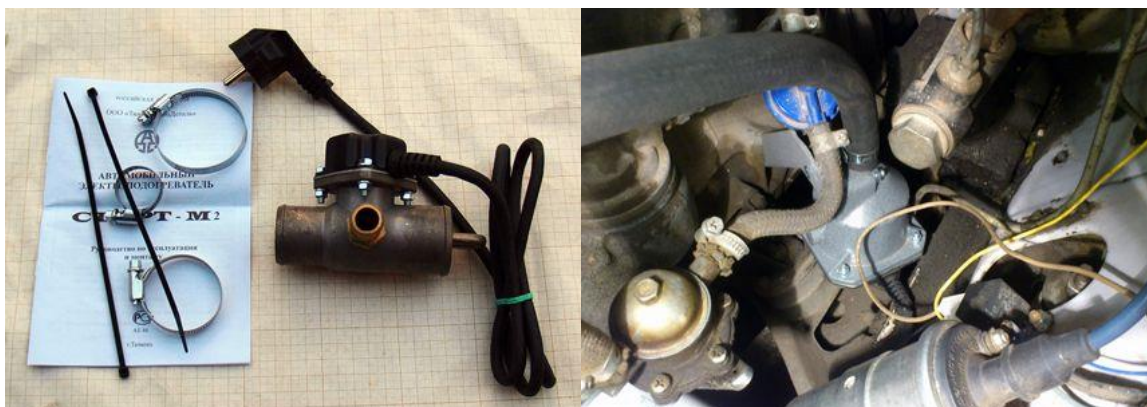


Рис. 4. Патрубочные подогреватели и пример их установки

Дефа и Каликс выпускают не только блочные, но и патрубочные подогреватели. Изготавливаются они и у нас в стране, реализуясь по очень низким ценам. Но предназначены такие варианты подогревателей только для вазовских, уазовских или газовских моделей авто. Электроподогреватели получили наибольшую популярность у нас в стране, так как конструктивно просты в установке и универсализированы, их легко врезать в контур системы охлаждения.

Вывод по патрубочным электроподогревателям: преимущества и недостатки те же, что и у блочных, только подогревается и циркулирует ОЖ. Но к минусам также стоит добавить, что электроподогреватели этого вида рассчитаны на стандартный диаметр патрубков, а также устанавливаются в основном только на отечественных автомобилях.

1.6.2.3. Выносные электроподогреватели

Выносные подогреватели более сложны в конструкции, подразумевают наличие шлангов, терморегуляторов, фиксаторов и т. д. Выпускаются отечественными производителями, такими как Северс-М, Альянс и многими другими. Зарубежный производитель такого оборудования тоже популярен в России. Это штатовский Хотстарт TPS.

Стоит оборудование не меньше 6,8 тыс. рублей, но приобрести можно только на заказ.



Рис. 5. Электрические подогреватели компании «Хотстарт» (соответственно, на легковые и грузовые автомобили) [6]

Отдельного внимания среди электроподогревателей заслуживают модели с принудительной циркуляцией ОЖ.

Итак, самыми известными среди этой серии являются системы от того же американского Хотстарт (цена 23 тыс. рублей). Есть и дешевые отечественные варианты, стоимостью не более 2,4 тыс. рублей. Известны и китайские подогреватели, такие как Синь Джи, ценою 1,5 тыс. рублей. Их мощность не превышает 1,8 кВт. Но нужно понимать, что погоня за дешевизной не всегда хорошо, это касается всех видов подогревателей: на рынке можно встретить предложения с очень соблазнительными ценами, существенно ниже обозначенных в ВКР. Но здесь уже нужно быть аккуратным, что бы не попасться на мошенников или попросту непрофессионалов. Последствия могут быть куда более дорогостоящими.

Если хочется сэкономить, лучше воспользоваться предложениями официальных дилеров или сервисов. В низкий сезон повсеместно происходят различные акции.

Преимущества электроподогревателей выносного типа такие же, как у проанализированных ранее.

Недостатки выносных электроподогревателей:

Опять-таки те же недостатки, что у остальных электроподогревателей, но добавим, что ко всему прочему добавляется проблема низкого качества дополнительного оборудования (речь идет о комплектах российского или китайского производства). Желательно заменить навесное оборудование импортными шлангами, пластиковые переходники – дюралюминиевыми, хлипкие держатели – на прочные и широкие хомуты.

1.6.2.4. Внешние электроподогреватели

Также в последнее время становятся все более популярными внешние электроподогреватели, так называемые нагревающие пластины, которые устанавливаются на корпус двигателя, цилиндры, картер и так далее. Эти обогреватели используют не только в автомобилях, но и в другой технике — генераторных установках, микропроцессорной технике, двигателях плавсредств, тепловозов и электровозов и многих других.

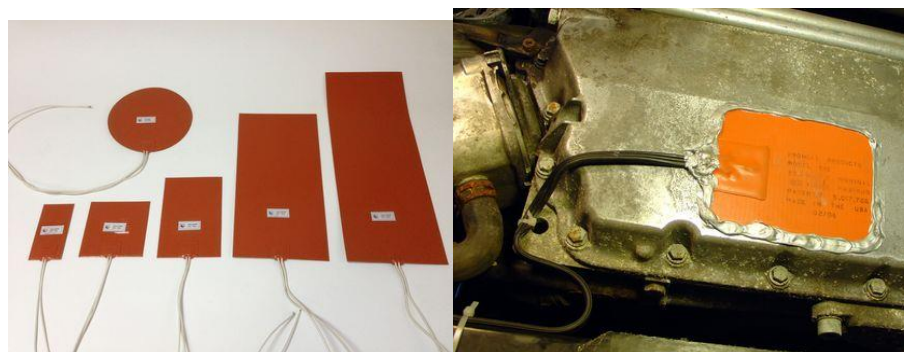


Рис. 6. Нагревательные пластины HotStart: 1 - общий вид пластин; 2 - пластина, установленная на поддон автомобиля [6]

Нагревающие пластины работают на основе теплоэлектронагревателей (ТЭНов). Большинство из них могут подключаться как к стационарной сети напряжением 220 В/50 Гц, так и к бортовой электросети автомобиля (12 В постоянного тока). Мощность может быть разной, интервал составляет от 100 до 1500 Вт. А температура, развиваемая различными пластинами — +90°С...+180°С. Что касается монтажа, то устройства крепятся при помощи клейкой пленки (предварительно поверхность нужно зачистить и обезжирить).

Особенностью нагревательных пластин является то, что они предназначены для работы в длительном режиме. То есть, с их помощью нельзя быстро подогреть/нагреть двигатель или его отдельные элементы. Хотя существуют отдельные модели повышенной мощности, работающие с реле времени.

К достоинствам нагревательных пластин относятся:

1. Экономичность. Использование электричества обойдется вам дешевле, чем жидкого топлива.
2. Относительно хороший срок службы. Большинство электрических нагревательных пластин не нуждаются в ремонте и профилактических осмотрах, с ними не нужно обращаться в сервисные центры.
3. Простота установки. Большинство нагревательных пластин просто приклеиваются к нагреваемой поверхности при помощи клейкой пленки, которая идет в комплекте с подогревателем. Монтаж можно выполнить самостоятельно, не обращаясь за помощью на СТО.
4. Безопасность использования. Это касается как водителя, так и непосредственно элементов автомобиля. Нагревательные пластины хорошо защищены от попадания внутрь них влаги и мелких частиц (степень пылевлагозащитенности составляет IP65 у большинства моделей).

Что касается недостатков нагревающих пластин, то к ним стоит отнести:

1. Высокая цена. Расплатой за описанные выше преимущества является высокая стоимость. Хотя можно найти дешёвые китайские аналоги на небезызвестных сайтах (например, aliexpress.ru), но о качестве задумываться не приходится.
2. Износ АКБ. В связи с тем, что для работы пластины используют электричество от аккумулятора, то водитель должен постоянно следить за состоянием и работоспособностью АКБ. Вплоть до замены его на более емкий и/или новый.
3. Электрические нагревательные пластины нельзя использовать для других целей, например для подогрева аккумуляторных батарей. Для этих целей применяются другие устройства или пластины, спроектированные специально для этих целей.
4. Неустойчивость к истиранию. Поверхность нагревательной пластины хоть и покрыта специальным материалом, устойчивым не только к истиранию, но и значительным механическим повреждениям, однако, как показывает практика, специальное покрытие защищает силовую часть до поры до времени, вскоре и оно истирается. В итоге устройство подогрева, можно сказать, превращается в устройство для ненужной утечки тока.
5. Длительное время нагрева. Нагревательные элементы начинают прогреваться за очень короткий промежуток времени (по принципу схожи с обогревом сидений), но этого количества тепла не достаточно что бы прогреть холодный двигатель с загустевшим маслом. Тепло рассеивается не только на прогрев металлического поддона картера, БЦ или другого места установки, но и на прогрев подкапотного пространства, что тоже отнимает время.

1.7. Выводы по главе

В условиях сурового зимнего климата нашей страны актуальна проблема затрудненного запуска двигателя при отрицательных температурах.

К главным причинам затрудненного зимнего запуска двигателя внутреннего сгорания относятся:

- рост крутящего момента сопротивления вращению коленчатого вала двигателя (загустевшее масло);
- уменьшение мощности стартера из-за снижения емкости аккумуляторной батареи («подсевший» аккумулятор);
- меньшая испаряемость топлива и ухудшение смесеобразования из-за отрицательных температур воздуха и бензина (дизеля);
- увеличение требуемой пусковой частоты вращения коленчатого вала;
- увеличивается расход топлива.

Действие этих причин при отрицательной наружной температуре проявляется одновременно, затрудняя весь процесс запуска. По своему опыту и основываясь на статье про «Эксплуатацию АКБ при отрицательных температурах» можно уверенно предположить, что при температуре -20°C емкость аккумуляторной батареи (АКБ) составляет от первоначальной 40-50%, а сопротивление крутящему моменту возрастает на 210% [7].

Образование нормальной горючей смеси в двигателе оказывает большое влияние на успешность его запуска. Качество воздушно-топливной смеси зависит от испаряемости топлива, т.е. от способности топлива переходить из жидкого состояния в газообразное. Испарение бензинового топлива происходит в основном в интервале от 35°C до 200°C .

При пуске впускной коллектор так же холоден, как и сам двигатель. В холодном двигателе при запуске топливо конденсируется на стенках цилиндров, смывая масляную пленку и увеличивая износ деталей цилиндропоршневой группы. Каждый холодный старт двигателя (т. е. запуск при температуре ниже $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$) сокращает его ресурс на 400-600 км [8].

Рассмотрены некоторые существующие виды подогревателей, их основные преимущества и недостатки.

Намечена цель ВКР - исследование автономных предпусковых подогревателей жидкостного типа. Отталкиваясь от имеющихся рассмотренных недостатков этих подогревателей необходимо спроектировать новый оригинальный тип предпусковых подогревателей, при этом сохранив положительные свойства. Экспериментально-исследовательская часть будет частично выполнена на стенде для проверки и контроля подогревателей воздушного и жидкостного типов. Полученные значения и характеристики будут приведены в удобной и наглядной форме, с использованием которых и будет рассчитан новый тип индукционного нагревателя.

ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Обзор по патентам

Патент №1. Индукционный нагреватель топлива. Авторы патента: Карташевич А.Н., Малышкин П.Ю., Мотовилова М. В., Бузиков Ш.В. Номер патента: 2688131. Год: 2019. [10]

Классы патента: H05B6/10 - индукционные нагревательные устройства специального назначения, иные чем печи; H05B6/00 - Нагрев электрическим, магнитным или электромагнитным полем (для терапевтических целей A61N 5/00; соединение предварительно сформованных частей нагревом пластиков или веществ, находящихся в пластическом состоянии B29C 65/02); F02M31/12 - электрическими средствами, например для подогрева топлива; F02M31/00 - Устройства для тепловой обработки воздуха, топлива или горючей смеси (F02M 21/06, F02M 21/10 имеют преимущество; являющиеся частью карбюратора или топливовпрыскивающей аппаратуры F02M 15/00, F02M 53/00; добавление горячего вторичного воздуха к горючей смеси F02M 23/14)

Изобретение относится к области машиностроения, преимущественно двигателестроения. Может быть использовано для нагрева топлива в топливопроводе высокого давления перед форсункой. Индукционный нагреватель топлива содержит автономный инвертор тока с квазирезонансной коммутацией (1), индуцирующий провод (2), выполненный из медной трубки, расположенной на поверхности теплообменника (4) в виде многовитковой катушки индуктивности (3), через сечение которой проходит охлаждающая жидкость системы охлаждения двигателя, теплообменник (4), представляющий собой топливопровод высокого давления (5) перед форсункой (6), установленной в головке блока цилиндров (7). Технический результат - упрощение конструкции индукционного нагревателя топлива и уменьшение стоимости теплообменника, сокращение времени и увеличение скорости

термического воздействия на топливо, а также уменьшение тепловой напряженности индуцирующего провода.

Изобретение относится к области машиностроения, преимущественно, двигателестроения.

Известен проточный индукционный нагреватель жидкости, состоящий из тороидальной обмотки индуктора, наложенной на сердечник, состоящий из тонкостенного трубчатого змеевика из нержавеющей стали с наложенной на него обмоткой из стальной ленты [Проточный индукционный нагреватель жидкости. - Патент РФ №2267869. - МПК H05B 6/10].

Недостатком указанного устройства является невозможность использования для нагревания вязких моторных топлив находящихся под высоким избыточным давлением.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату предлагаемому устройству является установка индукционного нагрева жидкостей, содержащая устройство преобразования и управления в виде автономного инвертора тока с квазирезонансной коммутацией, теплообменника, представляющего собой систему труб, внутри которых по всей длине радиально расположены пластины из магнитных материалов, индуцирующего провода состоящего из многожильного медного проводника в термостойкой изоляции, расположенного на поверхности теплообменника по всей его длине одним витком [Установка индукционного нагрева жидкостей. - Патент РФ №2417563. - МПК H05B 6/00].

Недостатками данной установки являются конструктивная сложность и дороговизна теплообменника, а также низкая эффективность расположения и перегрев индуцирующего провода, приводящие к неравномерному нагреву поверхности теплообменника.

Техническим результатом предлагаемого индукционного нагревателя топлива является упрощение его конструкции; сокращение времени и увеличение скорости термического воздействия на топливо, а также снижение тепловой напряженности индуцирующего провода.

Достижение технического результата достигается тем, что индуцирующий провод выполнен из медной трубки, расположенной на поверхности теплообменника в виде многовитковой катушки индуктивности, через сечение которой проходит охлаждающая жидкость системы охлаждения двигателя, теплообменник представляет собой топливопровод высокого давления перед форсункой, установленной в головке блока цилиндров.

На рисунке 2 показана схема предлагаемого индукционного нагревателя топлива.

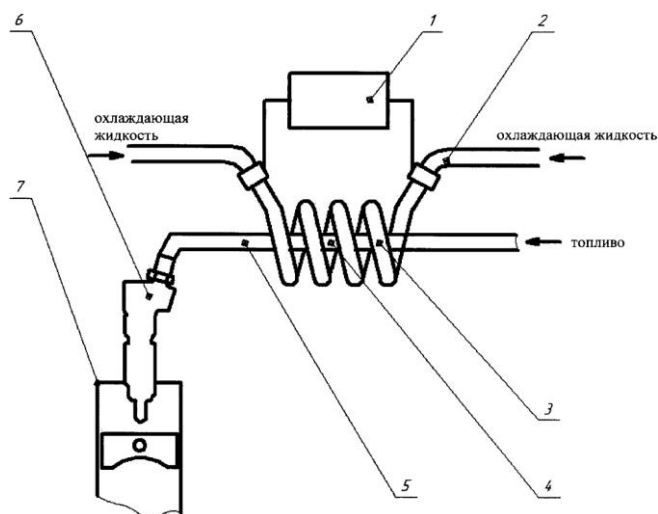


Рис. 2. Устройство индукционного нагревателя топлива

Индукционный нагреватель топлива состоит из автономного инвертора тока с квазирезонансной коммутацией 1, индуцирующего провода 2, катушки индуктивности 3, теплообменника 4, топливопровода высокого давления 5, форсунки 6, головки блока цилиндров 7.

Индукционный нагреватель топлива работает следующим образом.

От автономного инвертора тока с квазирезонансной коммутацией 1 подается переменное синусоидальное напряжение на индуцирующий провод 2, образующий катушку индуктивности 3, создающую нагревательный контур сложной геометрии. Под воздействием вихревых токов, возникающих в теплообменнике 4, происходит его нагрев и тепло передается топливу, движущемуся по топливопроводу высокого давления 5, к форсунке 6, установленной в головке блока цилиндров 7. Тепло возникающее в катушке индуктивности 3 под действием вихревых токов отводится охлаждающей жидкостью из системы охлаждения двигателя. Площадь поверхности теплообменника, подвергающегося температурному воздействию, зависит от площади сечения индуцирующего провода 2, количества витков катушки индуктивности, диаметра теплообменника 4 и топливопровода высокого давления 5.

Применение предложенного устройства позволяет: упростить конструкцию и уменьшить стоимость за счет применения более простого теплообменника; сократить время и увеличить скорость термического воздействия на топливо в результате более быстрого местного интенсивного и равномерного по поверхности нагрева теплообменника за счет многovitковой катушки индуктивности, а также снизить тепловую напряженность индуцирующего провода при помощи циркуляции через его сечение охлаждающей жидкости из системы охлаждения двигателя.

Промышленная применимость данного устройства заключается в более быстром, интенсивном и точечном нагреве топлива перед его непосредственным впрыском в камеру сгорания. Поэтому при минимальных конструктивных доработках, связанных с установкой индукционного нагревателя топлива в систему топливоподачи двигателя может быть промышленно применен.

Индукционный нагреватель топлива, состоящий из автономного инвертора тока с квазирезонансной коммутацией, индуцирующего провода и теплообменника, отличающийся тем, что индуцирующий провод выполнен из медной трубки, расположенной на поверхности теплообменника в виде многовитковой катушки индуктивности, через сечение которой проходит охлаждающая жидкость системы охлаждения двигателя, а теплообменник представляет собой топливопровод высокого давления перед форсункой, установленной в головке блока цилиндров.

Вывод по патенту №1: За неимением в патентной базе конкретной информации по поводу автомобильных индукционных подогревателей, устанавливаемых во впускном коллекторе, то было принято решение провести обзор индукционного нагревателя топлива, так как оба устройства обладают одинаковым принципом работы - это нагрев изделий из проводящих материалов (проводников) магнитным полем индукторов (источников переменного магнитного поля). Индукционный нагрев проводится следующим образом. Электропроводящая заготовка, либо, в данном случае, специальный топливопровод помещается в индуктор, представляющий собой один или несколько витков провода. В индукторе с помощью специального генератора наводятся мощные токи высокой частоты (от десятка Гц до нескольких МГц), в результате чего вокруг индуктора возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле наводит в заготовке вихревые токи. Вихревые токи разогревают заготовку под действием джоулева тепла. Этот принцип действия и принцип конструкции будут частично применены при расчётах и проектировании в экспериментальной части выпускной квалификационной работы.

Патент №2. Предпусковой подогреватель ДВС. Авторы патента: Гатауллин Н.А., Валеев Д.Х., Лотфуллин Р.Л., Валиев Ф.М. Номер патента: 2122138. 1998 год. [11]

Класс патента: F02N17/06 - подогревом текучей среды в системе охлаждения двигателя.

Изобретение относится к двигателестроению и эксплуатации транспортных средств, а конкретно к устройствам для поддержания теплового режима и предпускового подогрева двигателя, а также отопления кабины водителя и салона транспортного средства при отрицательных температурах окружающего воздуха. Предпусковой подогреватель двигателя внутреннего сгорания содержит камеру сгорания с форсунками и отверстиями для подвода воздуха, теплообменник. Камера снабжена предкамерой и общим наружным корпусом. Вокруг предкамеры в воздушной полости установлен электронагревательный элемент. Патрубок подвода воздуха в общую воздушную полость расположен на корпусе между камерой сгорания и предкамерой. Форсунки расположены на переднем диффузорном участке камеры сгорания и выполнены хордальными и пространственно ориентированы по потоку под углом 45° к оси подогревателя. В выходном сечении предкамеры на входе в камеру сгорания установлен стабилизатор. Технический результат: быстрый и надежный запуск как подогревателя, так и самого двигателя, а также снижение содержания в выхлопных газах вредных веществ.

Изобретение относится к области двигателестроения и эксплуатации транспортных средств, а конкретно к устройствам для поддержания теплового режима и предпускового подогрева двигателя, а также отопления кабины водителя и салона транспортного средства при отрицательных температурах окружающего воздуха.

Известен предпусковой подогреватель двигателя внутреннего сгорания (см. а.с. СССР N 1035270, F 02 N 17/02, публ. 1983 г.), содержащий котел с камерой сгорания, насос подачи топлива к форсункам камеры сгорания, вентилятор подачи воздуха в камеру сгорания с входным

патрубком и насос прокачки охлаждающей жидкости, размещенные на валу электродвигателя и магистраль отвода продуктов сгорания.

Известен подогреватель для предпускового подогрева двигателя внутреннего сгорания, ближайший по технической сущности к заявляемому и принятый за прототип (см. патент СССР N 465800, F 02 N 17/04, публ. 1975 г.), содержащий устройство воспламенения и подачи топлива, системы подвода воздуха и охлаждающей жидкости, теплообменник с центральной камерой сгорания, выполненный в виде двух коаксиальных цилиндров, электронагреватель топлива.

