

*На правах рукописи*



**Суворов Евгений Александрович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ НА  
ЧАСТИЧНЫХ НАГРУЗКАХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ  
СИСТЕМЫ ВПУСКА**

**Специальность – 05.04.02 – Тепловые двигатели**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Владимир - 2013

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Тракторы и автомобили» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВПО «Нижегородская ГСХА»)

**Научный руководитель** кандидат технических наук, профессор  
**Жолобов Лев Алексеевич**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Гаврилов Александр Алексеевич**

кандидат технических наук  
**Голев Борис Юрьевич**

**Ведущая организация** Чебоксарский политехнический институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО «Московский  
государственный открытый университет  
имени В. С. Черномырдина»

Защита диссертации состоится 29 октября 2013 г. в 14 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.025.02 при ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ФГБОУ ВПО ВлГУ) по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, кор. 1, ауд. № 335

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВПО ВлГУ по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, кор. 1. Автореферат размещен на сайтах ВАК РФ (<http://vak.ed.gov.ru>) и ФГБОУ ВПО ВлГУ ([www.vlsu.ru](http://www.vlsu.ru)).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью организации, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета, тел. 8(4922)53-34-97; факс 8(4922)36-19-81;  
E-mail: [bagenovv@mail.ru](mailto:bagenovv@mail.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

**Ученый секретарь**  
**диссертационного совета**

кандидат технических наук, профессор



**Ю.В. Баженов**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования** - Одним из главных направлений развития мирового двигателестроения является улучшение экологических и энергетических показателей поршневых двигателей внутреннего сгорания. Поршневые ДВС потребляют значительные количества топлива и являются одним из главных источников загрязнения окружающей среды. Это заставляет искать комплексные технические решения их совершенствования. В двигателе с распределенным впрыском и искровым зажиганием одним из элементов определяющим совершенство процессов наполнения, смесеобразования является система впуска, в которой наибольшее влияние на движение воздушного потока оказывает дроссельная заслонка.

Дроссельная заслонка выступает в роли изменяемого местного аэродинамического сопротивления на пути движения воздушного потока. Аэродинамическое сопротивление дроссельной заслонки незначительно на полных нагрузках, но с уменьшением нагрузки сопротивление возрастает. В результате аэродинамические потери при дросселировании ухудшают эксплуатационную экономичность двигателя в среднем на 15...20 %.

При смене режима работы дроссельная заслонка вызывает дополнительное влияние на закручивание потока. За дроссельной заслонкой режим течения воздуха изменяется и приобретает резко выраженный турбулентный характер, появляется неравномерность распределения воздуха по цилиндрам двигателя. Неравномерность распределения воздуха приводит к различию индикаторных показателей цилиндров двигателя, что в конечном итоге приводит к ухудшению технико-экономических и экологических показателей ДВС вследствие неравномерного распределения воздуха по цилиндрам. При расчете рабочих процессов не проводится углубленный гидродинамический анализ структуры потока во впускной системе при дросселировании, хотя надобность в нем очевидна. Поэтому решение задачи совершенствования процесса впуска ДВС при дросселировании и оценки его влияния на технико-экономические и экологические показатели является актуальной.

**Степень ее разработанности** - По результатам выполненной работы разработана расчетно-экспериментальная методика, позволяющая на стадии проектирования определять аэродинамические характеристики впускной системы ДВС. Исследованы возможности повышения технико-экономических и экологических показателей за счет оптимизации движения воздушного потока во впускной системе ДВС. Полученные результаты применимы для других двигателей. С получением обладающих новизной результатов использован комплекс базовых методов исследования, в т.ч. численных методов.

**Цель исследований** – разработка методики оценки эффективности принятых конструктивных решений при модернизации системы впуска двигателя внутреннего сгорания для повышения экономических показателей и снижения выброса вредных веществ.

### **Задачи исследования:**

1. Провести анализ факторов, оказывающих влияние на движение воздушного потока по впускной системе и на наполнение.
2. Методом компьютерного моделирования провести оценку характера и параметров движения воздушного потока во впускной системе ДВС, представить визуализацию движения воздушного потока с оценкой параметров движения.
3. Разработать и создать установку для аэродинамических исследований системы впуска ДВС, а также разработать методику проведения испытаний.
4. Провести аэродинамические испытания системы впуска в режиме статической продувки, с целью верификации методов компьютерного моделирования.
5. Модернизировать впускную систему, провести сравнительные испытания штатной и модернизированной систем в режиме прокрутки ДВС.
6. Провести сравнительные испытания ДВС со штатной и модернизированной системами впуска с целью оценки технико-экономических и экологических показателей работы двигателя.

**Объект исследования** – семейство двигателей ЗМЗ с распределенным впуском.

**Предмет исследования** – газодинамические процессы, протекающие во впускной системе поршневого двигателя внутреннего сгорания с принудительным зажиганием.

### **Научная новизна работы.**

Новыми научными результатами, полученными в работе, являются способы организации процессов в системе впуска четырехтактного ДВС с торцевым подводом воздуха, обеспечивающие повышение экономичности и снижение токсичности ОГ при работе на частичных нагрузках.

- Показана возможность улучшения эффективных показателей и снижения токсичности ОГ двигателя за счет изменения режима течения во впускной системе ДВС.

- Модифицированы математические модели и методики расчета, позволяющие, в отличие от существующих, моделировать процессы во впускной системе двигателя при изменяемой геометрии системы.

- Получена визуализация газодинамических процессов протекающих во впускной системе, при помощи которой возможно определение параметров воздушного потока в любой точке впускной системы.

**Теоретическая и практическая значимость работы** – заключается в:

- разработанной методике использования трехмерного моделирования движения воздушного потока во впускной системе ДВС при дросселировании, которая рекомендуется при проектировании и доводке новых конструкций;

- разработанных конструктивных изменений, обеспечивающих равномерное распределение газовой смеси по цилиндрам при

дросселировании, что повышает технико-экономические и экологические показатели ДВС;

- полученных зависимостях экологических и технико-экономических показателей двигателя от равномерности распределения воздушного потока по цилиндрам двигателя;

- использований методических рекомендаций, основанных на результатах исследований полученных при конструировании модернизированной впускной системы.

**Методология и методы исследования** – Поставленная в работе цель достигается сочетанием теоретических и экспериментальных методов исследования. При помощи теоретических методов исследованы газодинамические процессы происходящие во впускной системе ДВС. Теоретические исследования основаны на использовании известных численных методов расчета, в том числе компьютерного моделирования и программ *MATLAB*, *Mathcad*, *SolidWork Simulation*, *FlowVision*, *Microsoft Visual Studio*. Экспериментальные исследования включают в себя статические испытания при помощи аэродинамической продувки отдельных элементов и всей впускной системы ДВС в сборе, а также динамические испытания на тормозном стенде. Для подтверждения точности и достоверности полученных данных выполнена верификация результатов теоретических и экспериментальных исследований.

**Положения, выносимые на защиту:**

- рекомендации по улучшению технико-экономических и экологических показателей двигателя, путем модернизации системы впуска;

- трехмерное моделирование газодинамических процессов, протекающих во впускной системе двигателя;

- результаты теоретических и лабораторно-стендовых исследований влияния основных конструктивных параметров впускной системы на процесс впуска, технико-экономические и экологические показатели двигателя внутреннего сгорания с принудительным зажиганием.

**Степень достоверности и апробация результатов** исследования обуславливается:

- использованием фундаментальных законов термодинамики, гидродинамики, тепломассообмена, соответствующих этим законам уравнений и ГУ, современных численных методов реализации математических моделей, хорошо апробированных программных продуктов;

- результатами экспериментальных работ полученными на сертифицированном оборудовании, обоснованными калибровками, показанной воспроизводимостью результатов исследования в различных условиях;

- теорией построенной на известных, проверяемых данных, фактах, в т.ч. для предельных случаев, согласованной с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации и по смежным отраслям;

- идеями базирующимися на анализе практики

- использованием сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;
- отсутствием противоречий полученных авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;
- использованием современных методик сбора и обработки исходной информации, представительных выборочных совокупностей с обоснованием выбора оценочных показателей для наблюдения и измерения.

#### **Реализация работы.**

Материалы диссертации докладывались на Заволжском моторном заводе.

Материалы диссертации используются в учебном процессе Нижегородской и Вятской государственных сельскохозяйственных академий, Чебоксарском политехническом институте (филиале) Московского государственного открытого университета при чтении лекций, курсовом и дипломном проектировании для студентов, обучающихся по специальностям 11030165 и 11030465.

**Апробация работы.** Основные результаты и материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международных и Всероссийских научно-практических конференциях: VI Международной научно-практической конференции «АВТОМОБИЛЬ И ТЕХНОСФЕРА» (2011г., г. Казань); XVI Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» (2011г., г. Тамбов) ; Всероссийской научно-практической конференции «Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России» (2011г.,г, Пенза); V Международной научно-практической конференции «Наука-Технология-Ресурсосбережение» ФГБОУ ВПО «Вятская Государственная Сельскохозяйственная Академия» (2012г., г. Киров); VI Международной научно-практической конференции «Наука-Технология-Ресурсосбережение» ФГБОУ ВПО «Вятская Государственная Сельскохозяйственная Академия» (2013г., г. Киров).

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 12 печатных работах общим объемом 7,7 п.л., в т.ч. в сборниках трудов Международных и Всероссийских конференций опубликовано 4 статьи, в изданиях, рекомендованных ВАК РФ - 8 статей объемом 5,4 п.л.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 153 страницах, в т.ч. 129 стр. текста, содержит 43 рисунка и 12 таблиц. Список литературы содержит 316 наименований, в т.ч. 32 на иностранных языках.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, изложена научная новизна и практическая ценность работы, основные положения и результаты исследований, выносимых на защиту.

**В первой главе** «*Состояние вопроса и задачи исследования*» проанализированы работы, выполненные по тематике рассматриваемой проблемы. Результаты теоретических работ и экспериментальных исследований по изучению газодинамических процессов, влиянию конструктивных параметров впускных систем двигателей на повышение технико-экономических и экологических показателей отражены в работах: Абрамовича Г.Н., Архангельского В.М., Вихерта М.М., Войнова А.М., Вырубова Д.Н., Гаврилова А.А., Голева Б.Ю., Гоца А.Н., Григорьевы Е.А., Гришина Ю.А., Грудского Ю.Г., Гусева А.В., Драганова Б.Х., Драгомирова С.Г., Еникеева Р.Д., Ждановского Н.С., Жолобова Л.А., Ивашенко Н.А., Киселева Б.А., Круглова М.Г., Ларцева А.М., Лиханова В.А., Лобова Н.В., Манджгаладзе А.А., Маркова Е.В., Николаенко А.В., Орлина А.С., Рудого Б.П., Свиридова Ю.Б., Эфроса В.В., Яновича Ю.В.