Недостатком известного предпускового подогревателя является низкая надежность запуска в условиях резко отрицательных температур окружающей среды, недостаточно высокая эффективность сгорания топлива и повышенное содержание окислов азота (NOx) в выхлопных газах.

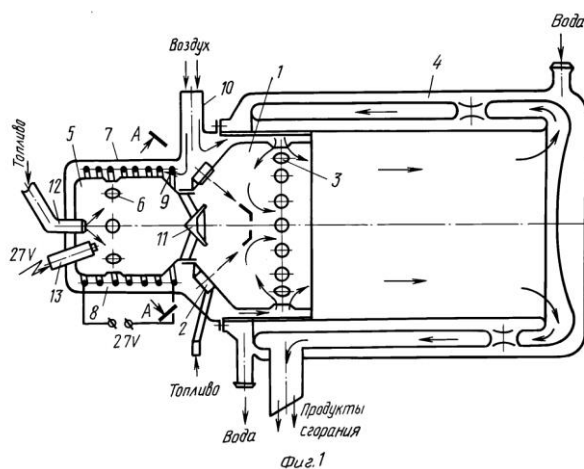
Задачей, решаемой предлагаемым изобретением, является повышение надежности запуска двигателя внутреннего сгорания в условиях резко отрицательных температур окружающей среды, повышение эффективности сгорания топлива и снижение выхода вредных веществ (например NOx).

Поставленная задача решается тем, что в предпусковом подогревателе двигателя внутреннего сгорания, содержащем камеру сгорания с форсунками и теплообменник, системы подвода воздуха, охлаждающей жидкости и топлива, электронагреватель топлива, камера сгорания снабжена предкамерой с закрытым фронтным устройством, и отверстиями подвода воздуха в первичную зону предкамеры, камера сгорания и предкамера снабжены корпусом с образованием общей воздушной полости, внутри которой вокруг предкамеры установлен электронагревательный элемент, а патрубок подвода воздуха расположен

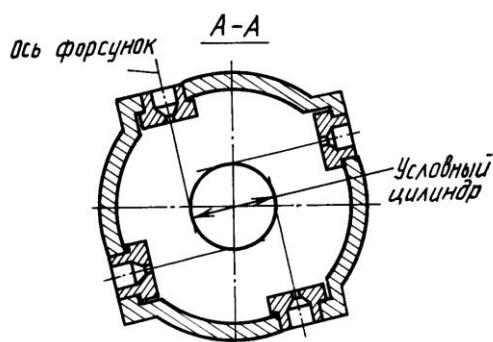
на корпусе между камерой сгорания и предкамерой. Форсунки камеры сгорания выполнены хордальными и пространственно ориентированы по потоку под углом 45° к оси подогревателя. Кроме того, в выходном сечении предкамеры установлен стабилизатор пламени.

На фигуре 1 представлен продольный разрез предпускового подогревателя двигателя внутреннего сгорания. (См. стр. 21)

На фигуре 2 - сечение А-А фигуры 1. (См. стр. 21)



Фиг. 1. Продольный разрез предпускового подогревателя ДВС



Фиг. 2

Фиг. 2. Сечение «А-А» фигуры 1

Предпусковой подогреватель двигателя внутреннего сгорания содержит камеру сгорания 1 с форсунками 2 и отверстиями для подвода воздуха 3, теплообменник 4 типа "газ-жидкость", камера сгорания 1 снабжена предкамерой 5 с закрытым фронтным устройством и

отверстиями 6 подвода воздуха в первичную зону предкамеры 5. Камера сгорания 1 и предкамера 5 снабжены корпусом 7 с образованием общей воздушной полости 8, внутри которой вокруг предкамеры 5 установлен электронагревательный элемент 9. Патрубок 10 подвода воздуха в полость 8 расположен на корпусе 7 между камерой сгорания 1 и предкамерой 5. Форсунки 2 камеры сгорания 1 расположены на переднем диффузорном участке камеры сгорания 1 и выполнены хордальными и пространственно ориентированы по потоку под углом 45° к оси подогревателя. Кроме того, в выходном сечении предкамеры 5 на входе в камеру сгорания 1 установлен стабилизатор пламени 11. В передней глухой стенке предкамеры 5 установлены топливная форсунка 12 и свеча зажигания 13.

Предпусковой подогреватель содержит электронагреватель топлива (не показан).

Теплообменник 4 расположен за камерой сгорания 1 и имеет двухходовую схему движения охлаждающегося газа (продуктов сгорания) и одноходовую схему движения охладителя (жидкости).

Система подвода воздуха включает вентилятор подачи воздуха (не показан).

Система подачи топлива включает насос подачи топлива с трубопроводами (не показаны).

Система подвода охлаждающей жидкости включает насос прокачки охлаждающей жидкости (не показан).

Насос подачи топлива, вентилятор подвода воздуха и насос прокачки охлаждающей жидкости приводятся в действия электродвигателем и представляют собой единый насосный агрегат.

Работает предпусковой подогреватель двигателя внутреннего сгорания следующим образом.

При запуске двигателя внутреннего сгорания в условиях резко отрицательной температуры окружающей среды и при наличии электрической энергии (например, аккумуляторов) включают насос подачи топлива с электронагревателем топлива, включают электронагревательный элемент 9 и вентилятор подвода воздуха. Сильно охлажденный воздух поступает в патрубок подвода воздуха 10, который расположен на корпусе 7 между камерой сгорания 1 и предкамерой 5 и подается в полость 8, в которой часть воздуха обтекает электронагревательный элемент 9, расположенный вокруг предкамеры 5, а часть непосредственно поступает в камеру сгорания через отверстия 3.

Воздух, обтекающий электронагревательный элемент 9, нагревается и поступает через отверстия 6 в первичную зону предкамеры 5. Одновременно осуществляется прогрев стенок предкамеры 5, что также улучшает работу предпускового подогревателя. Через форсунку 12 в разогретую предкамеру подается топливо и осуществляется запуск свечей зажигания 13.

Процесс горения в предлагаемом предпусковом подогревателе двигателя внутреннего сгорания осуществляется в две стадии - в предкамере 5 (первичная зона циркуляции) и в основной камере сгорания 1 (вторичная зона циркуляции).

Вторичная зона циркуляции, т.е. основная камера сгорания 1, вступает в работу вслед за первичной зоной (предкамерой). Продукты сгорания из предкамеры 5 подаются в основную камеру сгорания 1, куда через форсунки 2 впрыскивается дополнительное топливо, а через отверстия 3 поступает вторичный воздух.

Наличие двух циркуляционных зон (в предкамере 5 и в основной камере сгорания 1) улучшает условия перемешивания и увеличивает время пребывания, что повышает эффективность горения.

В то же время для уменьшения количества образующихся при горении окислов азота NOx температура в зонах циркуляции может поддерживаться на невысоком уровне.

Форсунки 2 камеры сгорания 1 выполнены хордальными и пространственно ориентированы по потоку под углом 45° к оси подогревателя, что обеспечивает качественное смешение и равномерно заполнение истекающими струями топлива поперечного сечения камеры сгорания 1.

Кроме того, для обеспечения устойчивого горения в камере сгорания 1 на выходе из предкамеры 5 может быть установлен стабилизатор пламени 11.

Высокотемпературные продукты сгорания обтекают теплообменник 4 с поворотом газа на 180°. Охлаждающая жидкость насосом под давлением подается в теплообменник 4, проходит по концентричным полостям, нагревается от стенок теплообменника. Нагретая жидкость циркулирует в системе охлаждения двигателя, обеспечивая предпусковой нагрев двигателя внутреннего сгорания, а также отопление кабины водителя и салона транспортного средства.

Таким образом, предлагаемый предпусковой подогреватель двигателя внутреннего сгорания за счет дополнительного подогрева поступающего в камеру сгорания 1 воздуха и одновременного подогрева предкамеры 5 осуществляет быстрый и надежный запуск как самого подогревателя, так и двигателя внутреннего сгорания автотранспортного средства.

Одновременно организация двухзонного горения способствует повышению эффективности сгорания топлива и снижению содержания в выхлопных газах вредных веществ, в частности NOx.

Формула изобретения:

1. Предпусковой подогреватель двигателя внутреннего сгорания, включающий камеру сгорания с форсунками, теплообменник, системы подвода воздуха, охлаждающей жидкости и топлива, электронагреватель топлива, отличающийся тем, что камера сгорания снабжена предкамерой с закрытым фронтным устройством и отверстиями подвода воздуха в первичную зону предкамеры, камера сгорания и предкамера снабжены корпусом с образованием общей воздушной полости, внутри которой вокруг предкамеры установлен электронагревательный элемент, а патрубок подвода воздуха расположен на корпусе между камерой сгорания и предкамерой.

2. Подогреватель по п.1, отличающийся тем, что форсунки камеры сгорания выполнены хордальными и пространственно ориентированы по потоку под углом 45° к оси подогревателя.

3. Подогреватель по п.1, отличающийся тем, что в выходном сечении предкамеры установлен стабилизатор пламени.

Вывод по патенту №2: В этом патенте показан процесс создания и внедрения устройств облегчения пуска двигателей внутреннего сгорания жидкостного типа, созданные с целью повышения надежности запуска ДВС в условиях резко отрицательных температур окружающей среды, повышения эффективности сгорания топлива и снижения выхода вредных веществ. В процессе обзора данного устройства были получены углублённые теоретические и практические знания по поставленной теме: общее представление благодаря продольному разрезу и сечению подогревателя, принцип работы таких устройств, их конструкцию. Данное устройство будет являться своеобразным примером для сравнения устройств предпускового подогрева и устройства индукционного нагрева, которое будет рассчитано и спроектировано.

ГЛАВА III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальное исследование №1. Прогрев салона двигателя.

Экономия топлива.

Если смотреть комплектацию выпускаемых автомобилей, то предпусковой подогреватель можно с уверенностью отнести к дополнительному оборудованию, в эффективности и целесообразности установки которого многие сомневаются. Вопрос о том, что предпусковой подогреватель делает эксплуатацию автомобиля зимой значительно комфортней и безопасней и как именно происходит весь процесс прогрева автомобиля был подробно разобран в первой части ВКР.

Прийти на стоянку или в гараж и сесть в 10–20-градусный мороз в теплую машину – это мечта каждого автовладельца. Но как это происходит в действительности, насколько быстрее прогреваются двигатель и салон машины, какую экономию обеспечивает применение автономного подогревателя? Чтобы ответить на этот важный и основополагающий вопрос, был проведён эксперимент №1. Был найден автомобиль, оборудованный предпусковым подогревателем, на котором и будет проведено исследование поставленного вопроса.

Анализ имеющихся данных:

- Информация об автомобиле - марка «Лада», модель «Приора», 16 клапанный, 130 л.с., 2012 г.в.;
- Вид используемого топлива - бензин АИ-92;
- Температура наружного воздуха +2°C и -12°C;
- Предпусковой подогреватель – Eberspacher Hydronic, оснащённая системой дистанционного запуска EasyStart Select, с помощью которой можно не только управлять подогревателем на расстоянии и выполнять

ввод необходимых настроек, требуемых для работы отопителя, но и есть возможность «прозвонки» специального датчика температуры, расположенного внутри салона (рисунок 3.6). Устанавливается на специальный кронштейн, расположенный в свободном отсеке переднего бампера под левой фарой (рисунок 3.1).



Рис. 3.1. Специальный кронштейн для установки предпускового подогревателя

- Шланги, по которым циркулирует охлаждающая жидкость, подсоединены в разрыв контура охлаждения (рисунок 3.2);



Рис. 3.2. Процесс «врезки» циркуляционных шлангов в общую систему охлаждения

- Систему подачи топлива обеспечивает специальный топливный насос.
- Процесс снятия данных будет происходить через специальный диагностический разъём OBDII, расположенный за перчаточным ящиком автомобиля (рисунок 3.3)



Рис. 3.3. Специальный диагностический разъём OBDII

- В качестве устройств диагностики будут использованы ELM327 или VAG-COM kkl 409.1. (рисунок 3.4)



Рис. 3.4. Диагностическое оборудование

- Данные получены с использованием программы OpenDiag (могут использоваться также Torque, OBDMary).

Ход экспериментального исследования:

Программа эксперимента включала в себя контроль за температурой воздуха в салоне, а также за расходом топлива после запуска холодного двигателя и его прогрева при разной наружной температуре (-12°C и +2°C), для наглядности все данные будут приведены в таблице.

Устанавливаем диагностический прибор ELM327 в диагностический разъем, заходим в программу OpenDiag, производим стандартное подключение устройства к ЭБУ машины.

Заводим двигатель и регистрируем температуру в салоне через каждые 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30 минут для более наглядного контроля за изменением температуры (см. таблицы 3.1, 3.2)

Параметр	Значение 1	Значение 2	Значение 3
Часовой расход топлива (л/час)	3,14	1,82	1,66
Интенсивность пропусков воспламенения цилиндров 1-4 (%)	0	0	0
Педаль тормоза нажата	Нет	Нет	Нет
Педаль сцепления нажата	Нет	Нет	Нет
Выключение 1 датчика тормоза	Нет	Нет	Нет
Выключение 2 датчика тормоза	Нет	Нет	Нет

Рис. 3.5. Изменение расхода топлива в программе OpenDiag в различные временные промежутки



Рис. 3.6. Общий вид пульта дистанционного управления EasyStart Select с одной из выданных значений температуры салона.

Таким образом, производится серия 6-ти типов экспериментов при низкой температуре и положительной температуре (чуть выше нуля °C):

- Разогрева салона при наружной температуре +2°C, что включает в себя: прогрев двигателя при его работе (без предпускового подогревателя), прогрев двигателя с помощью отопителя (двигатель не заведён) и прогрев двигателя при работающем двигателе и отопителя без нагрузки. Полученные данные приведены в таблице 3.1;

- и то же самое при разогреве салона при наружной температуре -12°C (см. таблицу 3.2).

Таблица 3.1. Разогрев салона при наружной температуре +2°C

	Прогрев двигателя в ходе его работы	Прогрев двигателя предпусковым подогревателем	Прогрев двигателя при его работе на х.х. и с активированным автономным подогревателем
Температура в салоне при старте	2	2	2
Температура в салоне через 2 мин.	6	5	7
Температура в салоне через 10 мин.	13	14	17
Температура в салоне через 15 мин.	17	18	24
Температура в салоне через 20 мин.	20	21	27
Температура в салоне через 25 мин.	22	23	30
Расход топлива, л/ч	от 2,0 до 0,8	0,180– 0,350	от 2,0 до 0,7 + 0,200
Суммарный расчетный расход при разогреве салона за 25 мин, л	0,35	0,08	0,19

Таблица 3.2. Разогрев салона при наружной температуре -12°C

	Прогрев двигателя в ходе его работы	Прогрев двигателя предпусковым подогревателем	Прогрев двигателя при его работе на х.х. и с активированным автономным подогревателем
Температура в салоне при старте	-12	-12	-12
Температура в салоне через 2 мин.	-11	-10	-7
Температура в салоне через 10 мин.	-7	-4	2
Температура в салоне через 15 мин.	-3	0	6
Температура в салоне через 20 мин.	2	7	12
Температура в салоне через 25 мин.	8	12	17
Температура в салоне через 30 мин.	12	16	23
Расход топлива, л/ч	от 2,0 до 0,8	0,180–0,350	от 2,0 до 0,7 + 0,200
Суммарный расчетный расход при разогреве салона за 25 мин, л	0,6	0,08	0,35

Наличие ранее упомянутого датчика температуры упростило эксперимент – каждые пять минут контролировалась температура в машине в процессе ее разогрева разными методами. Салон нагревали на стоящем автомобиле в режиме рециркуляции воздуха. Регулятор температуры был установлен в положении максимум, а воздушный поток направлен в среднюю часть салона.

Полученные в ходе эксперимента временные и температурные параметры могут отличаться от тех, которые в реальности будут у других автомобилей, оборудованных подогревателем. Обусловлено это местом расположения подогревателя, длиной шлангов подключения, степенью загрязнения радиатора-отопителя, сортом используемого топлива и т.д.

Для более наглядного представления полученных данных, они были представлены в виде графиков, изображенных на рисунке 3.7.

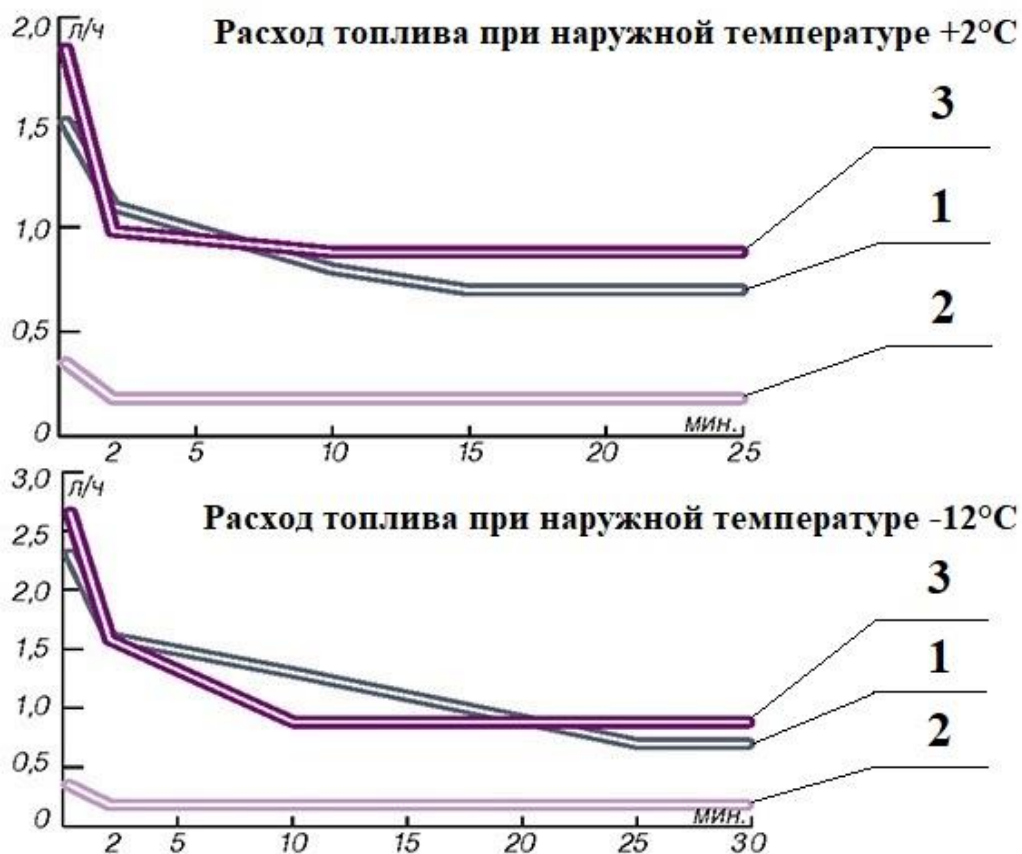


Рис. 3.7. Графики, полученные при анализе полученных данных из таблиц 3.1 и 3.2, где: 1 - прогрев двигателя в ходе его работы; 2 - прогрев двигателя предпусковым подогревателем; 3 - прогрев двигателя при его работе на х.х. и с активированным автономным подогревателем

Выводы по проведённому эксперименту. Анализируя полученные данные и построенные по ним графики, можно смело утверждать, что:

– при любой наружной температуре воздуха автономный предпусковой подогреватель потребляет в разы меньше топлива, чем работающий двигатель;

– что касается времени разогрева, то здесь преимущество тоже у подогревателя, но оно не очень большое. Более ощутимый выигрыш дополнительное оборудование даёт в сильные морозы, а при плюсовой температуре время нагрева салона практически не отличается;

– в определённые интервалы времени, а именно при 2-7 минутах (при температуре +2) и при 2-20 минутах (при температуре -12), работающий на «холодную» двигатель имеет тенденцию потреблять больше топлива, чем даже при работе ДВС и подогревателя вместе взятых;

– при запуске двигателя в холодном состоянии масло в нём является загустевшим, все зазоры в механизмах увеличены, рабочие поверхности не смазаны, гидрокомпенсаторы и гидронатяжители не имеют необходимого давления, то есть в первые секунды двигатель работает как будто практически без масла. Отсюда нежелательные задиры на стенках цилиндров, на кольцах, на распределительных валах и шейках. А так как предпусковой подогреватель гарантирует подогрев мотора и салона без запуска самого ДВС и он запускается при положительных температурах, то все эти пагубные последствия износа основных узлов можно таким образом предотвратить;

– если есть возможность заранее активировать подогреватель, однозначно то, что владелец будет иметь максимальную экономию топлива, времени и комфортабельную езду. Если же предпусковой подогреватель не был предварительно включён, то, придя на стоянку, нужно запустить и его, и мотор машины. Это существенно ускорит время прогрева салона и снизит потребление горючего.

Экспериментальное исследование №2. Экономия топлива за n-ый промежуток времени. Срок окупаемости предпускового подогревателя

На просторах интернета и в книжных интернет-ресурсах не было найдено ни одного эксперимента, наглядно показывающего насколько большую экономию топлива даёт использование предпускового подогревателя по сравнению с прогревом двигателя без отопителя за большой промежуток времени.