Обзор опубликованных сведений показал, что исследования по изучению газодинамических процессов во впускной системе двигателя являются актуальными и необходимыми. Большое количество работ посвящено выбору геометрических параметров впускных каналов и их расположению в головке цилиндра. На основании анализа литературных источников установлено, что на частичных нагрузках равномерность распределения воздушного потока по цилиндрам двигателя определяется в основном дроссельной заслонкой.

Проведен обзор экспериментальных методов и методик исследования газодинамических процессов во впускной системе двигателя. Следует отметить, что сегодня изучение газодинамических процессов во впускных системах, а также создание новых впускных систем базируется на использовании сочетания численных и экспериментальных методов. Перечисленные методы при их реализации требуют значительных затрат, поэтому модификация существующих и создание новых методик использования математических моделей, позволяющих моделировать процессы во впускной системе двигателя на стадии проектирования представляют несомненный интерес

С учетом проведенного обзора существующих методик были сформулированы задачи исследования.

**Во второй главе** «*Теоретические исследования процесса впуска ДВС*» определены характер и параметры воздушного потока при прохождении им впускной системы ДВС.

Данная исследовательская задача решалась математическим путём с использованием программного комплекса для моделирования газогидравлических процессов. Моделирование проведено с использованием программного комплекса FlowVision. Для этой цели, при помощи программы SolidWorks, получена и импортирована трехмерная модель впускной системы. После получения трехмерной модели расчетной области

выбирается математическая модель (совокупность законов изменения физических параметров газа для данной задачи). При проведении расчета решалась статическая задача аэродинамической продувки. Во FlowVision математическая модель описывается системой состоящей из семи уравнений: **Уравнение Навье-Стокса**, которое, с учетом сил, действующих на воздушный поток можно записать в следующем виде:

$$\frac{d(\rho V)}{dt} + \nabla(\rho V \otimes V) = -\nabla P + \nabla(\mu + \mu_t)(\nabla V + (\nabla V)^T) + S,$$

где  $\mu_t$  – турбулентная динамическая вязкость, зависящая от типа выбранной турбулентности;

**Уравнение неразрывности**, которое запишем в следующем виде:

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla(\rho V) = 0,$$

**Уравнение энергии**, которое для полной энтальпии имеет вид:

$$\frac{d(\rho H)}{dt} + \nabla(\rho V H) = \frac{d\rho}{dt} + \nabla \left( \left( \frac{\lambda}{c_p} + \mu_t \right) \nabla H \right),$$

где  $H = h + V^2/2$  – полная энтальпия.

**Уравнение состояния идеального газа:**

$$\frac{P}{\rho} = \frac{R}{c_p} \cdot (c_p \cdot T) = \frac{R}{c_p} \cdot h.$$

**Уравнение массопереноса** для концентрации  $C$  газовой фазы в смеси. Для концентрации решается уравнение конвективно-диффузионного переноса

$$\frac{d(\rho C)}{dt} + \nabla(\rho V C) = \nabla \left( \left( \frac{\mu}{S_c} + \frac{\mu_t}{S_{c_t}} \right) \nabla C \right),$$

где  $S_c$  – число Шмидта;  $S_{c_t}$  – турбулентное число Шмидта.

**Уравнение для турбулентной энергии  $k$ :**

$$\frac{d(\rho k)}{dt} + \nabla(\rho V k) = \nabla \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + \mu_t G - \rho e,$$

**Уравнение для скорости диссипации энергии турбулентности  $e$ :**

$$\frac{d(\rho e)}{dt} + \nabla(\rho V e) = \nabla \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_e} \right) \nabla e \right) + C_1 \frac{e}{k} - \mu_t G - C_2 f_1 \frac{e^2}{k} \rho,$$

Значение параметров для стандартной  $k - e$  модели равны:  $\sigma_k = 1$ ;  $\sigma_e = 1,3$ ;  $C_\mu = 0.09$ ;  $C_1 = 1.44$ ;  $C_2 = 1.92$ ;  $f_\mu = 1$ ;  $f_1 = 1$ .

При выборе модели турбулентности нужно учитывать, какие факторы данной модели влияют на течение воздушного потока по органам впуска.

Рабочим веществом в процессе впуска является воздух, в данном случае рассматриваемый как идеальный газ. Начальные значения параметров задаются для всей расчетной области и составляют:

- Впуск  $T = 273\text{K}$ ,  $P = 101000\text{Па}$ ;
- Выпуск  $T = 273\text{K}$ ,  $P = 95136\text{Па}$ .

Граничные условия задаются для каждой из расчетных поверхностей. Под граничными условиями следует понимать совокупность уравнений и законов, характерных для поверхностей расчетной геометрии. Граничные условия необходимы для определения взаимодействия расчетной



области и математической модели. На входное окно впускной системы устанавливается тип граничного условия – свободный вход. На остальные элементы – стенка - граница, не пропускающая и не передающая расчетные параметры далее расчетной области.