В связи с этим было решено провести 2 экспериментальных исследования по определению расхода топлива автомобиля, оснащённого предпусковым подогревателем и без него. Суть эксперимента заключалась в определении расхода за определенный промежуток времени с предварительно прогретым ДВС с помощью автономного подогревателя в течение 25-30 минут и сравнение с запуском непрогретого холодного двигателя. Критериями предстоящих экспериментов будет достижение оптимальной температуры узлов и жидкостей автомобиля для возможности начала движения (температуры масла ДВС 30-35°C, температуры охлаждающей жидкости ДВС 60°C, температуры АКПП $0\pm 3^\circ\text{C}$).

Чтобы ответить на этот вопрос, был проведён эксперимент №2. Был найден автомобиль, оборудованный предпусковым подогревателем, на котором и будет проведено исследование поставленного вопроса.

Анализ имеющихся данных:

- Автомобиль – Toyota Land Cruiser 200 Series, двигатель 4.6 л., 2015 г.в.;
- Автономный подогреватель Webasto Thermo Top 5 (стоимость вместе с монтажом в дилерском центре составляет 60 тыс. рублей);
- Используемое топливо – бензин АИ-95;

- Температура окружающего воздуха -28°C на конец декабря 2019 года (штатное головное устройство (ШГУ) показывает неправильные значения температуры наружного воздуха);

- В качестве устройств диагностики будут использованы ELM327 или VAG-COM kkl 409.1 (рисунок 3.4. на странице 3). В данном эксперименте показания температуры и расхода топлива проводились при помощи EML327;

- Данные, снимаемые с ШГУ, получены с использованием программы Torque (могут использоваться также OpenDiag, ObdMary) на ПО Android;

- Очень важное уточнение – автомобиль перед первым опытом (без предпускового подогревателя) простоял на морозе 9 часов, перед вторым опытом (с предпусковым подогревателем) простоял на морозе 13 часов. То есть во втором опыте отопитель прогрел более холодную машину;

- Владелец проездил 2 года после установки предпускового подогревателя (с начала 2018 года до начала 2020 года); цена за литр бензина АИ-95 по официальной статистике Росстата за это промежуток составляет 43,95р. за 2018 год, 45,67р. за 2019 год. [12]. Возьмём среднюю цену за этот промежуток времени для подсчёта экономии топлива – 44,81 рублей.

Ход экспериментального исследования:

Устанавливаем диагностический прибор ELM327 в диагностический разъём, заходим в программу OpenDiag, производим стандартное подключение устройства к ЭБУ машины.

Первый эксперимент (без отопителя): заводим двигатель и регистрируем данные на ШГУ через каждые 5 минут для более наглядного контроля. К этим данным относятся: температура масла ДВС (в $^{\circ}\text{C}$), температура автоматической коробки передач (в $^{\circ}\text{C}$), температура

охлаждающей жидкости ДВС (в °С), температура наружного окружающего воздуха (в °С, ШГУ показывает неправильные значения), количество израсходованного топлива (в литрах), нагрузка приходящая на ДВС (в %), расход топлива за час (в литрах/час), время работы двигателя (в минутах:секундах) и местное время.

Двигатель работает до намеченных ранее оптимальных температур узлов и жидкостей автомобиля для возможности начала движения.

Полученные данные в ходе первого эксперимента изображены на рисунке 3.8.



Рис. 3.8. Показания, полученные при прогреве двигателя на «холодную» без предпускового подогревателя

Второй эксперимент (с отопителем): предпусковой подогреватель Webasto включается и работает на протяжении 25-30 минут, и только после этого включается сам двигатель автомобиля. Далее производим тот же цикл работ, приведённые в первом эксперименте.

Полученные данные в ходе второго эксперимента изображены на рисунке 3.9.



Рис. 3.9. Показания, полученные при работающем двигателе через 25-30 минут работы отопителя

Произведём подсчёт экономии топлива и окупаемости автономного предпускового подогревателя:

Среднее количество пусков по данным ШГУ ≈ 2 пуска (утром и вечером);

Отопитель используется в основном в зимний период и в период климатической весны и осени (то есть до достижения положительных температур) – это примерно с начала октября до начала апреля, то есть 6 месяцев эксплуатации в год (~ 183 дня в году);

Топливо, израсходованное за 6 прошлых месяцев по показаниям ШГУ до установки отопителя, составляет 2940 литров. После установки отопителя потребляемое количество топлива снизилось до значений в 2830,2 литров. В итоге, получаем экономию топлива 109,8 литров.

Получаемая экономия топлива составляет: $\mathcal{E} = 109,8 \times 44,81 = 4920,138$ рублей за полгода (в нашем случае за год, т.к. при положительных температурах подогреватель не применяется).

Срок окупаемости СО составит: $CO = 60000 / 4920,138 = 12,2 \approx 12$ лет («зимних цикла»).

Для наглядного ознакомления с полученными значениями в ходе поставленных опытов, все данные приведены в таблице, созданной в программе Windows Excel (таблица 3.3).

Таблица 3.3. Данные, полученные в ходе экспериментов

Время работы двигателя, мин.	После работы предпускового подогревателя 25-30 минут						Без предпускового подогревателя					
	Израсходовано топлива по ELM327, в литрах (к значениям по ELM добавляем 0,3л, которое израсходовано отопителем)	Температура масла двигателя, °С	Температура ОЖ ДВС, °С	Температура в АКПП, °С	Загрузка двигателя, %	Температура наружного воздуха, °С	Израсходовано топлива по ELM327, в литрах	Температура масла двигателя, °С	Температура ОЖ ДВС, °С	Температура в АКПП, °С	Загрузка двигателя, %	Температура наружного воздуха, °С
0	0,3	-12	23	-23	0	-28	-	-23	-21	-19	0	-28
5	0,6	15	51	-10	24	-28	0,4	-3	30	-7	26	-28
10	0,9	34	59	-3	23	-28	0,7	18	49	-2	24	-28
15							1	35	58	3	24	-28
20							1,2	46	63	7	23	-28

Среднее количество пусков в сутки:	2	пуск
Количество суток с прогревом (6 месяцев):	183	дней
Израсходовано с отопителем (за 6 месяцев) по данным ШГУ:	~2830,2	литр
Израсходовано без отопителя (за 6 прошлых месяцев) по данным ШГУ:	~2940	литр
Средняя цена за топливо (Бензин АИ-95):	44,81	руб.
Стоимость поставленного на автомобиль отопителя (с учётом установки в дилерском центре) за 2018 год:	60000	руб.
Получаемая экономия от отопителя за 6 месяцев:	4920,138	руб.
Окупаемость:	12 "холодных" зимних цикла, то есть 12 лет	

Нужно также обратить внимание, что в данном исследовании обозревается предпусковой подогреватель, встроенный в двигатель объёмом 5.3 литра. На среднестатистических легковых автомобилях с двигателями меньшего объёма полученные значения могут быть значительно ниже.

Выводы по проведённому эксперименту. Анализируя полученные данные и построенные по таблице, можно смело утверждать, что:

– предпусковой подогреватель мощностью 5 кВт потребляет 0,3 литра топлива за 30 минут работы (то есть 0,1л/10 мин.);

– автомобиль перед первым опытом (без предпускового подогревателя) простоял на морозе 9 часов, перед вторым опытом (с предпусковым подогревателем) простоял на морозе 13 часов. То есть отопитель прогревал более холодную машину. С проработавшим отопителем и двигателем автомобиль прогрелся до намеченных необходимых критериев за 10 минут работы ДВС, то есть достиг

оптимальной температуры узлов и жидкостей для возможности начала движения (температуры масла ДВС 30-35°C, температуры охлаждающей жидкости ДВС 60°C, температуры АКПП $0\pm 3^\circ\text{C}$). Не прогретый же двигатель достиг этих значений за 20 минут работы на холостом ходу.

– при запуске двигателя без преждевременного прогрева было замечено, что двигателю «сложнее» запуститься, это связано с тем, что при запуске двигателя в холодном состоянии масло в нём является загустевшим, все зазоры в механизмах увеличены, рабочие поверхности не смазаны, гидрокompенсаторы и гидронатяжители не имеют необходимого давления, то есть в первые секунды двигатель работает как будто практически без масла. Отсюда нежелательные задиры на стенках цилиндров, на кольцах, на распределительных валах и шейках. А так как предпусковой подогреватель гарантирует подогрев мотора и салона без запуска самого ДВС и он запускается при положительных температурах, то все эти пагубные последствия износа основных узлов можно таким образом предотвратить;

– чем больше количества пусков, тем быстрее окупится предпусковой подогреватель, то есть в данном случае мы имеем 0,5-0,6л экономии топлива за 2 пуска (в день) (см. таблицу 3.3). И если количества пусков будет больше, то и значение экономии топлива будет больше. Соответственно, и срок окупаемости будет меньше расчётных значений. А также стоит учесть, что если автовладелец ставит купленный предпусковой подогреватель сам вручную, не прибегая к помощи дилерских центров, то это также удешевляет общую цену на отопитель и снижает окупаемость, но теряется гарантия.

Экспериментальное исследование №3. Изучение общего принципа работы
предпусковых подогревателей. Создание макета алгоритма работы
предпусковых подогревателей на основе жидкостных подогревателей
14ТС

Обзор диагностического стенда для проверки функционирования
подогревателей

Экспериментальное исследование №3 будет базироваться на полученных данных и расчётах, выполненных на стенде для проверки функционирования моделей предпускового подогревателя 14ТС и 16ЖД, воздушных отопителей ПЛАНАР-4Д и их составных частей, а также с использованием диагностических программ. Данные и расчёты, полученные в ходе диагностических экспериментов и исследований, помогут получить (приобрести) новые углублённые знания и пути решения проблем, связанные с темой ВКР.

Стенд имеет два рабочих места, на которых проводится проверка режимов работы подогревателя 14ТС или воздушного отопителя ПЛАНАР-4Д, проверяется контроль параметров.

Основные технические характеристики стенда:

- Контролируемое значение температуры выхлопных газов должно быть не более, °С - 500.
- Контролируемое значение потребляемого тока, А - от 0 до 15.
- Контролируемое значение напряжения питания, В - от 10 до 30.
- Контролируемое значение потребляемой электрической мощности, Вт - от 0 до 100.
- Количество отопителей, проверяемых на стенде, шт. - 1.
- Проверка функционирования:
 - а) свечи накаливания;
 - б) топливного насоса;
 - в) нагнетателя воздуха;

- г) датчика температуры;
- д) индикатора пламени;
- е) помпы;
- ж) пульта управления.

В состав стенда входят следующие блоки и устройства:

- блок управления - 1 шт.;
- амперметр М42300-15А ТУ25-7504.132-97 - 1 шт.;
- мультиметр М890G - 1 шт.;
- пульт управления АДВР.010.03.00.000 (ПЛАНАР) - 1 шт.;
- пульт управления 14ТСП.451.00.00.00.000 - 1 шт.;
- электродвигатель с насосом НО.472.3780-24В (помпа) - 1 шт.;
- топливный насос ПЛАНАР-4Д-12В/24В - 1шт.;
- аккумулятор - 1 шт.;
- зарядное устройство - 1 шт.;
- устройство диагностики 14 ТС - 1 шт.;
- блок предохранителей БПр-3 - 1 шт.;
- тумблер ТВ1 - 1 шт.;
- бак для воды - 1 шт.;
- бак для топлива - 1 шт.;
- шланг резиновый (вода) - 2 шт.;
- шланг резиновый (топливо) - 2 шт.;
- ёмкость мерная, 100 мл. - 1 шт.;
- труба выхлопная - 1 шт.;
- термодары типа ХА (К) – ТПК- 054 – 01-80-2,5 - 2 шт.;

Устройство и принцип работы стенда:

– предназначен для контроля параметров, режимов работы подогревателей 14 ТС, воздушных отопителей ПЛАНАР-4Д и их составных частей.

– имеет два рабочих места, на которых проводится проверка режимов работы подогревателя 14 ТС или воздушного отопителя ПЛАНАР-4Д.

При измерении параметров информация о температуре выхлопных газов и потребление тока, напряжение питания выводится на соответствующие приборы, а именно:

- а) о температуре выхлопных газов – на мультиметр;
- б) о токе потребления – на амперметр М42300 (А4/А5);
- в) о напряжении питания – на устройство диагностическое 14 ТС.

– Управление подогревателем 14 ТС (пуск/останов) может осуществляться через клавишный пульт управления или устройство диагностики 14 ТС. Основным является управление устройством диагностики, т.к. оно имеет большие возможности для идентификации неисправностей подогревателя 14 ТС и позволяет при малом объёме бака для воды выйти на его максимальный режим работы.

– Температура выхлопных газов измеряется мультиметром при помощи термопары типа ХА(К) подогревателя 14 ТС, подключённой ко входу измерения температуры.

– Ток потребления подогревателем измеряется амперметром.

– Включение отопителя ПЛАНАР-4Д (запуск, min режим) осуществляется поворотом ручки регулятора пульта управления. Загорается красный светодиод. При повороте ручки регулятора вправо до упора запускается max режим работы отопителя (горит красный светодиод). При повороте ручки регулятора влево до упора загорается зелёный индикатор и запускается вентиляторный режим («продувка») работы отопителя. Измерение параметров производится на max режиме.

– Температура выхлопных газов измеряется мультиметром при помощи термопары типа ХА(К) “Планар”, подключённой ко входу измерения температуры.

– Ток потребления отопителем измеряется амперметром.

Общий вид стенда показан на рисунке 3.10.



Рис. 3.10. Фотографии стенда для проверки функционирования различных видов предпусковых подогревателей

Исследование параметров подогревателей 14ТС. Создание макета алгоритма работы предпусковых подогревателей на основе жидкостных подогревателей 14ТС

В ходе опытов будем дополнительно пользоваться программами «Edith» и «14tc DiagnosticTool» (процесс работы показан на рисунке 3.11 и 3.12)

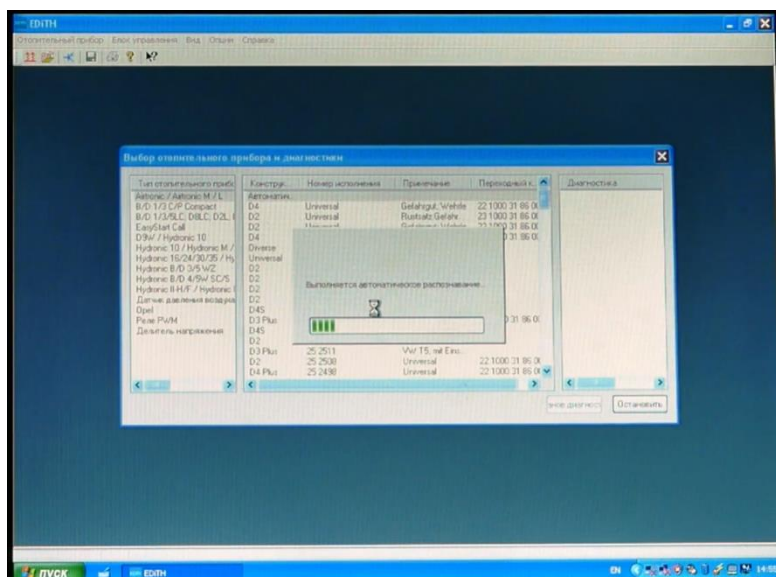


Рис. 3.11. Процесс проверки функционирования составных частей различных отопителей в программе «Edith»

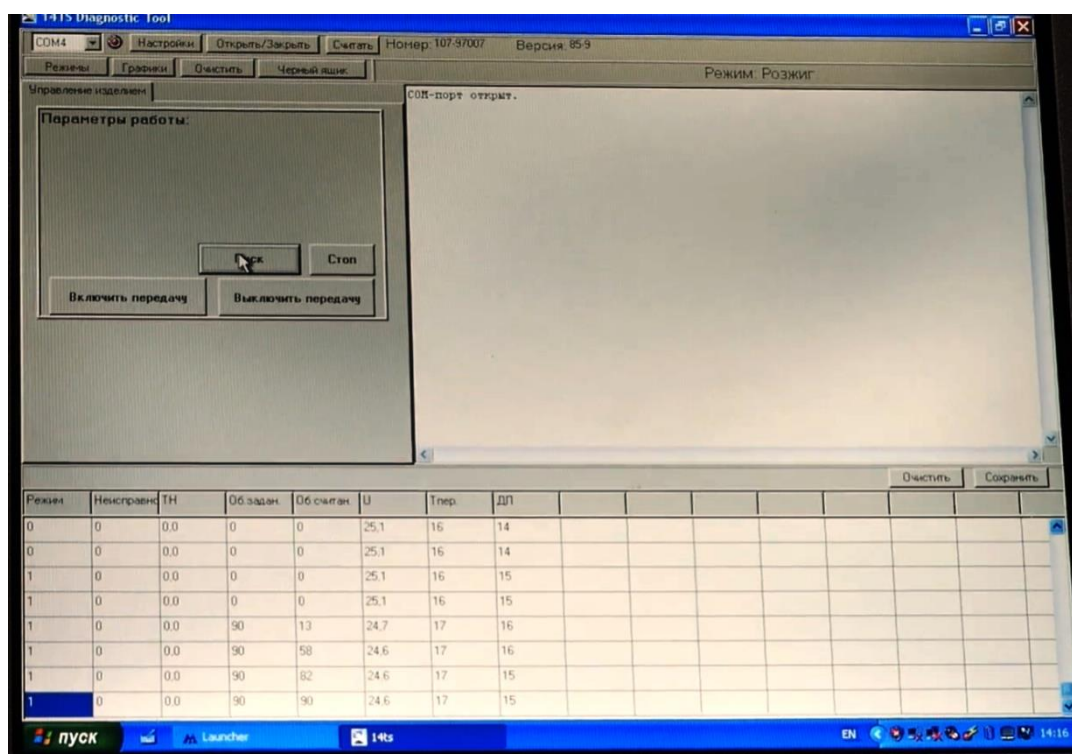


Рис. 3.12. Процесс проверки функционирования составных частей отопителей 14ТС в программе «14tc Diagnostic Tool»

Эти программы позволяют наблюдать непосредственно за каждым элементом различных отопителей в реальном времени и считывать продиагностированную неисправность. Программы являются платными.

Ход экспериментального исследования:

– Включаем приточно-вытяжную вентиляцию помещения.

– Нажимаем на пульте управления кнопку ПР1 или ПР2 (рисунок 3.13) на запуск подогревателя, блок управления подогревателя диагностирует все элементы системы управления и их электроцепи. Диагностику ведем визуально по миганию светодиодов HL3, HL4, HL5, HL6. Этот процесс длится около 14 секунд, что включает в себя предварительную продувку теплообменника, получения входного сигнала с датчика пламени на наличие света и предварительное зажигание.



Рис. 3.13. Пульт непосредственного управления подогревателем

Управление подогревателем осуществляется с пульта управления. Пульт располагается на стенде. На лицевой панели пульта выведена ручка потенциометра для задания температуры воздуха внутри салона автомобиля (к пульта управления подключён выносной датчик температуры воздуха салона). Температура может задаваться в пределах от +15°C до +30°C.

На лицевой панели пульта (рис. 3.13), расположены кнопка ПР1 (режим «Полный») и кнопка ПР2 (режим «Средний»), каждая из которых предназначена для включения и выключения подогревателя. На лицевой панели пульта управления также выведены 2 светодиода, которые

показывают состояние подогревателя, работающего по соответствующей программе:

- не светятся, подогреватель не работает;
- светится зеленым цветом, подогреватель работает;
- мигает красным цветом с промежутками с сопровождением звукового сигнала (код неисправности), подогреватель не исправен.

– При исправном состоянии всех элементов подогревателя, блок управления начинает работу подогревателя по заданной программе. При нажатии кнопки ПР1 начинается работа подогревателя по программе «Розжиг», а при нажатии кнопки ПР2 по программе «Полный». Розжиг (также называют Поджигом) длится 7-8 секунд.

Также приведём начальные значения, получаемые программой Edith (рисунок 3.14)

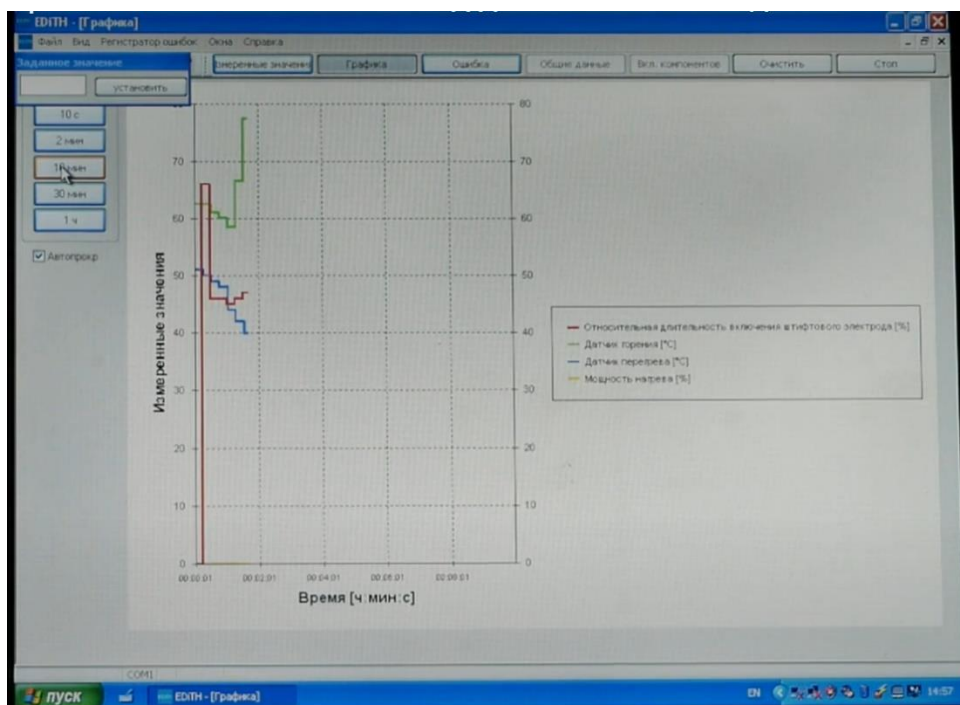


Рис. 3.14. Значения, получаемые от датчика горения, перегрева, а также мощность нагрева

– Начинается процесс активного горения, длительность работы которого зависит от режима работы отопителя. Начало работы по программе № 1 «ПОЛНЫЙ» и № 2 «СРЕДНИЙ» не имеют отличия друг от друга до выхода подогревателя на «Средний» режим работы. Блок управления подогревателя подает напряжение на электродвигатель горелки, выполняется режим продувки. По истечении 20 сек., напряжение с клемм электродвигателя снимается. Плавно повышается напряжение на свечи накаливания, разогревается пористая структура испарителя в камере сгорания. Затем подается по программе напряжение на топливный насос и электродвигатель горелки, начинается процесс горения в камере сгорания, который контролируется блоком управления по сигналу с индикатора пламени.

– При достижении стабильного горения (50-80 °С) и достаточного сигнала от индикатора пламени, блок управления отключает свечи накаливания и в дальнейшем процесс горения поддерживается за счет непрерывной подачи топлива и воздуха в камеру сгорания (процесс регулировочной паузы), который длится до 120 секунд (система циркулирует уже подогретую жидкость или воздух) после чего по достижении нижней пороговой температуры (50 °С) датчик температуры отправляет сигнал в блок управления для повторного прогрева и циркуляции жидкости (или воздуха в воздушных отопителях).

– После всех этапов прогрева следует процесс постепенного отключения подогревателя и окончательный цикл работы продолжается уже на прогретой камере сгорания, то есть работают только циркуляционный насос высокого давления, нагнетатель воздуха и датчик пламени.

Результаты работы режимов «Розжиг», «Полный», «Средний» «Малый», «Продувка», «Ожидание» приведены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4. Показатели работы подогревателя 14-ТС для режимов «Розжиг», «Полный», «Средний» «Малый»

Исследуемые параметры усовершенствованного стенда	Предпусковой подогреватель 14-ТС			
	«Розжиг»	«Полный»	«Средний»	«Малый»
Режим работы	«Розжиг»	«Полный»	«Средний»	«Малый»
Органы управления стендом	Пульт управления			
Номинальном напряжении питания, В	25	24	23	22
Температура помещения, °С	20	20	22	22
Теплопроизводительность, кВт	9	14	14	15,5
Расход топлива, л/час	2	2	1,2	0,54
Температура охлаждающей жидкости, 0С	48	65	70	80
Температура выхлопных газов, 0С	400		500	
Применяемое топливо	Дизельное топливо по ГОСТ 305 или Бензин по ГОСТ 32513			
Потребляемая мощность подогревателя, Вт	108	86	55	31
Потребляемый ток, А	15	14	10	8
Продолжительность одного рабочего цикла, мин.	5	20	15	10
Режим запуска	Ручной		Автоматический, ручной	

Таблица 3.5. Показатели работы подогревателя 14-ТС для режимов
«Продувка и «Ожидание»

Исследуемые параметры усовершенствованного стенда	Предпусковой подогреватель 14-ТС	
	«Продувка»	«Ожидание»
Режим работы	«Продувка»	«Ожидание»
Органы управления стендом	Пульт управления	
Номинальном напряжении питания, В	24	23
Температура помещения, ° С	20	22
Теплопроизводительность, кВт	14	14
Расход топлива, л/час	1,9	1,2
Температура охлаждающей жидкости, 0С	65	50-40
Температура выхлопных газов, 0С	450	550
Применяемое топливо	Дизельное топливо по ГОСТ 305 или Бензин по ГОСТ 32513	
Потребляемая мощность подогревателя, Вт	87	55
Потребляемый ток, А	14	10
Продолжительность одного рабочего цикла, мин.	10	20
Режим запуска	Ручной	Автоматический

Контроль времени включения и отключения свечи накаливания ведем по свечению светодиода HL6.

Контроль температуры охлаждающей жидкости выходящей из подогревателя ведем по показаниям цифрового термометра HG1 - красный.

Контроль температуры охлаждающей жидкости входящей в подогреватель ведем по показаниям цифрового термометра HG2 – синий.

Исходя из полученных экспериментальных данных путём использования стенда и программ по проверке функционирования различных видов подогревателей был создан упрощённый макет, наглядно демонстрирующий общий алгоритм работы (пуск необходимых процессов) жидкостных и воздушных предпусковых подогревателей в точности повторяющий каждый пункт экспериментального исследования (рисунок 3.15)

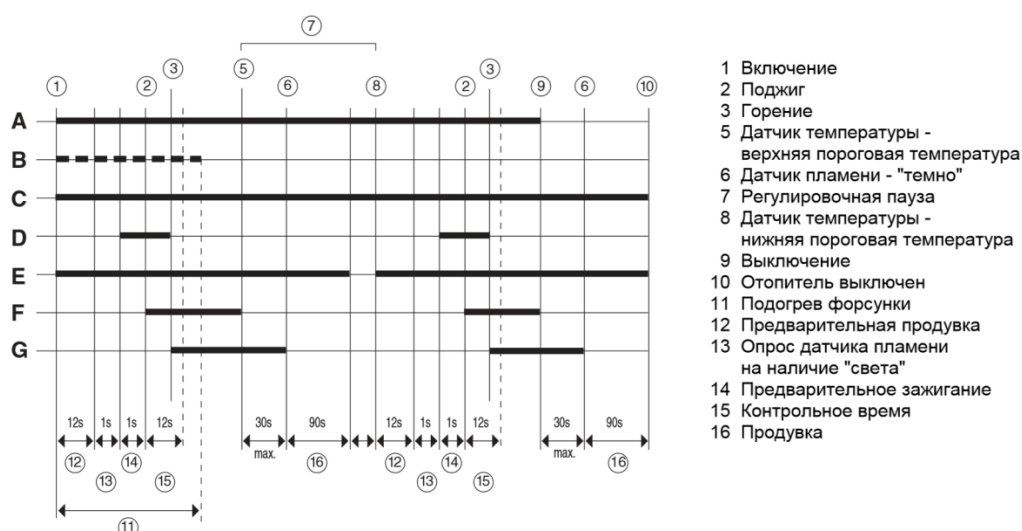


Рис. 3.15. Порядок пуска и остановки процессов (компонентов) предпусковых подогревателей, где: • А - Светодиод – индикатор работы; • В - Подогрев форсунки; • С - Циркуляционный насос; • D - Высоковольтная катушка зажигания; • Е - Нагнетатель воздуха; • F - Магнитный клапан; • G - Датчик пламени

Выводы по проведённому эксперименту:

– полностью раскрыта тема принципа работы, наглядно показаны алгоритмы режимов работы предпусковых подогревателей. Этот материал можно использовать в качестве методического обучающего пособия для студентов;

– исходя из полученных экспериментальных данных путём использования стенда и программ по проверке функционирования различных видов подогревателей был создан оригинальный упрощённый макет, наглядно демонстрирующий общий алгоритм работы (пуск необходимых процессов) жидкостных и воздушных предпусковых подогревателей в точности повторяющий каждый пункт экспериментального исследования.

Экспериментальное исследование №4. Исследование зависимости нагрева различных частей двигателя предпусковым подогревателем при изменении кругов циркуляции ОЖ, при утеплении впускного коллектора

Процесс исследования моделей предпусковых подогревателей осуществлялся с использованием инструментов и приборов перечисленных ниже:

1. Для бесконтактного измерения температуры был использован инфракрасный термометр IR-352. Прибор предназначен для бесконтактного измерения температуры в диапазоне от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для точного наведения устройства на измеряемый объект используется лазерный целеуказатель.

Измерение температуры происходит не в определенной точке, а на определенном участке. Чем дальше находится прибор от объекта, тем больше диаметр пятна. Это соотношение определяется оптическим разрешением прибора. Термометр имеет оптическое разрешение (соотношение дистанция/пятно) 12:1.

К техническим данным прибора, кроме упомянутых выше параметров, относятся:

Разрешение - $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$,

Точность - $\pm 2\%$,

Рабочая температура - $0...40\text{ }^{\circ}\text{C}$ при влажности до 90% ,

Скорость измерений - два измерения в секунду,

Индикация - 4х-значный ЖК дисплей.

Степень эмиссии - $0,98$ (не регулируется).

Автоматическое отключение - через 10 секунд.

Тип батареи - 9 вольт (NEDA 1604,006P),

Срок службы батареи - 15 часов непрерывной работы.

Размер- $157,5/115/36$,

Вес - 180 граммов.

2. Температура частей двигателя на стенде измерялась на лабораторной установке, схема измерительной станции приведена на рис. 3.16.

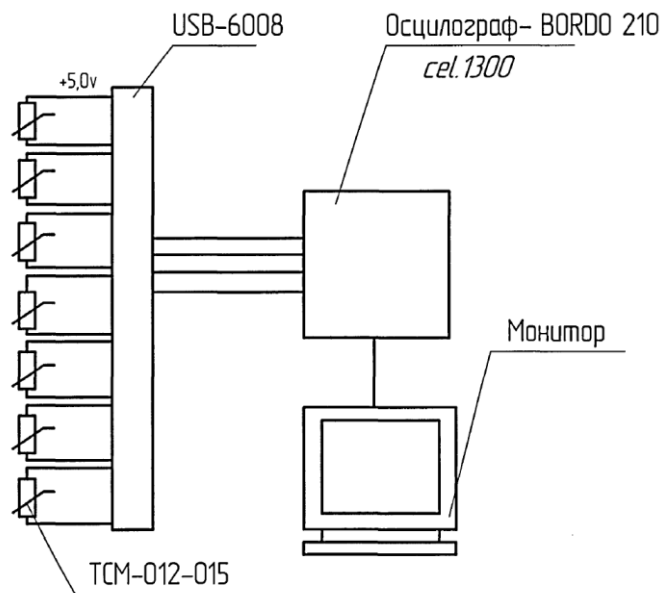


Рис. 3.16. Схема установки по измерению температуры

Инструменты и устройства, входящие в состав схемы:

1. Термометр сопротивления TCM-012-015.1 класс В,
Диапазон температур - $-50...120$ °С,
Номинальная статическая характеристика - 50 М,
Защита от пыли и воды - IP00,
Допускаемая погрешность - $0,3 + 0,005 \times |t|$.
2. USB устройство сбора данных USB-6008 (National Instrument)
Количество каналов аналогового входа - 8,
Разрешение при аналоговом вводе - 12 bit,
Количество каналов цифрового выхода - 24.
3. Цифровой осциллограф BORDO-210 (PSI), (SIGNAL),
Ширина пропускания входного тракта, МГц -150,
Вертикальное расширение, bit - 10,
Максимальные временные интервалы - 1,28 - 64000 мс,

Максимальная длина памяти - 128 Кб,

Коэффициенты развертки (1дел =100 пикс), мкс/дел. -0,005-50000,

Входное сопротивление (откр/закр, вход), Мом - 1.

В компьютере были установлены программа для визуализации и обработки сигналов "Osciloscope".

4. Для измерения температуры при эксплуатационных испытаниях модели использовались термометры по ГОСТ 2823-73.

Метрологическая характеристика инструмента:

Диапазон измерения - от-30 до+50 °С,

Цена деления термометра - 1 °С,

Погрешность инструмента- $\pm 0,5$ °С.

5. Сила тока аккумуляторной батареи определялась с использованием амперметра марки ЭП2 ГОСТ 1845-52 20А.

6. Измерения напряжения аккумулятора производились мультиметром марки ЭК2340.1.

Класс точности - 2,5,

Измеряемое напряжение — 0... 250 В,

Сила тока - 0...10А.

7. Замеры плотности электролита производились при помощи ареометра для электролита АЭ-3.

Диапазон измерения плотности- 1200... 1280 кг/м³

Цена деления ареометра - 2 кг/м³

При проведении экспериментальных исследований ставились следующие цели:

1. Определение температуры головки, блока двигателя и коллектора при нагреве его через систему охлаждения и непосредственно при установке нагревателя на трубе коллектора в зависимости от времени наблюдения. Время нагрева - фактор, влияющий непосредственно на энергоемкость процесса и на удобство использования нагревателя при эксплуатации.

2. Оценка разряда аккумуляторной батареи, влияющего на возможность дополнительных нагревов.

Для проведения опытов использовался стенд, изображённый на рисунке 3.17.

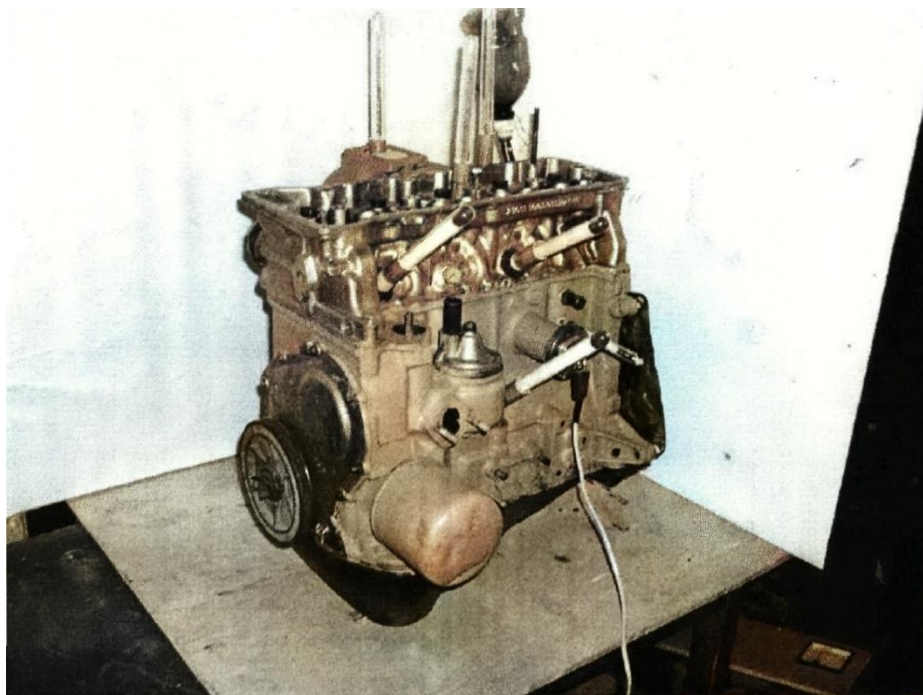


Рис. 3.17. Стенд по исследованию предпускового нагревателя

Двигатель установлен на верстаке, который исключает возможность его произвольного опрокидывания.

Для увеличения площади контакта термометров с поверхностью двигателя с целью уменьшения погрешности измерения использовалась термопаста для монтажа радиокомпонентов марки КПТ - 8 ГОСТ 19783 — 74.

Термометры крепились следующим образом: сначала к поверхности двигателя приклеивались пластиковые втулки при помощи эпоксидного

компаундного клея, а затем внутрь втулки помещалась термопаста и термометр.

Для наиболее полного представления о температуре нагрева различных участков двигателя при исследовании модели нагревателя, термометры решено было установить следующим образом (см. рисунки 3.18, 3.19):

№ 1 - в передней части впускного коллектора;

№ 2 - установлен на впускном коллекторе в непосредственной близости от головки блока цилиндров;

№ 3 - в верхней части головки блока цилиндров;

№ 4 - в центральной нижней части головки блока цилиндров;

№ 5 - в нижней части головки блока цилиндров, с краю;

№ 6 - в средней части бока цилиндров;

№ 7 - в нижней части блока цилиндров.

Для проведения экспериментов также использовались два автомобильных аккумулятора емкостью 60 Ач.

Сила тока аккумуляторной батареи определялась с использованием амперметра марки ЭП2 ГОСТ 1845-52 20 А. Измерения напряжения аккумулятора производились мультиметром (тестером) марки Ц4324, замеры плотности электролита производились при помощи ареометра для электролита.

При подключении подогревателя к рубашке охлаждения все соединения уплотнялись при помощи герметика - прокладки марки ТУ 2384-031 - 05666764-96, по окончании склеивания осуществлялась проверка герметичности соединения.

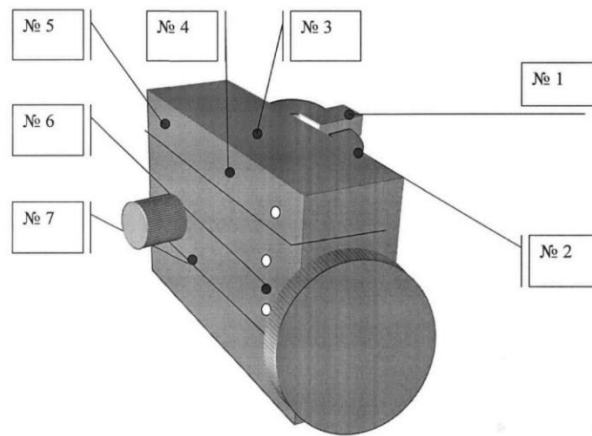


Рис. 3.18. Расположение точек контроля температуры на двигателе

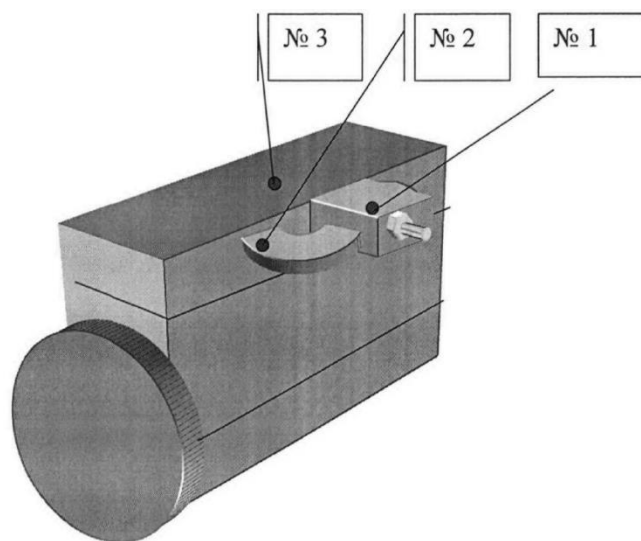


Рис. 3.19. Расположение точек контроля температуры на двигателе

Так как впускной коллектор имеет довольно сложную форму, то установить нагревающий элемент непосредственно в нижнюю часть не представляется возможным, а установка внутри всасывающего трубопровода может привести к воспламенению топливовоздушной смеси.

Поэтому было принято решение исследовать подогреватель термосифонного типа, т.е. нагреватель подключается к системе охлаждения, охлаждающая жидкость нагревается внутри подогревателя, а затем поступает в рубашку охлаждения впускного коллектора благодаря

явлению конвекции. То есть соответствует принципу работы предпусковых подогревателей только без использования насоса.

Использовали в качестве нагревательного элемента стандартную свечу накаливания, применяемую для воспламенения горючей смеси в отопителях марки П-100, или ПЖб-12, работающих на бензиновом топливе. Марка выбранного нагревателя КАТЕК СР65А 4В 16А.

Так как данная свеча имеет сопротивление 0,25 Ом, то выделяющаяся мощность при использовании аккумуляторной батареи напряжением 12В составит:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{12^2}{0,25} = 576 \text{ (Вт)},$$

где U – напряжение питания, R – сопротивление нагревательного элемента.

Спроектированный нагреватель был изготовлен, и произведены эксперименты, описанные ниже. Эксперименты проводились при температуре окружающего воздуха +20 °С на стенде. В качестве охлаждающей жидкости использовалась вода. Показания приборов и термометров производились через 5 минут в течение 30 минут.

Для исследования пуска двигателя с подогревом коллектора была опробована модель предпускового нагревателя коллектора, работающая от стартовой батареи автомобиля емкостью 60 Ач. Модель состоит из автомобильного нагревателя воды мощностью 200Вт с напряжением питания 12 вольт, установленного в диатонической манжете. Резина манжеты разрезана и внутрь был установлен нагреватель в защитном проволочном ограждении. Разрез был позднее герметизирован компаундным эпоксидным клеем. Через имеющуюся трубку внутрь был залит тосол А-40 в количестве 300 см³. Собранный модель устройства была

установлена в чехол с застежками. К нагревателю были припаяны провода сечением $2,5 \text{ мм}^2$ с зажимами, прикрепляемыми к аккумуляторной батарее.

Температура измерялась ртутными термометрами по ГОСТ 2823-73, плотность электролита измерялась ареометром.

Установка термометров на двигателе произведена аналогично тому, как была проведена их установка на стенде с использованием эпоксидного компаундного клея для приклеивания втулки, в которой размещается термометр, и внутри втулки термопаста. В связи с тем, что зона нагрева более локализована, по сравнению со стендовым экспериментом было выбрано на двигателе две контрольных точки. Размещение термометров:

1 точка - впускная труба коллектора,

2 точка - крышка головки.