Следующий этап в процессе моделирования – генерирование расчетной сетки. FlowVision использует локально адаптивную расчетную сетку. Вначале создается начальная расчетная сетка, а затем указываются критерии измельчения сетки, в соответствии с которыми FlowVision разбивает ячейки начальной сетки до нужной степени. В местах с возможной максимальной скоростью создаются адаптации с дополнительным измельчением расчетной сетки. По объему измельчение проведено до 5 уровня в дроссельном узле, по стенкам ресивера и впускных патрубков адаптация выполнена до 1 уровня. Это необходимо для увеличения шага интегрирования по времени при неявном методе расчета. Связано это с тем, что шаг по времени определяется как отношение размера ячейки к максимальной скорости в ней. После проведения расчета получены данные: расход, скорость, плотность, давление, температура газового потока во впускном канале ДВС. Анализ рис. 1 показал, что распределение скоростей воздушного потока по впускной системе не равномерно.

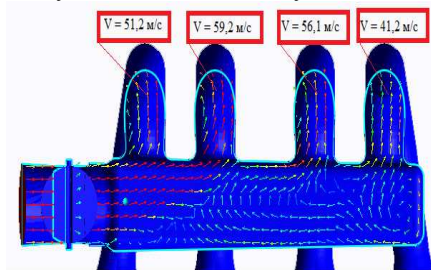


Рис.1. Распределение скоростей воздушного потока по впускным патрубкам

Так наибольшая скорость потока наблюдается в зазоре между дроссельной заслонкой и стенкой. В ресивере наблюдается сильное изменение не только численного значения скорости потока, но и направления движения воздушного потока. В ресивере напротив впускных патрубков третьего и четвертого цилиндров наблюдается разворот воздушного потока в обратном направлении. Происходит это с образованием зоны закручивания расположенной напротив входа во впускной патрубков четвертого цилиндра. Определено, что распределение скоростей по впускным патрубкам не равномерно. Максимальной является скорость во впускном патрубке второго цилиндра  $V = 59,2$  м/с, а минимум наблюдается в патрубке четвертого цилиндра  $V = 41,2$  м/с. (рис. 1)

При анализе данных полученных в результате расчета было определено что наибольшее влияние на распределение воздушного потока оказывает дроссельная заслонка, а причиной не равномерного распределения потока по впускным патрубкам является зона турбулентного течения расположенного непосредственно за дроссельной заслонкой. (рис. 2) При помощи компьютерного моделирования определено не только наличие зоны высокой турбулентности, возникающей при прохождении воздушным потоком дроссельной заслонки, но и параметры, и характер данного явления.

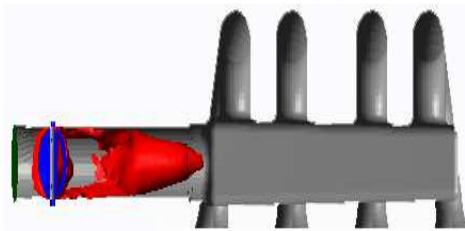


Рис.2. Зона турбулентного течения

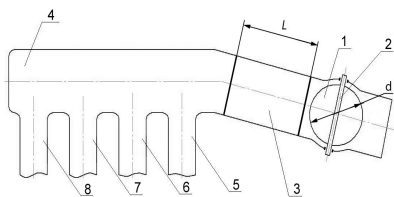
Как видно из рис. 2 зона турбулентного течения имеет вытянутую вдоль впускного патрубка форму переменного сечения.

Турбулентное течения возникает непосредственно на кромках дроссельной заслонки, состоит из двух вихрей продвигающихся по

впускному каналу и направленных навстречу друг другу. В центральной части сразу за дроссельной заслонкой наблюдается участок низкого давления. Для исключения влияния участков турбулентного течения и низкого давления на равномерность распределения воздушного потока по впускным патрубкам предложено изменить геометрию модели впускной системы и провести повторный расчет. Преимуществом программы «FlowVision» является возможность достаточно быстрого получения данных при изменении исследуемой модели впускной системы.

Для определения оптимальной формы и размеров модернизированной впускной системы проведено несколько повторных расчетов. Расчеты выполнялись с различными конфигурациями моделей впускных систем. В результате установлено, что оптимальным для данной впускной системы изменением, является установка между дроссельной заслонкой и ресивером дополнительного патрубка. Установлено, что длина дополнительного патрубка, равная трем диаметрам дроссельной заслонки, обеспечивает перекрытие зоны турбулентного течения. Внутренний диаметр дополнительного патрубка выбран из условия обеспечения минимального аэродинамического сопротивления и равен диаметру дроссельной заслонки. (рис. 3) Подана заявка № 2011117198/06(025671) на полезную модель.

Анализ данных полученных при моделировании газодинамических процессов происходящих в модернизированной впускной системе показал, что поле скоростей модернизированной впускной системы стало более равномерным. Благодаря смещению участка интенсивного турбулентного течения из ресивера в установленный дополнительный патрубок, распределение воздуха по впускным патрубкам стало более равномерным, скорости во впускных патрубках выровнялись и составили  $V_1 = 11,6$  м/с,  $V_2 = 11,2$  м/с,  $V_3 = 12,5$  м/с,  $V_4 = 12,2$  м/с. Снижение скоростей движения воздушного потока во впускных патрубках в 4-5 раз объясняется снижением интенсивности турбулентности течения. Исчезли зона закручивания потока напротив впускного патрубка четвертого цилиндра и смена направления потока на противоположное. Установка дополнительного патрубка с длиной равной трем диаметрам дроссельной заслонки обеспечивает смещение участка интенсивного турбулентного течения, образующегося за дроссельной заслонкой, из ресивера в установленный дополнительный патрубок. Таким образом при помощи компьютерного моделирования определены параметры воздушного потока во всех точках впускной системы ДВС.