Температура при запуске двигателя измерялась малоинерционным инфракрасным термометром IR-350. Расстояние от двигателя до коллектора было выбрано 0,6 м.

Модель устройства была закреплена на впускной трубе коллектора, причем тепловой элемент располагался в верхней части коллектора.

Данное решение, не оптимальное, с точки зрения конвекции нагретого воздуха во впускном тракте двигателя, вызвано наличием препятствий для установки нагреваемой части снизу коллектора. Мешает установке насос охлаждающей жидкости.

Устройство было установлено на автомобиле М 21412 1993 года выпуска, двигатель 412Э 1979 года выпуска. Моторное масло, используемое в двигателе, - М53/10Г1 по ГОСТ 10541-78. В процессе эксплуатации данного автомобиля выяснилось, что проблемы с пуском двигателя начинаются при температуре $-10...-15 \text{ }^\circ\text{C}$, т.е. вероятность запуска резко снижается.

Исследование модели предпускового нагревателя на стенде

При проведении стендовых исследований модель нагревателя подключалась к системе охлаждения в различных частях двигателя. Первым опытом был эксперимент с нагревом по большому кругу (рис. 3.20)

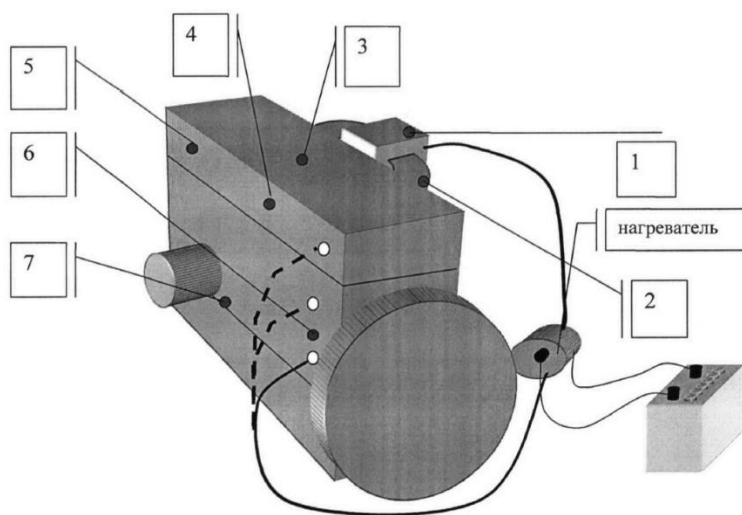


Рис. 3.20. Схема подключения подогревателя в опыте с врезкой по большому кругу

Данные, полученные в опыте при измерении температуры в контрольных точках, приведены в таблицах 3.6 и 3.7, показана температура в контрольных точках (опыт с подключением по большому кругу), изменение напряжения аккумуляторной батареи, разряд аккумуляторной батареи, изменение плотности электролита в опыте показаны в таблицах 3.8-3.11.

Таблица 3.6. Температура в контрольных точках в опыте с подключением
по большому кругу

Время, мин	0	5	10	15	20	25	30
Точки							
1	18,3	40,1	55,1	58,2	57,7	56	55
	18,2	41,2	56,0	58,1	58,0	58	57
	18,3	40,3	54,9	57,9	57,8	56	56
2	18,3	23,0	35,1	44,2	46,1	46	46
	18,3	22,7	34,4	44,1	46,2	46	46
	18,4	22,5	35,0	43,9	46,4	45	45
3	18,3	20,2	21,1	24,0	28,2	29	29
	18,3	20,0	21,2	24,1	28,4	28	29
	18,3	20,3	21,2	23,1	28,2	28	29
4	18,4	18,6	18,9	21,2	25,3	26	27
	18,3	18,4	18,9	20,9	24,9	26	27
	18,4	18,5	18,8	20,9	24,7	26	26
5	18,4	18,6	18,8	20,8	24,5	25	26
	18,4	18,6	18,8	20,8	24,4	25	25
	18,5	18,6	18,8	20,8	24,5	25	26
6	18,3	18,6	18,9	18,9	20,0	21	22
	18,3	18,6	18,9	19,1	20,0	21	22
	18,3	18,5	18	18,8	20,0	22	22
7	18,4	18,6	18,9	18,9	18,9	18,9	19,6
	18,4	18,7	18,9	18,9	19,0	19,3	19,8
	18,4	18,6	18,8	18,9	18,9	19,3	19,6

Таблица 3.7. Температура в контрольных точках в опыте с подключением
по большому кругу (нагреватель отключили на 15 минуте)

Время, мин	0	5	10	15	20	25	30
Точки							
1	20,1	45,1	52,2	56,1	44,0	38,8	33,1
	20,2	45,2	51,1	57,0	43,8	38,6	33,2
	20,1	46,0	52,0	57,0	44,1	37,5	33,2
2	20,0	24,2	37,2	42,2	41	37,0	32,4
	20,1	23,3	37,1	42,1	41	36,8	32,5
	20,3	23,4	37,0	43,1	41	37,2	32,6
3	20,2	22,3	23,2	25,3	25,2	25,0	25,0
	20,0	22,3	23,3	24,1	24,0	23,9	23,8
	20,3	22,2	23,3	25,0	24,9	24,7	24,6
4	20,3	21,0	22,0	23,1	23,0	22,9	22,7
	20,1	21,0	22,0	23,7	23,6	23,5	23,3
	20,2	20,9	22,1	23,4	23,4	23,2	22,9
5	20,2	21,1	21,3	22,1	22,0	21,6	21,2
	20,3	21,0	21,5	22,2	22,0	21,7	21,4
	20,1	21,2	21,4	22,4	21,9	21,8	21,3
6	20,2	20,4	20,7	21,1	20,7	20,6	20,1
	20,1	20,4	21,0	21,2	21,0	20,5	20,2
	20,2	20,5	21,2	21,2	21,0	20,7	20,3
7	20,0	20,3	20,5	20,9	20,6	20,4	20,2
	20,2	20,4	20,6	21,9	20,8	20,5	20,3
	20,0	20,3	20,7	21,3	20,9	20,5	20,4

Таблица 3.8. Напряжение аккумуляторной батареи в опыте с подключением по большому кругу

t, мин	0	5	10	15	20	25	30
U, В	12	11	10,5	10	9,8	9,7	9,6

Таблица 3.9. Напряжение аккумуляторной батареи в опыте с подключением по большому кругу (нагреватель отключили на 15 минуте)

t, мин	0	5	10	15	20	25	30
U, В	12	10,5	10	9,8	-	-	-

Таблица 3.10. Плотность электролита в банках АКБ, г/см³ в опыте с подключением по большому кругу

До опыта	1,18	1,27	1,27	1,25	1,26	1,26
После опыта	1,15	1,25	1,26	1,24	1,23	1,24
Разряд, %	19	13	10	10	19	13

Таблица 3.11. Плотность электролита в банках АКБ, г/см³ в опыте с подключением по большому кругу (нагреватель отключили на 15 минуте)

До опыта	1,27	1,29	1,30	1,26	1,29	1,25
После опыта	1,22	1,23	1,24	1,22	1,23	1,19
Разряд, %	31	38	38	25	38	38

Построенные по осредненным данным таблиц графики изменения температуры и график изменения мощности нагревателя показаны ниже (рисунки 3.21- 3.24):

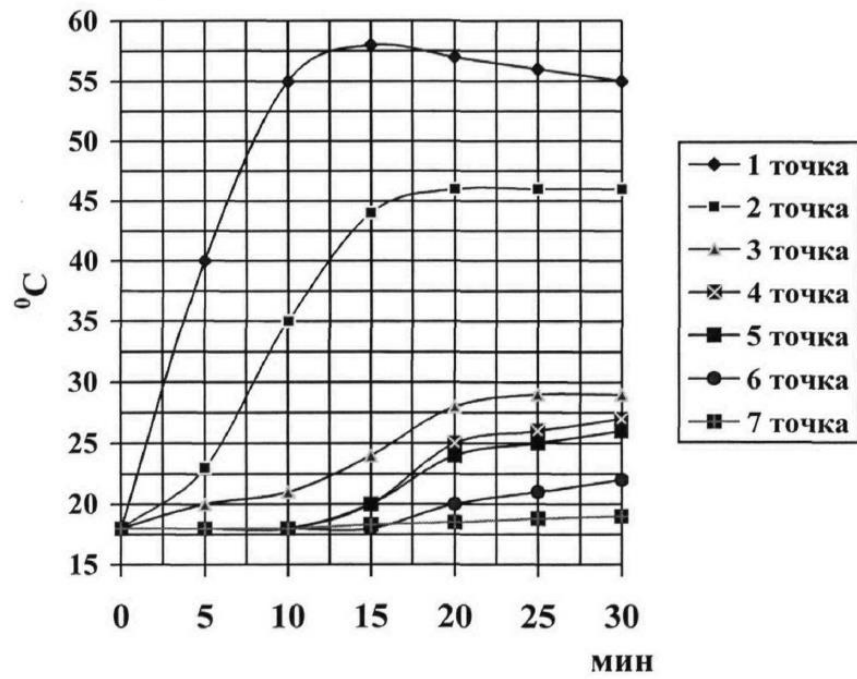


Рис. 3.21. Графики изменения температуры в контрольных точках

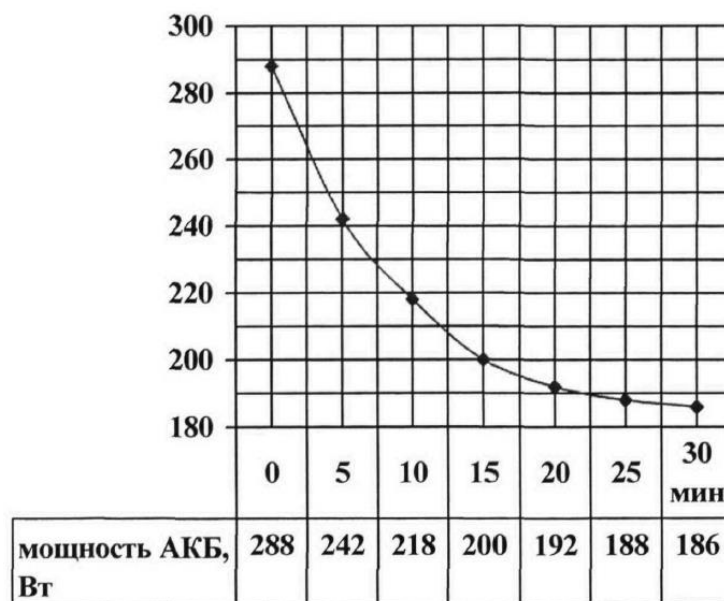


Рис. 3.22. Изменение мощности нагревателя от времени нагрева

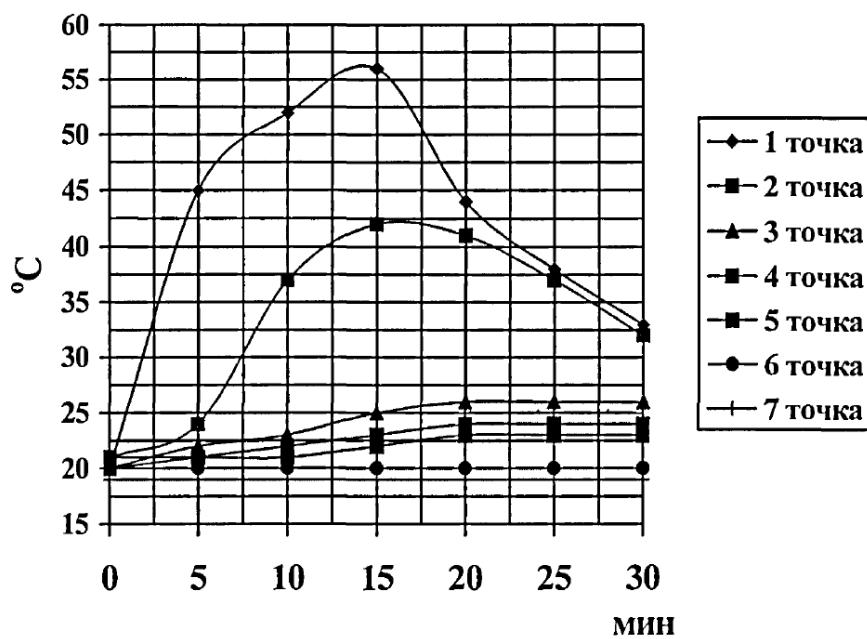


Рис. 3.23. Графики изменения температуры в контрольных точках (отключили через 15 минут)

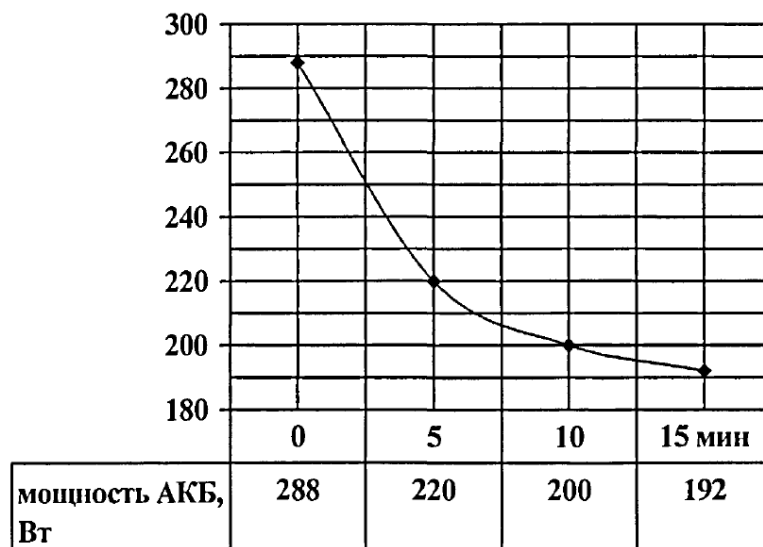


Рис. 3.24. Изменение мощности нагревателя от времени нагрева (отключили через 15 минут)

Аналогичные эксперименты были проведены при нагреве и циркуляции ОЖ по малому кругу циркуляции (рисунок 3.25):

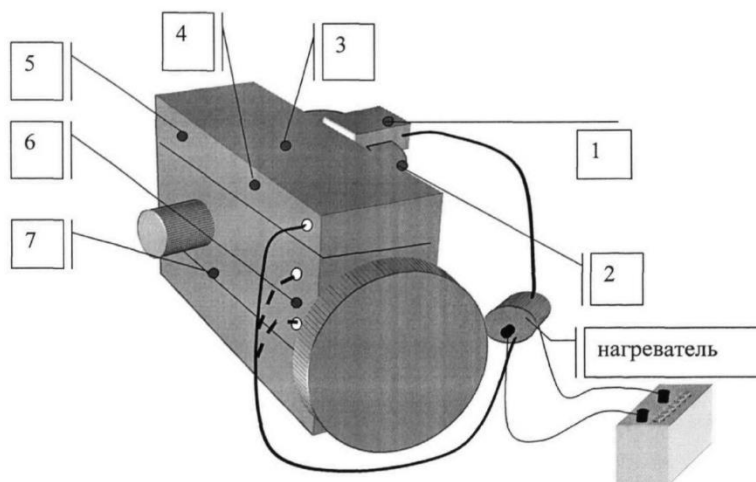


Рис. 3.25. Схема подключения подогревателя в опыте с врезкой по малому кругу

А также в серии опытов проводился эксперимент по наблюдению за изменением температуры в контрольных точках при нагреве двигателя по малому кругу с использованием теплоизоляции впускного коллектора. В качестве теплоизолятора используется строительная минеральная вата толщиной до 30 мм, уложенная на коллекторе двигателя и связанная капроновым бытовым шнуром (рисунок 3.26).

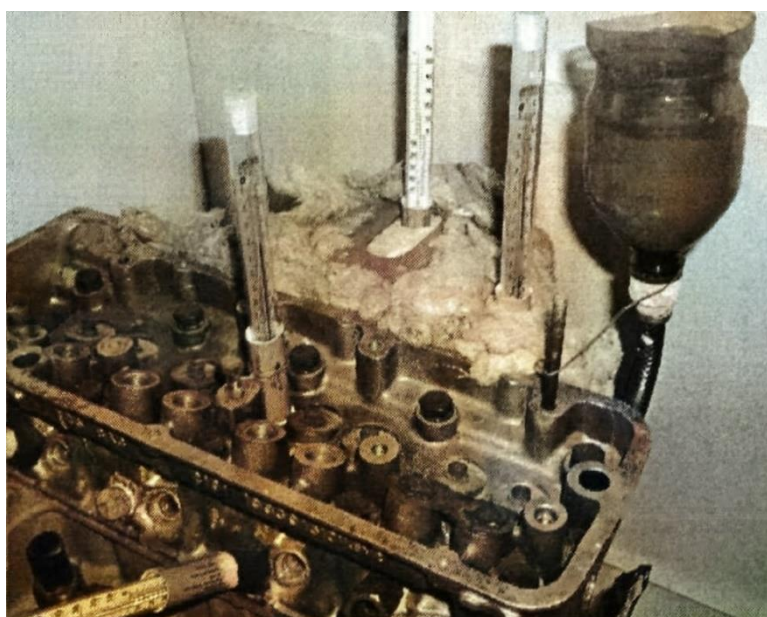


Рис. 3.26. Вид стенда после теплоизоляции впускного коллектора

Таблица 3.12. Температура в контрольных точках
в опыте с подключением по малому кругу

Время, мин ----- Точки	0	5	10	15	20	25	30
1	19,9 20,1 20,0	38,1 38,9 38,5	55,4 55,5 55,4	57,2 57,1 56,9	57,5 57,6 57,8	57,7 57,8 57,7	57,2 57,1 57,2
2	20,0 20,1 20,2	23,2 23,3 23,4	37,4 37,5 37,5	44,3 43,9 44,1	46,2 46,0 46,3	46,6 46,5 46,6	46,0 45,9 46,3
3	20,0 20,0 20,0	20,4 20,3 20,2	21,0 21,1 21,0	24,2 23,9 24,1	28,2 28,1 28,2	29,2 29,4 28,9	29,0 29,1 28,8
4	20,1 20,1 20,1	20,2 20,3 20,4	20,7 20,8 20,7	22,0 21,8 21,7	25,5 25,6 25,4	27,1 27,1 26,9	27,2 27,1 26,9
5	20,1 20,1 20,1	20,3 20,2 20,4	20,7 21,0 20,7	21,3 21,4 21,2	24,3 23,9 24,1	26,1 26,0 25,9	26,2 26,1 26,0
6	20,2 20,2 20,2	20,3 20,3 20,4	20,6 20,6 20,6	20,9 21,0 21,0	21,4 21,5 21,5	22,0 21,9 22,0	23,0 22,6 22,3
7	20,1 20,1 20,1	20,4 20,4 20,4	20,7 20,7 20,7	20,9 20,8 20,8	20,9 20,9 20,9	20,9 20,9 20,9	21,0 20,9 20,9

Таблица 3.13. Температура в контрольных точках в опыте с подключением
по малому кругу (коллектор теплоизолирован)

Время, мин ----- Точки	0	5	10	15	20	25	30
1	20,2 20,2 20,3	41,2 40,9 41,1	55,0 54,9 55,2	59,2 58,9 59,0	60,1 59,8 59,9	60,6 60,7 60,9	60,1 60,0 60,0
2	20,2 20,1 20,0	23,4 23,5 23,7	35,4 35,8 35,7	43,2 42,9 43,2	47,3 47,2 47,1	48,2 48,3 48,4	48,0 48,1 48,1
3	20,0 20,0 20,0	21,1 20,9 20,9	22,4 22,4 22,5	24,0 24,1 24,0	25,6 25,7 25,8	26,3 26,4 26,4	26,1 26,1 26,2
4	20,1 20,2 20,1	20,5 20,5 20,6	20,6 20,7 20,8	22,1 21,9 21,9	23,5 23,2 23,3	24,2 24,4 24,3	24,0 23,9 23,9
5	20,1 20,2 20,3	20,3 20,3 20,4	20,5 20,6 20,7	21,2 21,2 21,3	22,5 22,6 22,3	23,9 23,8 23,7	24,0 23,8 23,6
6	20,2 20,2 20,2	20,3 20,4 20,3	20,6 20,5 20,5	20,8 20,8 20,8	21,4 21,5 21,4	21,9 21,9 21,9	22,1 22,0 22,0
7	20,1 20,1 20,1	20,4 20,3 20,4	20,5 20,5 20,5	20,8 20,8 20,8	21,4 21,3 21,4	21,8 21,8 21,9	22,1 22,1 22,2

Таблица 3.14. Напряжение аккумуляторной батареи в опыте
с подключением по малому кругу

t, мин	0	5	10	15	20	25	30
U, В	12	11,8	11,5	10,5	10	9,8	9,7

Таблица 3.15. Напряжение аккумуляторной батареи в опыте с
подключением
по малому кругу (коллектор теплоизолирован)

t, мин	0	5	10	15	20	25	30
U, В	12	11,5	10,6	9,6	9,4	9,0	8,5

Таблица 3.16. Плотность электролита в банках АКБ, г/см
в опыте с подключением по малому кругу

До опыта	1,17	1,30	1,29	1,26	1,26	1,25
После опыта	1,3	1,25	1,25	1,22	1,23	1,20
Разряд, %	25	31	25	25	19	31

Таблица 3.17. Плотность электролита в банках АКБ, г/см в опыте
с подключением по малому кругу (коллектор теплоизолирован)

До опыта	1,18	1,25	1,30	1,27	1,28	1,26
После опыта	1,12	1,22	1,24	1,23	1,24	1,21
Разряд, %	38	25	31	31	31	31

Построенные по осредненным данным таблиц графики изменения температуры и графики изменения мощности нагревателя показаны на рисунках 3.27-3.30.

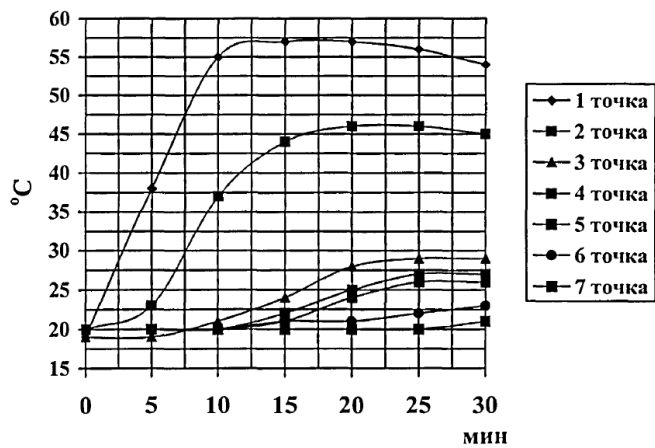


Рис. 3.27. График изменения температуры в контрольных точках

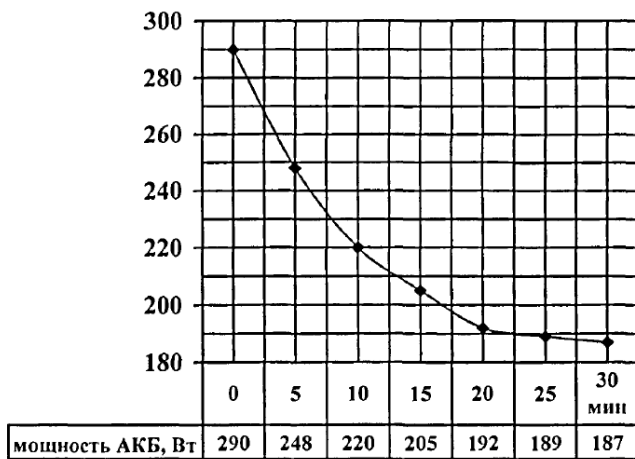


Рис. 3.28. Изменение мощности нагревателя в процессе нагрева по малому кругу

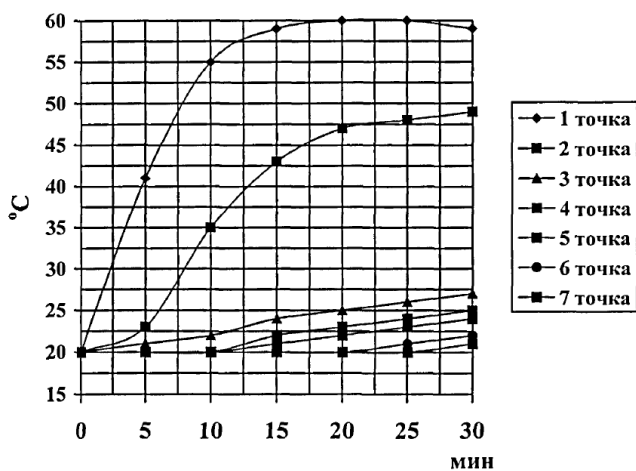


Рис. 3.29. График изменения температуры в контрольных точках (коллектор теплоизолирован)

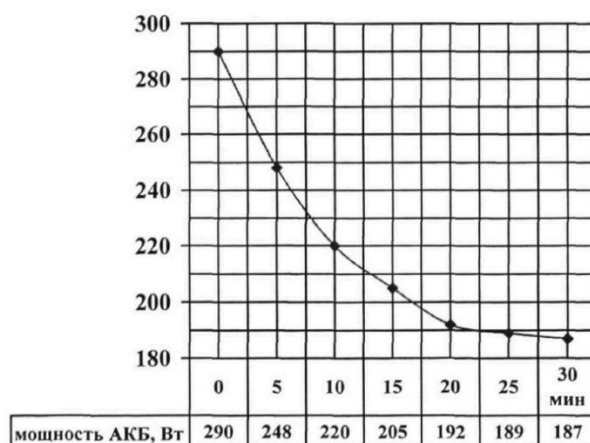


Рис. 3.30. Изменение мощности нагревателя в процессе нагрева по малому кругу (коллектор теплоизолирован)

Исследование модели предпускового подогревателя на автомобиле

Наблюдения проводились в марте 2020 г. Температура воздуха: -14 °С. Ветер переменных направлений: 5-8 м/сек.

Было произведено три подогрева с интервалом в два часа между измерениями, в течение этого времени произошло остывание коллектора до температуры воздуха. Нагреватель включался путем установки зажимов на аккумуляторе. Перед вторым измерением температура воздуха повысилась до -13 °С. Каждый нагрев продолжался 6 мин.

Контроль значений температуры в точках осуществлялся ежеминутно. Плотность электролита измерялась после каждого нагрева. Кроме того, степень разряда батареи оценивалась при включении стартера по его звуку. Существенного снижения частоты вращения стартера не отмечено. Запуск двигателя (звук от вспышек в цилиндрах) слышался почти сразу. Перебои, связанные с пропуском зажигания в цилиндрах, не наблюдались. После 5-6 секунд работы стартера двигатель запустился, с увеличением частоты вращения коленчатого вала.

Плотность электролита до опытов - 1,25 г/см³ - 100 % заряженности;

Плотность после первого нагрева - 1,25 г/см³ - 100 % заряженности;

Плотность после второго нагрева - 1,23 г/см³ - 87 % заряженности.

Как видно из замеров плотности электролита, использование модели нагревателя для двух нагревов не приводит к значительному снижению емкости стартовой батареи.

График изменения температуры в контрольных точках, построенный по результатам измерений, показан на рисунке 3.31.

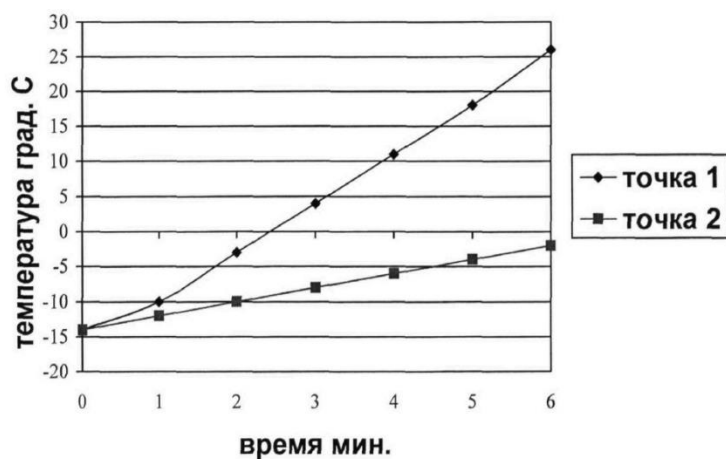


Рис. 3.31. График температур нагрева двигателя в контрольных точках при испытании модели на автомобиле

При проведении опыта проводилось и измерение температуры наружной поверхности коллектора с использованием инфракрасного термометра IR-350 в период пуска двигателя.

График изменения температуры наружной поверхности коллектора показан на рис. 3.32.

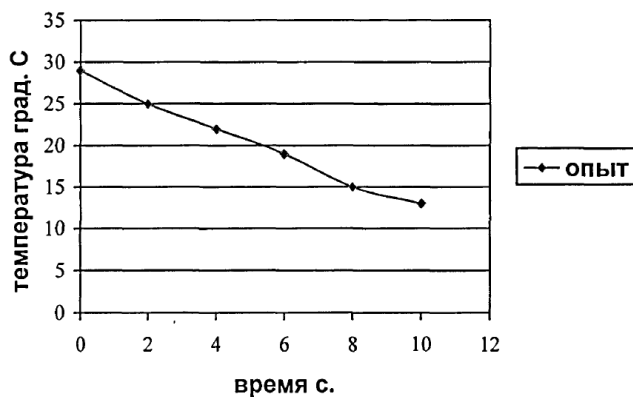


Рис 3.32. График температуры наружной поверхности коллектора при пуске двигателя

Выводы по проведённым экспериментам:

– в данных опытах изменялась схема подключения подогревателя, уменьшали круг циркуляции жидкости. Сравнивая полученные данные, отображенные на рисунках и в таблицах можно заметить, что изменение температуры в контрольных точках во всех экспериментах практически одинаковое (разница составляет 1-2 градуса);

– массивные детали, такие как блок цилиндров, головка блока цилиндров, нагревается незначительно (всего на 5-10 °С), что на улучшении пусковых свойств двигателя никак не скажется. Поэтому можно сделать вывод, что для увеличения эффективности нагрева требуется уменьшить круг циркуляции еще больше и исключить нагрев блока цилиндров и головки блока вообще. Но для этого нужно внести небольшие переделки в конструкцию рубашки охлаждения, то есть произвести врезку двух штуцеров в рубашку охлаждения впускного коллектора в зоне как можно более близкой к головке цилиндров. Наибольшая трудность при этом возникнет из-за того, что под впускным коллектором очень близко находится выпускной коллектор. Подогреватель подключить следующим образом: забор холодной жидкости будет производиться через врезанные штуцера, а подвод горячей жидкости - через стандартный штуцер, расположенный в передней части впускного коллектора;

- если не производить сложных переделок, то лучше всего подключить подогреватель следующим образом: в стандартной системе охлаждения при работе двигателя на всех автомобилях с жидкостной системой охлаждения жидкость подается от головки цилиндров в рубашку охлаждения впускного коллектора и далее поступает по резиновому шлангу к общей магистрали обратного потока. При монтаже нагревателя данный шланг отсоединяется от общей магистрали и в образовавшийся разрыв подсоединяется подогреватель. При работе двигателя данный

подогреватель не создает никаких помех для правильной работы системы охлаждения. А при неработающем двигателе жидкость нагревается в корпусе нагревателя и поднимается вверх к впускному коллектору, благодаря чему он разогревается;

- анализируя графики можно также сделать вывод, что наименьшее время разогрева впускного коллектора и головки блока составляет 15 минут, после чего можно производить запуск двигателя;

- остывание впускного коллектора происходит довольно быстро, поэтому при запуске двигателя отключать данный вид подогревателя не рекомендуется;

- в опыте с циркуляцией по малому кругу была произведена теплоизоляция впускного коллектора. В качестве теплоизолятора применялась минеральная вата. Данная изоляция позволила уменьшить потери тепла на нагрев окружающего воздуха. Сравнивая результаты опытов без теплоизоляции коллектора и изоляцией стекловатой, можно сделать вывод о том, что с теплоизоляцией достигается более высокая температура нагрева впускного коллектора, примерно на 3-4 °С. Хотя эксперимент проводился при температуре окружающего воздуха +20 °С, при температуре окружающего воздуха порядка -25 °С эта разница будет более заметна. Поэтому на автомобиле рекомендуется также произвести теплоизоляцию впускного коллектора, но так как в непосредственной близости от впускного коллектора находится выпускной коллектор, который при работе двигателя нагревается до высокой температуры, то теплоизолирующий материал должен быть изготовлен из термостойкого материала.

4. Разработка оригинального предпускового подогревателя индукционного типа

Задумка нового типа предпускового подогрева состоит в следующем: необходимо рассчитать и спроектировать предпусковой подогреватель индукционного типа (индукционный нагреватель), который будет расположен на впускном коллекторе двигателей внутреннего сгорания.

Работают индукционные нагреватели на принципе явления электромагнитной индукции. Суть явления заключается в образовании электрического тока внутри проводника под действием магнитного поля, полярность которого постоянно меняется. Источником такого переменного магнитного поля является катушка, подключённая к электросети переменного тока.

Подобную рассчитанную медную катушку необходимо поместить во внутрь или поверх впускного коллектора.

После установки подобного типа подогревателя уже к имеющимся преимуществам можно добавить следующие:

- При нагреве коллектора внешним источником тепла, содержание бензина в смеси увеличивается до значений, позволяющих осуществить гарантированный пуск за счёт испарения с поверхности коллектора;
- Использование предпускового подогревателя коллектора в сравнении с топливным жидкостным подогревателем позволяет уменьшить время подготовки автомобиля к работе в 2,5...3 раза;
- Экономия электроэнергии от применения разработанной конструкции предпускового подогревателя в сравнении с электрическим подогревателем. [14]

Если говорить простыми словами, то принцип разогрева масла или воздуха в этом устройстве основан на разогреве металла методом высокочастотной индукции. Когда металл попадает в переменное

магнитное поле с определенной частотой, он начинает там резонировать. Во время резонанса выделяется огромное количество энергии (в виде тепла) и большое по своему КПД и, соответственно, воздух или масло проходя через это место, начинает разогреваться. Именно в основу этого и положен принцип предпускового подогрева этого устройства.

4.1. Расчет индуктора на впускной коллектор

Необходимо рассчитать индукционную установку для нагрева цилиндра диаметром $d_2 = 50\text{мм}$ длиной $a_2 = 50\text{мм}$. Глубина прогретого слоя $x_k = 5\text{мм}$. Конечная температура нагрева $t_{\text{кон.изд}} = 180^\circ\text{C}$, начальная температура -35°C . Средняя теплоемкость материала изделия $c = 0,92\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$, теплопроводность $\lambda = 209,3\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$, плотность $\rho = 2698,9\text{кг}/\text{м}^3$.

4.1.1. Тепловой расчет

Принимаем температуру поверхности изделия равной:

$$t_0 = t_k + 1 = 80 + 1 = 81^\circ\text{C}.$$

Находим оптимальную частоту тока:

$$f_{\text{opt}} = \frac{6,0 \cdot 10^{-2}}{x_k^2} = \frac{6,0 \cdot 10^{-2}}{(5,0 \cdot 10^{-3})^2} = 2400\text{Гц}.$$

Тогда горячая глубина проникновения тока равна

$$\Delta_k = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} = 503 \sqrt{\frac{9 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 2400}} \approx 3,1 \cdot 10^{-3}\text{ м},$$

где $\rho = 9 \cdot 10^{-8}\text{ Ом} \cdot \text{м}$ - удельное сопротивление; $\mu = 1$ - относительная магнитная проницаемость дюралюминия; f - частота, Гц.

$$\frac{x_k}{\Delta_k} = \frac{5,0 \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-3}} = 1,6.$$

Так как среда однородная, то

$$M = \frac{1}{\sqrt{2}K \cos \varphi} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,707} = 1$$

$K = 1$ - комплекс, учитывающий влияние второго неперегретого слоя (выбирается из таблицы 4.1);

φ - угол, на который напряженность магнитного поля отстает от напряженности электрического поля.

$\cos \varphi = f(x_k / \Delta_k; m)$ выбирается из таблицы 4.2. При однородной среде $\cos \varphi = 0,707$, $\sin \varphi = 0,707$.

Таблица 4.1. Значения $K = f(x_k / \Delta_k)$ при $m = const$

xk/Δk	Значения K при m, равном						
	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-1
0	1,856	2,334	3	4	5,6	9	
0,1	1,636	1,939	2,32	2,81	3,361	4,6	7,08
0,2	1,446	1,644	1,858	2,123	2,418	2,75	3,54
0,3	1,312	1,443	1,575	1,709	1,855	2,026	2,36
0,4	1,204	1,281	1,361	1,441	1,525	1,611	1,778
0,5	1,121	1,168	1,215	1,258	1,304	1,345	1,405
0,6	1,061	1,086	1,111	1,132	1,172	1,182	1,227
0,7	1,022	1,031	1,041	1,05	1,057	1,067	1,082
0,8	0,994	0,0993	0,992	0,992	0,991	0,991	0,0992
0,9	0,976	0,97	0,963	0,957	0,952	0,944	0,93
1	0,967	0,955	0,946	0,936	0,925	0,916	0,892
1,1	0,962	0,948	0,937	0,925	0,912	0,902	0,877
1,2	0,961	0,946	0,935	0,922	0,911	0,901	0,877
1,3	0,962	0,95	0,939	0,928	0,916	0,908	0,882
1,4	0,968	0,956	0,945	0,934	0,924	0,915	0,892
1,5	0,972	0,962	0,953	0,943	0,934	0,926	0,908
1,57	0,975	0,967	0,958	0,949	0,942	0,934	0,919

Таблица 4.2. Значения $\cos\varphi = f(x_k/\Delta_k)$ при $m=const$

xk/Δk	Значения cosφ при m, равном						
	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-1
0	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	1
0,1	0,776	0,8	0,83	0,861	0,897	0,937	1
0,2	0,812	0,845	0,877	0,909	0,841	0,967	1
0,3	0,827	0,86	0,895	0,925	0,951	0,973	0,998
0,4	0,831	0,865	0,897	0,925	0,949	0,969	0,994
0,5	0,825	0,859	0,889	0,916	0,938	0,959	0,988
0,6	0,816	0,847	0,875	0,9	0,923	0,943	0,974
0,7	0,802	0,831	0,857	0,88	0,901	0,921	0,954
0,8	0,787	0,812	0,834	0,856	0,876	0,894	0,927
0,9	0,772	0,792	0,811	0,829	0,847	0,863	0,893
1	0,758	0,773	0,788	0,804	0,817	0,832	0,858
1,1	0,744	0,756	0,768	0,779	0,79	0,803	0,822
1,2	0,732	0,741	0,749	0,758	0,765	0,773	0,788
1,3	0,724	0,728	0,733	0,739	0,744	0,749	0,76
1,4	0,715	0,718	0,721	0,724	0,727	0,73	0,755
1,5	0,71	0,711	0,712	0,713	0,714	0,715	0,717
1,57	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707

Отсюда: $\xi = \Delta_k M = 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - глубина активного (по выделению тепла) слоя:

$$\alpha = 1 - \xi/R_2 = 1 - \frac{3,1 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-2}} = 0,876 \text{ - относительная глубина активного слоя.}$$

$$\beta_k = 1 - x_k/R_2 = 1 - \frac{5 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-2}} = 0,8 \text{ - относительная координата}$$

рассматриваемого слоя.