1-Дроссельная заслонка, 2-Привод дроссельной заслонки, 3-Дополнительный патрубок, 4-Ресивер, 5,6,7,8-Впускные патрубки

Рис.3.Схема модернизированной впускной системы

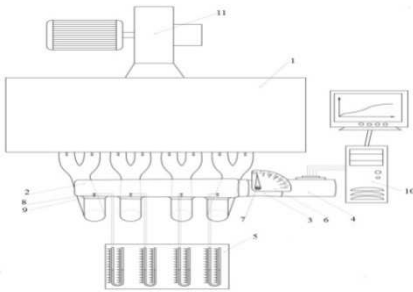
Изучен характер движения воздуха по впускной системе ДВС. Получена визуализация газодинамических процессов протекающих во впускной системе двигателя. Выявлено наличие участка турбулентного течения воздуха, непосредственно за дроссельной заслонкой, оказывающее отрицательное влияние на распределение воздушного потока по впускным патрубкам. Предложена конструктивная модернизация впускной системы. При помощи ряда

повторных расчетов определены оптимальные геометрические параметры модернизированной впускной системы

**В третьей главе** «Аэродинамические исследования впускной системы ДВС» описана экспериментально-лабораторная установка (рис. 4) для аэродинамических исследований, программа и методика проведения испытаний.

Аэродинамическая продувка проводилась с целью определения точности и достоверности данных полученных в ходе компьютерного моделирования при помощи программы «FlowVision».

При проведении испытаний исследуемой впускной системы во впускном коллекторе, на входе и выходе впускных патрубков, а также в ресивере были установлены зонды общим количеством 28 шт. По полученным данным были построены зависимости давления от расхода воздуха, при разных углах поворота дроссельной заслонки для четырех цилиндров двигателя. (рис. 5) Продувка штатной системы впуска показала, что распределение воздуха по впускным патрубкам цилиндров не равномерно. На графике (рис. 5) видно, что давление в зоне впускного патрубка первого цилиндра не стабильно и значительно отличается от давления в остальных патрубках. При расходе воздуха 171 кг/ч и угле открытия дроссельной заслонки 45° давление во впускном патрубке первого цилиндра в 1,4 раза меньше чем давление в остальных патрубках. Следовательно, количество воздуха, которое поступает в первый цилиндр при работе ДВС значительно ниже, чем у других цилиндров. Таким образом, получено подтверждение того, что дроссельная заслонка на частичных нагрузках является основным элементом оказывающим воздействие на равномерность распределения воздушного потока по впускным патрубкам, что существенно сказывается на равномерности наполнения двигателя, особенно первого цилиндра. Во второй части эксперимента была проведена аэродинамическая продувка модернизированной впускной системы.



1-Ресивер, 2-Коллектор, 3-Дроссельная заслонка, 4-ДМРВ, 5-Щит с манометрами, 6-Лимб, 7-Стрелка, 8-Зонд полного давления, 9-Зонд статического давления, 10-Компьютер, 11-Вентилятор

Рис.4. Схема установки для аэродинамических исследований

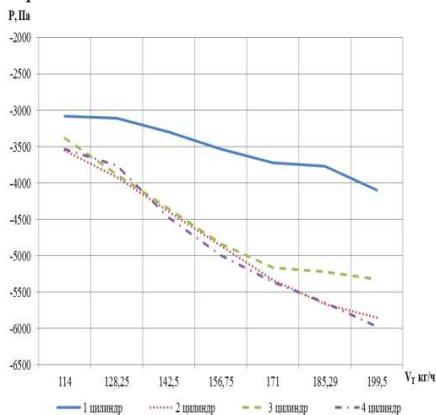


Рис.5. Зависимость давления во впускных патрубках от расхода воздуха при угле поворота дроссельной заслонки  $45^\circ$

в реальном двигателе, следующим этапом испытаний проведены моторные испытания штатной и модернизированной систем впуска в режиме прокрутки. Испытания в режиме прокрутки проводились на тормозном стенде SAK-670. Методика проведения испытаний предусматривала замер следующих параметров: угол открытия дроссельной заслонки, частота вращения коленчатого вала, давление во впускных патрубках и расход воздуха проходящего через впускную систему.

Для проведения испытаний двигатель был дооборудован специальным блоком управления с микроконтроллером фирмы TEXAS INSTRUMENTS. Для получения данных в электронном виде блок управления двигателя был подключен к компьютеру тормозного стенда. Разработанный программный комплекс, позволяет фиксировать большое количество параметров двигателя

Анализ данных полученных в ходе экспериментов показал, что применение модернизированной впускной системы позволило добиться более равномерного распределения воздушного потока по цилиндрам ДВС. Давление во впускном патрубке первого цилиндра при угле открытия дроссельной заслонки  $45^\circ$  не только приблизилось, но и стало чуть выше, чем давление во впускных патрубках остальных цилиндров. Верификация данных полученных при компьютерном моделировании и аэродинамической продувке показала, что данные полученные при помощи программы «FlowVision» сопоставимы с данными аэродинамической продувки, и обладают достаточной достоверностью.