Задаем значением $F_0 = 1$, тогда из таблицы определяем:

Таблица 4.3. Значение функции $S(\alpha, \beta, F_0)$

F ₀	α	Значение функции S(α, β, F ₀), при r равном										
		1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
0,02	1	0,0712	0,0289	0,0018	-0,0133	-0,0205	-0,0234	-0,0247	-0,0249	-0,025	-0,025	-0,025
	0,9	0,049	0,0317	0,0037	-0,012	-0,0201	-0,0233	-0,0247	-0,0249	-0,025	-0,025	-0,025
	0,8	0,0326	0,0278	0,0115	-0,0068	-0,0169	-0,017	-0,0236	-0,0244	-0,0246	-0,247	-0,0248
	0,7	0,0211	0,0196	0,0138	0,0016	-0,0117	-0,0191	-0,0224	-0,0238	-0,0244	-0,0246	-0,0247
	0,6	0,0132	0,0129	0,011	0,0063	-0,0036	-0,0141	-0,0199	-0,0277	-0,024	-0,074	-0,0247
0,05	1	0,0906	0,0458	0,012	-0,0122	-0,0283	-0,0382	-0,0439	-0,047	-0,0485	-0,0495	-0,0497
	0,9	0,0677	0,048	0,0137	-0,011	-0,0272	-0,0373	-0,0435	-0,0459	-0,0485	-0,0494	-0,0497
	0,8	0,0491	0,0426	0,0209	-0,0049	-0,0227	-0,0342	-0,0412	-0,0453	-0,0474	-0,0485	-0,0488
	0,7	0,0345	0,0317	0,0221	0,0043	-0,0155	-0,0289	-0,0376	-0,0428	-0,0456	-0,0472	-0,0476
	0,6	0,0233	0,022	0,0179	0,0094	-0,0054	-0,0214	-0,0322	-0,0391	-0,0433	-0,0454	-0,046
0,1	1	0,10993	0,063	0,0241	-0,0077	-0,0328	-0,0519	-0,0658	-0,0754	-0,0816	-0,085	-0,0861
	0,9	0,086	0,0646	0,031	-0,0063	-0,0316	-0,0508	-0,0649	-0,0748	-0,0811	-0,0849	-0,0856
	0,8	0,0658	0,0576	0,0318	-0,00006	-0,0263	-0,0462	-0,0609	-0,0712	-0,0779	-0,0817	-0,0829
	0,7	0,0488	0,0448	0,0314	0,0083	-0,0183	-0,0391	-0,0547	-0,0659	-0,0734	-0,0776	-0,079
	0,6	0,0347	0,0329	0,26	0,0131	-0,0073	-0,0295	-0,0461	-0,0584	-0,0667	-0,0715	-0,0731
0,15	1	0,1175	0,0705	0,0297	-0,005	-0,0339	-0,0574	-0,0758	-0,0895	-0,99	-0,1045	-0,1063
	0,9	0,0939	0,072	0,0312	-0,0037	-0,0336	-0,0562	-0,0747	-0,0885	-0,098	-0,1036	-0,1054
	0,8	0,0732	0,0645	0,0369	0,019	-0,0273	-0,0512	-0,0699	-0,084	-0,0937	-0,0995	-0,10133
	0,7	0,00553	0,0508	0,0362	0,0105	-0,0192	-0,0434	-0,0626	-0,0771	-0,0872	-0,0932	-0,0951
	0,6	0,04	0,0375	0,0294	0,0147	-0,008	-0,0329	-0,0526	-0,0677	-0,0782	-0,0845	-0,0864
≥0,2	1	0,0125	0,0775	0,035	-0,0025	-0,035	-0,0625	-0,085	-0,1025	-0,115	-0,1225	-0,125
	0,9	0,1013	0,0788	0,0363	-0,0012	-0,0037	-0,0612	-0,0837	-0,1012	-0,1137	-0,1212	-0,1237
	0,8	0,08	0,0708	0,0417	0,0042	-0,0283	-0,0558	-0,0783	-0,0958	-0,1083	-0,1158	-0,1183
	0,7	0,0613	0,0563	0,0404	0,0125	-0,02	-0,0475	-0,07	-0,0875	-0,1	-0,1075	-0,11
	0,6	0,045	0,0421	0,0329	0,0164	-0,0087	-0,0362	-0,0587	-0,0762	-0,0887	-0,0962	-0,0987

$$S(0,876;1;1) = 0,0962 ; S(0,876;0,8;1) = 0,0376$$

Следовательно, время нагрева:

$$f(\tau_k) = \frac{t_0}{t_k} = \frac{F_0 + S(\alpha, 1, F_0)}{F_0 + S(\alpha, \beta_k, F_0)} = \frac{1 + 0,0962}{1 + 0,0376} = 1,05$$

В нашем случае:

$$t_0/t_k = 81/80 = 1,03$$

Определив значение коэффициента температуропроводности:

$$a = \lambda/c\rho = 209,3/(0,92 \cdot 10^3 \cdot 2698,9) = 8,43 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 / \text{с},$$

Находим время нагрева изделия до требуемой температуры:

$$\tau = \frac{F_0 R_2^2}{a} = \frac{1 \cdot (2,5 \cdot 10^{-2})^2}{8,43 \cdot 10^{-5}} = 7 \text{ с}.$$

Удельная мощность :

$$p_0 = \frac{\lambda t_0 \cdot 10^{-3}}{2R_2 [F_0 + S(\alpha, 1, F_0)]} = \frac{209,3 \cdot 81 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} (1 + 0,0962)} = 309,3 \text{ Вт} / \text{м}^2.$$

4.1.2. Электрический расчет

Принимая величину зазора h между индуктором и деталью равной 2-3 мм (изолятор индуктора), находим диаметр индуктора :

$$d_1 = d_2 + 2h = 50 + 2 \cdot 2 = 54 \text{ мм} = 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Ширина индуктора:

$$a_1 = a_2 - h = 50 - 2 = 48 \text{ мм} = 0,048 \text{ м}.$$

Толщину стенки трубы для изготовления индуктора определяем из условия минимума потерь $\delta_1 \geq 1,3\Delta_1$, где Δ_1 - глубина проникновения тока в медь. Так как для меди при $50^\circ C$ величина $\rho_1 = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, то:

$$\Delta_1 = 503 \sqrt{\frac{\rho_1}{\mu f}} = 503 \sqrt{\frac{1,75 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 2400}} = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Отсюда:

$$\delta_1 = 1,3 \cdot 1,36 \cdot 10^{-3} = 1,77 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,77 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр детали:

$$d_2' = d_2 - \xi = (50 - 3,1) \cdot 10^{-3} = 46,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Коэффициент самоиндукции:

$$L_{20} = \frac{\pi^2 d_2'^2}{a_2} 10^{-7} = \frac{\pi^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{0,05} 10^{-7} = 4,93 \cdot 10^{-8} \text{ Гн,}$$

$$L_2 = k_2 L_{20} = 0,6884 \cdot 4,93 \cdot 10^{-8} = 3,3 \cdot 10^{-8} \text{ Гн,}$$

где $k_2 = 0,6884$ - значение поправочного коэффициента для вычисления коэффициента самоиндукции L (табличное значение).

Реактивное сопротивление детали равно:

$$x_{20} = 2\pi f L_{20} = 2 \cdot \pi \cdot 2400 \cdot 4,93 \cdot 10^{-8} = 7,43 \cdot 10^{-4} \text{ Ом,}$$

$$x_2 = 2\pi f L_2 = 2 \cdot \pi \cdot 2400 \cdot 3,3 \cdot 10^{-8} = 4,97 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Сопротивление нагреваемого слоя детали: -активное:

$$r_2 = 2,81 \cdot 10^{-6} \frac{\pi d_2'}{a_2} K \sqrt{f} \cos \varphi = 2,81 \cdot 10^{-6} \frac{\pi \cdot 46,9 \cdot 10^{-3}}{0,05} \cdot 1 \cdot \sqrt{2400} \cdot 0,707 = 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

- реактивное:

$$x_{2,m0} = 2,81 \cdot 10^{-6} \frac{\pi d_2'}{a_2} K \sqrt{f} \sin \varphi = 2,81 \cdot 10^{-6} \frac{\pi \cdot 46,9 \cdot 10^{-3}}{0,05} \cdot 1 \cdot \sqrt{2400} \cdot 0,707 = 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

$$x_{2m} = k_2 x_{2,m0} = 0,6884 \cdot 2,2 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}.$$

Таблица 4.4. Значения $\sin \varphi = f(x_k / \Delta_k)$ при $m = \text{const}$

xk/Δk	Значения sinφ при m, равном						
	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-1
0	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0
0,1	0,63	0,597	0,558	0,509	0,442	0,35	0,006
0,2	0,584	0,535	0,48	0,416	0,341	0,255	0,029
0,3	0,562	0,51	0,446	0,381	0,309	0,231	0,059
0,4	0,556	0,502	0,443	0,381	0,315	0,248	0,107
0,5	0,565	0,512	0,458	0,401	0,347	0,285	0,155
0,6	0,578	0,532	0,485	0,436	0,384	0,334	0,227
0,7	0,597	0,557	0,516	0,475	0,433	0,39	0,302
0,8	0,612	0,584	0,552	0,518	0,484	0,448	0,374
0,9	0,636	0,611	0,585	0,559	0,532	0,505	0,45
1	0,653	0,635	0,615	0,596	0,576	0,556	0,514
1,1	0,667	0,655	0,641	0,627	0,613	0,596	0,569
1,2	0,681	0,671	0,661	0,653	0,644	0,634	0,615
1,3	0,689	0,685	0,68	0,674	0,668	0,663	0,651
1,4	0,699	0,696	0,693	0,689	0,686	0,683	0,678
1,5	0,704	0,703	0,702	0,701	0,7	0,699	0,697
1,57	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707

Коэффициент приведения параметров:

$$\alpha = \frac{k_m^2}{k_2^2 + \left(\frac{r_2}{x_{20}}\right)^2} = \frac{0,4386}{0,474 + \left(\frac{2,85 \cdot 10^{-4}}{7,43 \cdot 10^{-4}}\right)^2} = 0,511,$$

где $\kappa_m = 0,6623$ - поправочный коэффициент для вычисления коэффициента взаимной индукции.

Приведенные параметры нагреваемого слоя детали:

$$r_2' = \alpha x_2 = 0,511 \cdot 2,85 \cdot 10^{-1} = 9,59 \cdot 10^{-2} \text{ Ом},$$

$$x_{2m}' = \alpha x_{2m} = 0,511 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 7,66 \cdot 10^{-5} \text{ Ом},$$

$$x_2' = \alpha x_2 = 0,511 \cdot 4,97 \cdot 10^{-4} = 2,53 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}.$$

Сопротивления одновиткового индуктора: - активное

$$r_1 = r_{1n} k_r = 2,65 \cdot 10^{-5} \cdot 1,756 = 4,65 \cdot 10^{-5} \text{ Ом},$$

где $k_r = \frac{\delta_1}{\Delta_1} \sqrt{2K \cos \varphi_2} = \frac{2,39 \cdot 10^{-3}}{1,36 \cdot 10^{-3}} \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,707 = 1,756.$

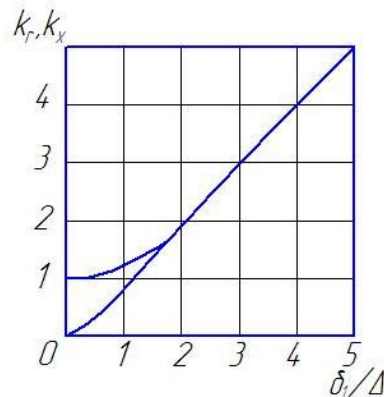


Рисунок 4.1 – Зависимость поправочных коэффициентов для вычисления активного и реактивного сопротивления при переменном токе от относительной толщины проводника: 1 - $k_r = f_1(\delta_1/\Delta_1)$; 2 - $k_x = f_2(\delta_1/\Delta_1)$

$$r_{1n} = \rho_1 \frac{\pi d_1'}{a_1 \delta_1} = 1,75 \cdot 10^{-8} \frac{\pi \cdot 5,54 \cdot 10^{-2}}{0,048 \cdot 2,39 \cdot 10^{-3}} = 2,65 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \quad - \quad \text{омическое}$$

сопротивление проводника толщиной δ_1 .

$$d_1' = d_1 + \Delta_1 = 5,4 \cdot 10^{-2} + 1,36 \cdot 10^{-3} = 5,54 \cdot 10^{-2} \text{ м},$$

- реактивное:

$$x_1 = k_1 \left(\omega \frac{\pi^2 d_1^2}{a_1} \cdot 10^{-7} + r_{in} k_x \right) = 0,6623 \left(2\pi \cdot 2400 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3}}{0,048} \cdot 10^{-7} + 2,65 \cdot 10^{-5} \cdot 1,756 \right) = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

$k_1 = 0,6623$ - значение поправочного коэффициента для вычисления коэффициента самоиндукции L (табличное значение).

$$k_x = \frac{\delta_1}{\Delta_1} \sqrt{2} K \sin \varphi = \frac{2,39 \cdot 10^{-3}}{1,36 \cdot 10^{-3}} \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,707 = 1,756$$

Эквивалентное сопротивление одновиткового индуктора:

- активное :

$$r_3 = r_1 + r_2' = 4,65 \cdot 10^{-5} + 9,59 \cdot 10^{-2} = 9,64 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$$

- реактивное:

$$x_3 = x_1 + x_2' + x_{2,m}' = 2,8 \cdot 10^{-2} + 2,53 \cdot 10^{-2} + 4 \cdot 10^{-4} = 5,37 \cdot 10^{-2} \text{ Ом},$$

- полное:

$$z_3 = \sqrt{x_3^2 + r_3^2} = 10^{-2} \sqrt{3,9 + 12,9} = 3,87 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}.$$

Мощность, поглощаемая деталью:

$$P_T = 16\pi d_2 a_2 p_0 = \pi \cdot 0,05 \cdot 0,05 \cdot 309,3 = 81,8 \text{ Вт}.$$

Потери тепла излучением:

$$P_{\text{пот.изл.}} = \frac{C_0}{\frac{1}{\varepsilon_{изд}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_{ин}} - 1 \right) \frac{F_{изд}}{F_{ин}}} \left[\left(\frac{T_{изд}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ин}}{100} \right)^4 \right] F_{изд} \cdot 10^{-3} =$$

$$= \frac{5,7}{\frac{1}{0,37} + \left(\frac{1}{0,45} - 1 \right) \frac{0,00785}{0,008}} \left[\left(\frac{296}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,00785 \cdot 10^{-3} = 36,9 \text{ Вт}$$

где $C_0 = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ - коэффициент излучения абсолютного черного тела,

$$\varepsilon_{\text{изд}} = 0,37 - \text{степень черноты изделия,}$$

$$\varepsilon_{\text{ин}} = 0,45 - \text{степень черноты индуктора,}$$

$F_{\text{ин}}, F_{\text{изд}}$ - соответственно площадь поверхности индуктора и детали, м^2 ,

$T_{\text{изд}} = 0,5(T_{\text{кон.изд.}} + T_{\text{нач.изд.}}) = 0,5(354 + 238) = 296\text{К}$ - средняя температура поверхности детали,

$T_{\text{нач.изд.}}, T_{\text{кон.изд.}}$ - соответственно начальная и конечная температура поверхности детали, К ,

$T_{\text{ин}}$ - температура индуктора, К , (обычно $T_{\text{ин}} \leq 55^\circ \text{C}$).

$$F_{\text{изд}} = \pi d_2 a_2 = \pi \cdot 0,05 \cdot 0,05 = 0,00785 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{инд}} = \pi d_1 a_1 = \pi \cdot 0,054 \cdot 0,048 = 0,008 \text{ м}^2.$$

Потери тепла теплопроводностью:

$$P_{\text{пот.тепл.}} = 2\pi\lambda a_1 \cdot 10^{-3} \frac{T_{\text{изд}} - T_{\text{ин}}}{\ln \frac{d_1}{d_2}} = 2\pi \cdot 2,92 \cdot 10^{-2} \cdot 0,048 \cdot 10^{-3} \frac{354 - 323}{\ln \frac{5,4 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-2}}} = 3,5 \text{ Вт},$$

где $\lambda = 2,92 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ - коэффициент теплопроводности воздуха,

Суммарная мощность:

$$P_{\Sigma} = P_T + P_{\text{пот.изд.}} + P_{\text{пот.тепл.}} = 51,8 + 36,9 + 3,5 = 92,181 \text{ Вт}.$$

Сила тока в одновитковом индукторе:

$$I_u = \sqrt{\frac{P_{\Sigma}}{r_2'}} = \sqrt{\frac{92,181}{9,59 \cdot 10^{-2}}} = 31 \text{ А}.$$

Напряжение в одновитковом индукторе:

$$U'_u = z_u I'_u = 3,87 \cdot 10^{-2} \cdot 31 = 3,4B$$

Принимая ориентировочно КПД установки равным $\eta = 0,6$, находим забираемую индуктором мощность:

$$P = P_\Sigma / \eta = \frac{92,181}{0,6} = 153,6Bm$$

Необходимое число витков индуктора в случае использования преобразователя частоты на 12В 2400Гц равно:

$$w = \frac{U_n}{U'_u} = \frac{12}{1,2} = 10$$

При выбранном напряжении на индукторе величина зазора между витками:

$$\Delta_{uz} = \frac{U_u \cdot 10^{-3}}{(10 \div 40)w} = \frac{1,2}{10 \cdot 82} = 1,2 \cdot 10^{-2} м.$$

Принимаем минимально допустимую величину зазора $\Delta_{uz} = 1мм$.

Определяем высоту витка h_e и коэффициент заполнения индуктора:

$$g = \frac{h_e}{h_e + \Delta_{uz}} = \frac{h_e}{\tau_e} = 0,52$$

где $\tau_e = \frac{a_1}{w} = \frac{0,048}{10} = 4,8 \cdot 10^{-3} м$ - шаг витков в индукторе, $h_e = 2,5мм$ -

высота витка.

Для замены расчетной схемы одновиткового индуктора схемой многовиткового пересчитывают сопротивление индуктора (в омах) с учетом коэффициента заполнения g :

$$r_{in} = \rho_1 \frac{\pi d_1'}{a_1 \delta_1 g} = 1,75 \cdot 10^{-8} \frac{\pi \cdot 5,54 \cdot 10^{-2}}{0,048 \cdot 2,39 \cdot 10^{-3} \cdot 0,52} = 1,3 \cdot 10^{-6} Ом.$$

Аналогичным образом вносят поправку в расчет x_1 и x_3 . Тогда:

$$r_3 = w^2(r_1 + r_2') = 100 \cdot 1,9 \cdot 10^{-4} = 0,019 \text{ Ом},$$

$$x_3 = w^2(x_1 + x_2' + x_{2,m}') = 10 \cdot 5,37 \cdot 10^{-2} = 5,37 \text{ Ом},$$

$$z_u = \sqrt{r_3^2 + x_3^2} = \sqrt{3,6 \cdot 10^{-4} + 28,84} = 5,37 \text{ Ом}.$$

Сила тока многовиткового индуктора:

$$I_u = \frac{I_u'}{w} = \frac{31}{10} = 3,1 \text{ А}.$$

Напряжение на индукторе:

$$U_u = I_u z_u = 3,1 \cdot 5,37 = 12,5 \text{ В}.$$

Активная мощность установки:

$$P_a = I_u^2 r_3 = I_u^2 w^2 (r_1 + r_2') \cdot 10^{-3} = 9,61 \cdot 100 \cdot 9,64 \cdot 10^{-2} = 92,64 \text{ Вт}.$$

КПД установки:

$$\eta_3 = \frac{P_T}{P_a} = \frac{81,8}{92,64} = 0,8.$$

4.2. Инвертор

В данном ВКР используется схема инвертора с управляющим блоком на основе микроконтроллера IR2153.

IR2153 – драйвер с самотактированием высоковольтных, высокоскоростных МОП-транзисторов или IGBT-транзисторов с выходными каналами нижнего и верхнего уровней. Собственная HVIC-технология и стойкая к защелкиванию КМОП-технология позволили создать монолитную конструкцию. Внешние параметры генератора определяются эквивалентно таймеру 555 (К1006ВИ1).

Выходы драйверов отличаются высоким импульсным током буферного каскада и паузой при переключении каналов, что выполнено для минимизации встречной проводимости драйвера. Задержки распространения сигналов для обоих каналов согласованы для упрощения использования в приложениях со скважностью. 2. Выходной канал может быть использован для управления N-канальным силовым МОП-транзистором или IGBT-транзистором с напряжением питания верхнего уровня до 600В.

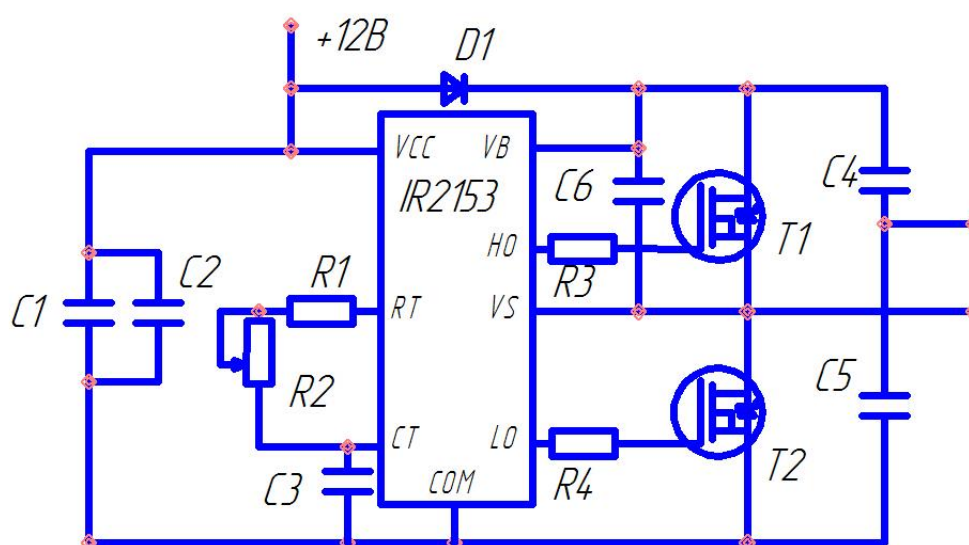


Рисунок 4.2 – Электрическая схема инвертора на основе IR2153

Схема устройства представлена на рисунке 2.2 и представляет собой полумостовой преобразователь (инвертор) на специализированной микросхеме IR2153. Она представляет собой генератор со схемой реализации дет-тайма (мертвой паузы меж управляющими импульсами), гальванической развязки и пары ключей для управления мощными полевыми транзисторами.

В данной схеме микросхема питается от аккумуляторной батареи. В микросхеме между выводами 1 и 4 установлен стабилитрон, поэтому

напряжение питания микросхемы не превышает 15,6 В. Дополнительно оно сглаживается конденсатором С2.

Частота генерации задается резистором R2, конденсатором С3 и может находиться в пределах от 80 Гц до 400 кГц. Минимальные значения R2 - 10 кОм, С2 - 330 пФ. Плавная регулировка осуществляется резистором R2 и в среднем его положении, при указанных номиналах, составляет примерно 70 кГц.

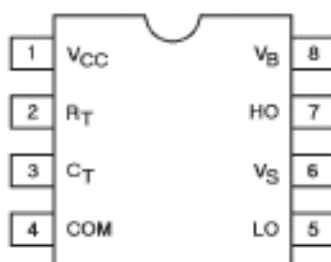


Рисунок 4.3 – Расположение выводов микросхемы IR2153

Таблица 4.5. Описание выводов IR2153

Rt	Резистор задающего генератора, для нормального функционирования в фазе с LO
Ct	Конденсатор задающего генератора
VB	Напряжение питания ключей верхнего уровня
HO	Выход драйвера верхнего уровня
VS	Возврат питания верхнего уровня
VCC	Питание драйверов нижнего уровня и логики
LO	Выход драйвера нижнего уровня
COM	Возврат питания нижнего уровня

Микросхема управляет мощными ключами на полевых транзисторах. Такой выбор силовых ключей обусловлен тем, что они имеют очень низкое сопротивление сток-исток в открытом состоянии, достаточно легко управляются и неплохо работают на высоких частотах (естественно, что все это относительно, например, относительно биполярных транзисторов). Нижний ключ на транзисторе T1 управляется импульсами с вывода 5 микросхемы через резистор R4, необходимый для ограничения бросков тока заряда емкости затвора. Верхний ключ на транзисторе T2 управляется импульсами на выводе 7 микросхемы. Формируются они следующим образом: во время открытого состояния нижнего ключа происходит заряд бутстрепного конденсатора C4 через диод D1. Конденсатор C4 обеспечивает взвешенным питанием интегрированный в IR2153 драйвер верхнего ключа. После времени открытого состояния нижнего ключа выдерживается пауза (дет-тайм) порядка 1,2 мкс, необходимая для разряда емкости затвора и полного закрытия T1, что исключает протекание сквозного тока через одновременно открытые ключи. После выдержки паузы, на 7 выводе микросхемы появляется импульс и открывает верхний ключ. Потом он закрывается, небольшая пауза и все повторяется.