**В четвертой главе «Сравнительные испытания штатной и модернизированной впускных систем двигателя в режиме прокрутки»** описываются моторные испытания штатной и модернизированной систем впуска в режиме прокрутки. Так как аэродинамическая продувка является статическим испытанием и не может обеспечить всю полноту картины газодинамических процессов происходящих в

таких как: мгновенный расход воздуха, абсолютное давление во впускных патрубках двигателя, частоту вращения, положение дроссельной заслонки, температуру и т.д. Данные с датчика положения также автоматически вводятся и обрабатываются программным комплексом. Датчик положения выдает сигнал один раз за один оборот коленчатого вала и фиксирует один оборот по пропущенному зубу, зубчатого колеса жестко закрепленного на коленчатом валу. Зубчатое колесо имеет 32 зуба, поэтому программный комплекс проводит фиксацию параметров работы двигателя 32 раза за один оборот коленчатого вала. Благодаря этому при фиксации данных получены не просто данные записанные при определенных условиях, а массив данных с привязкой к углу поворота коленчатого вала. Применение программного комплекса позволило получать все параметры работы двигателя в электронном виде, что в дальнейшем значительно упростило процесс обработки данных.

Запись параметров производилась при частотах вращения 1000, 2000 и 3000 мин<sup>-1</sup> и при углах открытия дроссельной заслонки 15, 30 и 45°. Таким образом, в результате проведенных экспериментов было получено 45 электронных файлов. Для дальнейшей работы с данными была разработана специальная форма файла в программе «Excel». Форма представляет собой таблицу с автоматически сортирующимися ячейками. В нее были заложены формулы при помощи, которых такие параметры как частота вращения и цикловой расход воздуха вычислялись автоматически. Также данная форма имеет вложенные листы, на которых в зависимости от размещаемых в форме данных происходит автоматическое построение диаграмм. (рис. 6) Таким образом, автоматически для каждого эксперимента были построены зависимости давления воздуха от угла поворота коленчатого вала. При анализе полученных диаграмм было установлено, что давление на входе в цилиндры ДВС не одинаково на протяжении всего такта впуска. Также из полученных диаграмм видно, что давление во впускных патрубках цилиндров различается. Так давление во впускном патрубке первого цилиндра значительно меньше, чем у остальных практически в течение всего такта впуска и максимум давления смещен в сторону больших углов поворота коленчатого вала. Установлено, что расход воздуха, поступающего в цилиндры ДВС, отличается неравномерностью. Расход воздуха четвертого цилиндра при частоте 1000 мин<sup>-1</sup> значительно меньше, чем у других цилиндров. В тоже время при частотах 2000 и 3000 мин<sup>-1</sup> наблюдается снижения расхода воздуха, по сравнению с остальными цилиндрами, у первого цилиндра. Также при частоте вращения 3000 мин<sup>-1</sup> и угле открытия дроссельной заслонки 15° расход воздуха у четвертого цилиндра значительно выше, чем у остальных цилиндров, но при дальнейшем увеличении угла открытия дроссельной заслонки эта разница практически исчезает. Во второй части экспериментов были проведены испытания двигателя с установленной модернизированной впускной системой. (рис. 7) По данным, полученным в ходе эксперимента определено, что применение усовершенствованной впускной системы привело к равномерному распределению воздушного потока по цилиндрам ДВС.

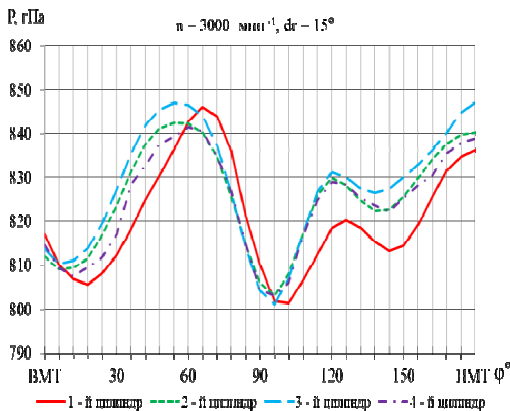


Рис.6. Зависимость давления воздуха во впускных патрубках от угла поворота коленчатого вала при частоте 3000 мин<sup>-1</sup> и угле открытия дроссельной заслонки 15°



Рис.7. Общий вид двигателя с установленной модернизированной впускной системой

турбулентности потока во впускных патрубках впускной системы двигателя. В результате аэродинамические характеристики модернизированной впускной системы стали значительно лучше, чем характеристики штатной впускной системы. Увеличились давление и расход воздуха проходящего через впускные патрубки, повысилась равномерность распределения воздушного потока по впускным патрубкам системы.

**В пятой главе** «Влияние конструкции системы впуска на технико-экономические и экологические показатели ДВС» описываются испытания двигателя с установленными поочередно штатной и модернизированной впускными системами выполненные с целью определения технико-экономических и экологических показателей работы двигателя. В ходе испытаний были определены мощность, крутящий момент, часовой и удельный расход топлива, а также показатели токсичности отработавших газов при работе двигателя со штатной и модернизированной системами

Расход воздуха четвертого цилиндра при частоте вращения 1000 мин<sup>-1</sup> увеличился на 1,3 % и приблизился к расходу остальных цилиндров. При частоте вращения 2000 мин<sup>-1</sup> и угле открытия дроссельной заслонки 15° расход воздуха первого цилиндра увеличился более чем в 1,5 раза и выровнялся с расходами остальных цилиндров. В среднем на 0,5 % увеличилось давление во всех впускных патрубках модернизированной