Конденсатор C4 служит для фильтрации постоянной составляющей, так как напряжение на средней точке соединения ключей равно половине питающего. На выходе напряжение достигает практически половины питающего (минус падение на транзисторах и конденсаторе).

Детали:

- C1: обычный оксидный конденсатор емкость порядка 3300мкФ напряжение 50В;
- C2: обычный оксидный конденсатор емкость порядка 220нФ напряжение 50В;
- C3: емкость зависит от необходимой частоты. Керамика 1-10 нФ;
- C4: 220мкФ на 200В

- C5: бумажный или пленочный, емкость от 220мкФ 200В;
- C6: тантал (так как он обеспечивает более быстрый заряд емкости затвора и как следствие более четкое и быстрое открывание верхнего ключа, применение других типов нежелательно) 1нФ х 25В;
- D1: быстродействующий (ultrafast) диод типа UF4007 (1N4007) или аналогичный со временем восстановления не более 200нс, ток порядка 1А (применение быстрого диода необходимо, так как схема работает на высоких частотах, и медленные выпрямительные диоды могут пропускать помехи в цепь питания микросхемы, что негативно сказывается на стабильности работы схемы);
- R1: сопротивление 33...56 кОм, 2 Вт (по возможности 5 Вт);
- R2: подстроечный на 30 кОм;
- R3, R4: 120 Ом, 2Вт;
- T1, T2: MOSFET-транзисторы типа IRF520.

Тиристоры должны иметь радиаторы для охлаждения.

Таблица 4.6. Характеристики MOSFET-транзистора IRF520

Наименование	Uси, В	Iс, А	Pси, Вт	S, мА/В	Корпус	Тип
IRF520	100	8	40	2700	ТО-220АВ	MOS-N-FET

4.3. Разработка принципиальной схемы системы предпускового подогрева

Разработку принципиальной схемы можно провести, используя разную элементную базу. Учитывая большую чувствительность микросхем с импульсным перенапряжением, возникающим в бортовой сети автомобиля при работе системы зажигания, было решено спроектировать принципиальную схему реле прогрева на транзисторах. При выборе достаточно мощных транзисторов с большим запасом I_k , $U_{кэ}$, $U_{кб}$, $P_{расс}$ можно сделать надежную схему.

4.3.1. Преобразователи «температура-напряжение»

Ряд простых и точных преобразователей температуры, мощности излучения, скорости потока воздуха и другие можно построить на основе автобалансирующего моста, в плечо которого включен терморезистор. В отличие от мостовых схем, рассмотренных выше, здесь питание моста осуществляется с выхода ОУ, вход которого подключен к измерительной диагонали моста. В качестве термодатчика в этой схеме используется терморезистор, сопротивление которого зависит как от температуры окружающей среды, так и от температуры, обусловленной мощностью рассеяния терморезистора. В рассматриваемой схеме используется терморезистор с отрицательным температурным коэффициентом. Работа преобразователя сводится к поддержанию постоянной мощности рассеяния терморезистора R_x , которая при $R_1 = R_2 = R_3 = R$ определится из выражения:

$$P_{R_x} = \frac{U_{вых}^2}{4R} = const.$$

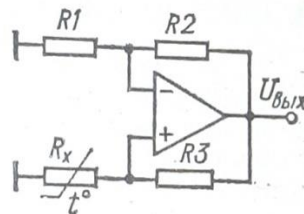


Рисунок 4.4 – Схема преобразователя с автобалансирующим мостом

Диапазон преобразования ограничен максимально допустимой мощностью рассеяния терморезистора R_x . Рассмотрим работу схемы. При включении питания ОУ возникает релаксационный процесс, обусловленный тем, что при максимальном значении R_x действие положительной обратной связи сильнее действия отрицательной обратной связи. При этом на выходе ОУ возникает состояние насыщения. Это состояние неустойчиво, так как мощность $P_{R_x} = U_{нас}^2 R_x / (R_3 + R_x)$, выделяемая в терморезисторе, будет

разогреть R_x , вследствие чего сопротивление терморезистора будет уменьшаться в соответствии с зависимостью:

$$R_x = R_{x0} e^{\frac{B(T_0^0 - T^0)}{T_0^0 T^0}},$$

где $B = const$; R_{x0} - сопротивление терморезистора при температуре T^0 .

При $R_x = R_1 R_3 / R_2$ действие ООС будет превышать действие положительной обратной связи, и мост будет сбалансирован. В дальнейшем под действием ООС мощность рассеяния R_x будет поддерживаться постоянно, а выходное напряжение ОУ будет отслеживать изменение условий окружающей среды: температуры, теплоотвода, обдува.

Для маломощных интегральных ОУ в схеме целесообразно использовать микромодульные терморезисторы типа СТЗ-24, СТЗ-26.

При включении питания ОУ релаксационный процесс может протекать как в направлении формирования положительной, так и отрицательной полярности выходного напряжения насыщения ОУ. Поэтому ОУ следует запитать от одного заземленного источника питания либо предусмотреть специальные меры по формированию необходимого направления релаксационного процесса.

В итоге, было спроектировано:

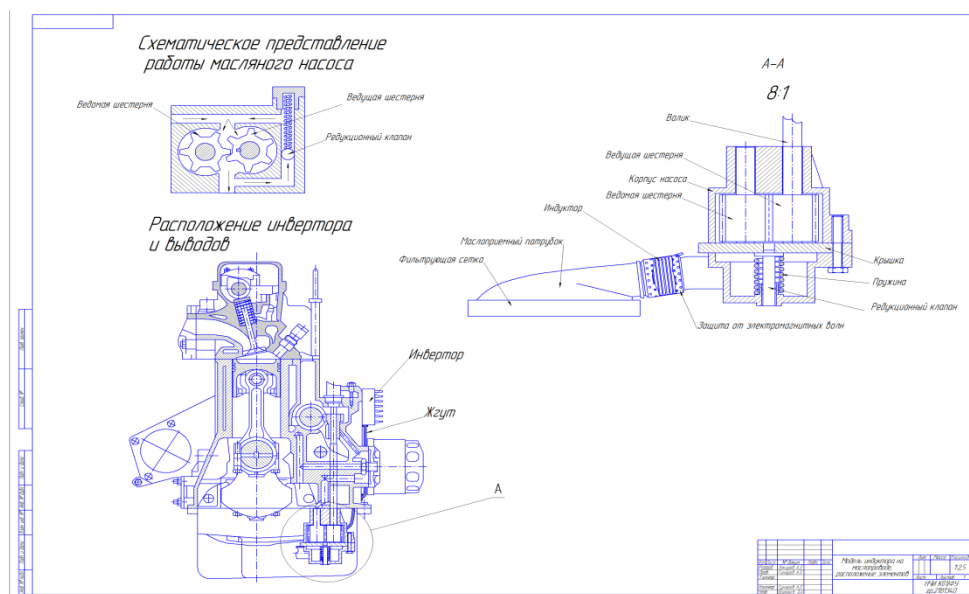


Рис.4.5. Расположение элементов

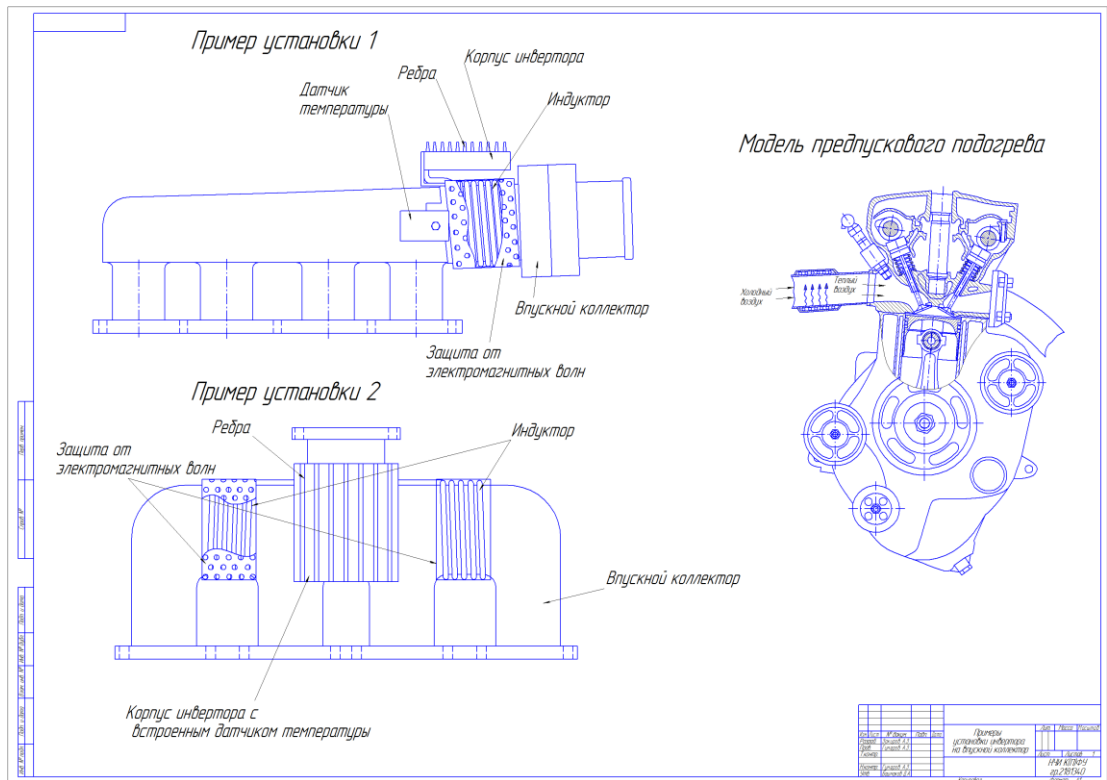


Рис.4.6. Примеры установки инвертора и индуктора

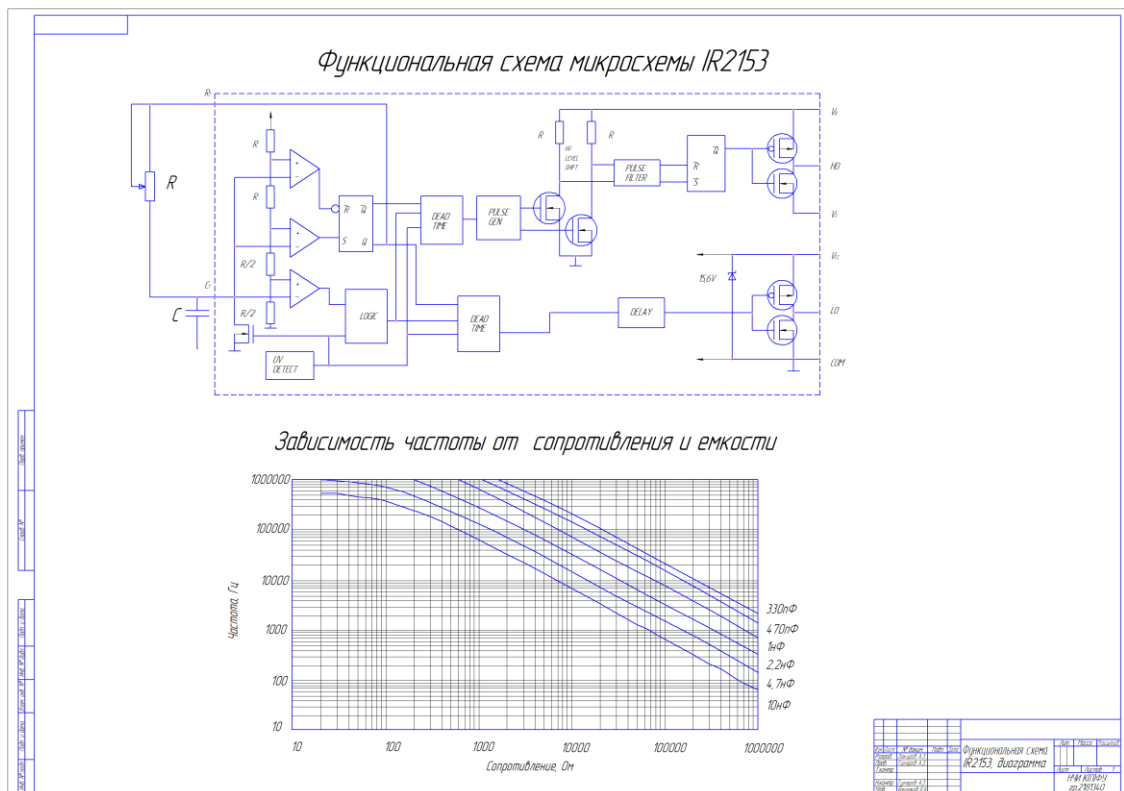


Рис. 4.7. Функциональная схема IR2153

Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы являлось исследование и анализ устройств для облегчения запуска двигателя внутреннего сгорания, тем самым нахождение необходимых характеристик и значений, на которые нужно делать первоочередной акцент производителям при производстве и потребителям при ежедневном использовании. А так же с использованием полученных значений и заключений ставилась не менее значимая цель – рассчитать и спроектировать новый вид оригинального предпускового подогревателя, а именно индукционный нагреватель. Поставленная цель была достигнута.

Все поставленные задачи ВКР успешно выполнены:

1. Проведён анализ причин затруднённого низкотемпературного пуска двигателей внутреннего сгорания и факторов, влияющих на работу двигателя, проанализированы возможности предпускового подогрева двигателя;
2. Проведён разбор всевозможных видов предпусковых подогревателей, принципов их работы, преимущества и недостатки каждого вида, сравнены характеристики этих устройств, применяемых для подготовки двигателей к пуску;
3. Выполнен патентный поиск устройств предпускового подогрева, вычленена необходимая теоретическая и практическая информация, которая использовалась при написании ВКР;
4. Проведено экспериментальное исследование, направленное на нахождение температуры прогрева салона двигателя до определённых значений и экономию топлива;
5. Выполнено экспериментальное исследование, направленное на нахождение экономии топлива за n-ый промежуток времени и срока окупаемости предпускового подогревателя;
6. Проведено экспериментальное исследование, направленное на изучение общего принципа работы подогревателей и создание макета алгоритма

работы предпусковых подогревателей на основе жидкостных подогревателей 14ТС;

7. Проведён эксперимент, направленный на исследование зависимости нагрева различных частей двигателя предпусковым подогревателем при изменении кругов циркуляции ОЖ, при утеплении впускного коллектора;

8. Сделан анализ поставленных экспериментальных исследований, написаны выводы (заключения) по каждому эксперименту;

9. Разработано новое оригинальное предпусковое устройство индукционного типа, что включает в себя расчёт и проектирование.

Список использованной литературы

1. directorinfo.ru – Статья про эксплуатацию автомобиля в сильный мороз.
2. partner.webasto.ru/price-list/ – Прайс-лист на продукцию компании «Webasto».
3. eberspaecher.ru – Прайс-лист на продукцию компании «Eberspacher».
4. autoterm.ru/engineheater.html – Прайс-лист на продукцию компании «Теплостар».
5. defa.com.ru – Блочные подогреватели двигателя компании «Defa».
6. hotstar.ru – Выносные подогреватели двигателя компании «Hotstart».
7. wybor-battery.com – Статья про «Эксплуатацию свинцово-кислотных аккумуляторных батарей при отрицательных температурах»
8. Першин В.А., Ременцов А.Н., Сапронов Ю.Г., Соловьёв С.Г. Учебное пособие для студентов вузов «Типаж и техническая эксплуатация оборудования предприятий автосервиса», 2010 год.
9. Закиров А.З. Статья «Принцип работы предпусковых подогревателей и обзор существующих схем предпускового подогрева автомобильного двигателя», взятая из открытого источника материалов международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Проблемы функционирования систем транспорта", г. Тюмень, 2019 год.
10. findpatent.ru - Индукционный нагреватель топлива. Авторы патента: Карташевич А.Н., Малышкин П.Ю., Мотовилова М. В., Бузиков Ш.В. Номер патента: 2688131. Год: 2019.
11. findpatent.ru - Предпусковой подогреватель ДВС. Авторы патента: Гатауллин Н.А., Валеев Д.Х., Лотфуллин Р.Л., Валиев Ф.М. Номер патента: 2122138. 1998 год.
12. rosinfostat.ru/tseny-na-benzin/ - Цены на бензин по данным Росстата за последние 20 лет.
13. Закиров А.З. Статья «Проблемы зимнего пуска двигателя. Предпусковой подогреватель», взятая из открытого источника материалов

всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «XI Камские чтения», г. Набережные Челны, 2019 г.

14. Закиров А.З. Статья «Холодный пуск ДВС. Предпусковые подогреватели. Проектирование оригинального индукционного нагревателя», взятая из открытого источника материалов IX международной научно-практической конференция «Информационные технологии. Автоматизация. Актуализация и решение проблем подготовки высококвалифицированных кадров (ИТАП-2020)», г. Набережные Челны, 2020 г.

15. Индукторы для индукционного нагрева. А.Е.Слухоцкий, С.Е.Рыскин, Л., 2015.

16. Теория автономных инверторов, Бедфорд Б., Хофт Р., перевод с англ. под ред. И.В. Антика, 2009.

17. Справочник. Транзисторы средней и большой мощности./ под ред. А.В. Голомедова, 2013.

18. Импульсные цифровые устройства, Я.С. Ицхоке, Н.И. Овчинников – Москва «Советское радио», 2009.

19. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR, А.В. Белов – Наука и техника, Санкт-Петербург, 2011.

20. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник, Щербаков В.И., Грездов Г.И., К.: Техника, 2010.-213с., ил. – Библиогр.: с.206-211.

21. Электронные системы управления ДВС и методы их диагностирования: Учебное пособие для вузов. Ютт В.Е., Рузавин Г.Е., М.: Горячая линия-Телеком, 2007

22. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Орлин А.С., Алексеев В.П., Машиностроение, М., 2010.

23. Ремонт автомобилей и двигателей: Учеб. для студ. сред. проф. учеб. Заведений, В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин, «Академия», 2003.

24. Автомобильные двигатели. В.М. Архангельский, М.М. Вихерт, М, «Машиностроение», 2016.

Приложения

Приложение 1. Перечень приобретённых студентом компетенций в ходе выполнения ВКР

Шифр	Расшифровка приобретаемой компетенции	Результат освоенной компетенции
ОК-1	Способность к абстрактному мышлению, обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию	Изложена суть и цель ВКР, проанализированы и обобщены факторы, влияющие на работу двигателя в холодное время года
ОПК-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	Изложены основные проблемы холодного пуска двигателя. Исследованы необходимые для работы подогревателей характеристики, эти характеристики наглядно занесены в виде табличных данных
ОПК-4	Способность использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности	Сделан анализ факторов, влияющих на работу двигателя при его холодном состоянии с использованием интернет-ресурсов и книжных источников. Продемонстрированы теоретические и практические знания при выполнении экспериментальных исследований и по ним рассчитаны необходимые данные
ПК-1	Способность планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований	Поставлены основные задачи исследования в ходе выполнения ВКР, выбраны методы экспериментальной работы, представлены необходимые результаты научных исследований в виде экспериментов и расчётов, выводов
ПК-13	Способность использовать элементы экономического анализа в организации и проведении практической деятельности на предприятии	Рассмотрена деятельность основных производителей предпусковых подогревателей, получены знания практической деятельности

ПК-15	Готовность управлять программами освоения новой продукции и технологии	Подробно изложен принцип работы устройств основных производителей подогревателей, показаны необходимые знания при проведении сложных экспериментальной работ
ПК-2	Способность самостоятельно выполнять исследования	Самостоятельно выполнено четыре вида исследования, направленные на различные значимые вопросы в области предпускового подогрева двигателя и сделаны выводы, имеющие научно-практическую значимость
ПК-20	Способность организовать работу по повышению профессионального уровня работников	Освоены и продемонстрированы теоретические и практические навыки по поставленным проблемам в аналитической части, что показывает уровень профессиональных навыков
ПК-21	Способность к реализации различных видов учебной работы	Знания, полученные в ходе учёбы, продемонстрированы при выполнении экспериментов и расчётов индуктора на впускной коллектор, что включает в себя тепловой и электрический расчёты, а также инвертора
ПК-4	Способность проводить поиск по источникам патентной информации, определять патентную чистоту разрабатываемых объектов техники, подготавливать первичные материалы к патентованию изобретений, регистрации программ для ЭВМ и баз данных	Сделан обзор и анализ существующих патентов по источникам патентной информации, вычленены необходимые теоретические данные, выбраны необходимые патенты для дальнейшего изучения и анализа