впускной системы по сравнению со штатной впускной системой. Такого результата удалось добиться за счет смещения участка интенсивного турбулентного течения воздуха из ресивера в дополнительный патрубок модернизированной впускной системы двигателя. При этом удалось добиться выравнивания поля скоростей, а также снижения скорости движения воздуха и как следствие снижения

впуска. Данные определялись на тех же частотах вращения и при тех же углах открытия дроссельной заслонки, что и при проведении испытаний в режиме прокрутки. В спец. форму были добавлены формулы, при помощи которых такие параметры как частота вращения коленчатого вала, цикловой расход воздуха, мощность, момент, часовой и удельный расход, коэффициент наполнения и коэффициент избытка воздуха вычислялись автоматически. В специальной форме определены ячейки в которые вписываются показания газоанализатора «Инфракар – М». Таким образом, была получена единая форма файла, в которой содержатся все данные проведенного эксперимента. Анализ полученных данных показал, что в результате применения модернизированной системы впуска давление в ресивере повышается в среднем на 0,7% во всем диапазоне заданных частот вращения коленчатого вала. По первому цилиндру давление повысилось на 0,9%, по второму 1,3%, по третьему 1,1%, по четвертому 2,4%.

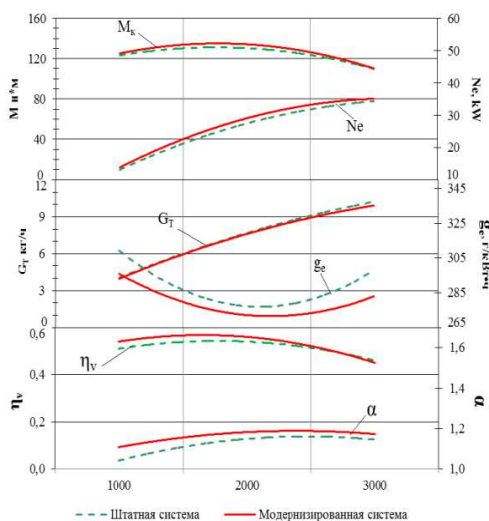


Рис 8. Частичные скоростные характеристики двигателя со штатной и модернизированной впускными системами

модернизированной впускными системами. (рис. 8) Анализ частичных скоростных характеристик двигателя показал, что угол открытия дроссельной заслонки оказывает незначительное влияние на расход топлива на минимальной частоте вращения.

На частоте вращения  $3000 \text{ мин}^{-1}$  часовой расход топлива при установке модернизированной впускной системы снижается на 1,5%, а удельный расход топлива на 2,6%. Из построенных зависимостей видно, что при частоте вращения  $2000 \text{ мин}^{-1}$  увеличение мощность составляет 1,2%, увеличение крутящего момента 3,9%.

В результате было получено подтверждение предположений выдвинутых при проведении продувки и испытания в режиме прокрутки штатной и модернизированной впускных систем. Модернизация системы впуска привела не только к повышению равномерности распределения воздушного потока по впускным патрубкам ДВС, но и обеспечила повышение давления во впускных патрубках цилиндров ДВС.

По данным полученным в ходе экспериментов построены частичные скоростные характеристики двигателя с установленными штатной и

По результатам замеров токсичности уходящих газов были построены графики зависимости CO (рис. 9) и CH (рис. 10) от угла поворота дроссельной заслонки при разных частотах вращения коленчатого вала для штатной и модернизированной впускных систем.

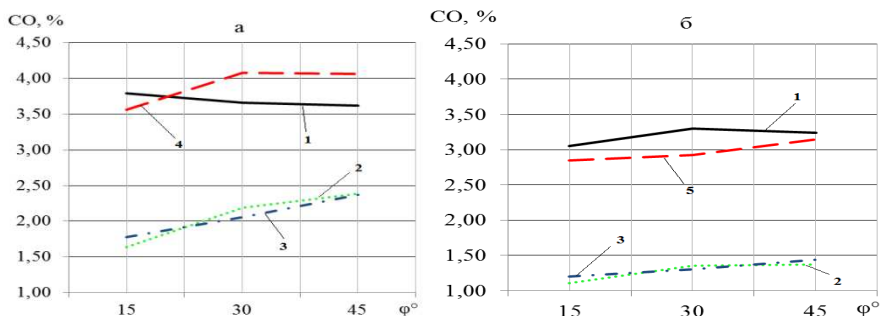


Рис.9. Зависимость CO от угла открытия дроссельной заслонки при частоте вращения коленчатого вала ДВС 3000 мин<sup>-1</sup> штатной и модернизированной впускных систем: а – штатная впускная система; б – модернизированная впускная система (цифрами обозначены номера цилиндров)

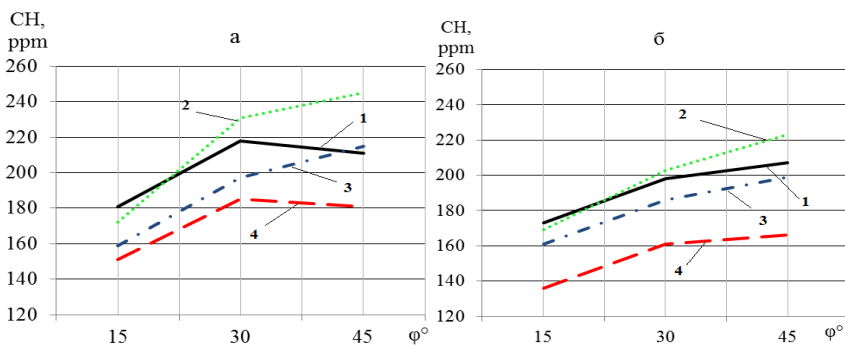


Рис.10. Зависимость CH от угла открытия дроссельной заслонки узла при частоте вращения коленчатого вала ДВС 3000 мин<sup>-1</sup> штатной и модернизированной впускных систем: а – штатная впускная система; б – модернизированная впускная система (цифрами обозначены номера цилиндров)

По графикам изменения CO и CH можно отметить, что применение модернизированной впускной системы позволяет снизить уровень CO на 33,3%, а уровень CH на 6,2%.

Таким образом, моторные испытания проведенные в режиме дросселирования подтвердили предположения полученные при аэродинамической продувке и компьютерном моделировании, а также выводы сделанные при обработке данных полученных при испытаниях в режиме прокрутки. Подтверждено негативное влияние дроссельной заслонки на равномерность распределения воздушного потока по впускным патрубкам ДВС. При этом происходит ухудшение процесса наполнения цилиндров



двигателя свежим зарядом и как следствие снижение технико-экономических и экологических показателей двигателя.

Разработанная конструкция модернизированной впускной системы оказывает положительное влияние на газодинамические процессы, происходящие во впускной системе, повышает равномерность распределения воздушного потока по впускным патрубкам цилиндров, обеспечивает улучшение смесеобразование и наполнение цилиндров свежим зарядом. В результате применение модернизированной впускной системы приводит к повышению технико-экономических и экологических показателей двигателя при работе на частичных нагрузках.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. Проведен анализ сопротивлений впускной системы ДВС, определены основные факторы оказывающие влияние на движение воздушного потока по впускной системе. Определено, что на частичных нагрузках основным конструктивным элементом оказывающим влияние на равномерность распределения воздуха по цилиндрам является дроссельная заслонка. Установлено, что из-за интенсификации турбулентного течения возникающей при обтекании воздушным потоком дроссельной заслонки распределение воздуха по цилиндрам двигателя становится не равномерным.
2. Математическим моделированием определены параметры воздушного потока во всех точках впускной системы ДВС. Изучен характер движения воздуха по впускной системе ДВС. Установлено, что скорость воздушного потока во впускных патрубках различна. Максимум наблюдается во впускном патрубке второго цилиндра, минимум во впускном патрубке четвертого цилиндра. Создана визуализация газодинамических процессов протекающих во впускной системе двигателя. Выявлено наличие участка турбулентного течения воздуха, непосредственно за дроссельной заслонкой, оказывающее отрицательное влияние на распределение воздушного потока по впускным патрубкам. Рядом повторных расчетов определены конструктивные размеры модернизируемого элемента впускной системы.
3. Создана установка на которой проведены аэродинамические исследования штатной и модернизированной впускных систем ДВС. Разработана методика аэродинамических исследований впускной системы ДВС, проанализированы результаты исследования. Установлено, что применение штатной впускной системы ДВС не обеспечивает равномерного распределения воздушного потока по впускным патрубкам.
4. Предложена схема модернизации впускной системы ДВС, заключающаяся в установке между дроссельной заслонкой и ресивером дополнительного патрубка с внутренним диаметром равным диаметру дроссельной заслонки и длиной равной трем диаметрам дроссельной заслонки. Проведены сравнительные испытания штатной и модернизированной впускных систем в режиме прокрутки на тормозном стенде, которые показали, что благодаря применению усовершенствованной впускной системы ДВС распределение потока по цилиндрам ДВС стало более равномерным.

5. Проведены сравнительные испытания штатной и модернизированной впускных системам с целью определения технико-экономических и экологических показателей работы ДВС. Сравнительными испытаниями установлено, что:
- применение модернизированной системы впуска обеспечивает повышение давления в ресивере в среднем на 0,7% во всем диапазоне заданных частот вращения коленчатого вала.
  - на частоте вращения 3000 мин<sup>-1</sup> часовой расход топлива снижается на 1,5%, а удельный расход топлива на 2,6%.
  - применение модернизированной впускной системы позволяет повысить крутящий момента на 3,9%, а мощность на 1,2%.
  - применение модернизированной впускной системы обеспечивает снижение токсичности отработавших газов во всем диапазоне исследуемых нагрузок двигателя. Зафиксировано снижения уровня СО на 33,3% , СН на 6,2%.

### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

В изданиях, рекомендованных ВАК

1. Суворов Е.А. Изменение токсичности отработавших газов бензинового ДВС в зависимости от время-сечения ГРМ / Жолобов Л.А., Дыдыкин А.М., Суворов Е.А. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока.- 2011.- № 4(23).- С.59-64.
2. Суворов Е.А. Зависимость индикаторной мощности от время-сечение газораспределительного механизма ДВС / Жолобов Л.А., Дыдыкин А.М., Суворов Е.А. // Тракторы и сельхозмашины.- 2011.-№11.-С.29-31.
3. Суворов Е.А. Влияние высоты подъема выпускного клапана на процесс выпуска отработавших газов / Жолобов Л.А., Суворов Е.А. // Тракторы и сельхозмашины.-2012.- №8.- С.22-25.
4. Суворов Е.А. Влияние дополнительной емкости во впускной системе на наполнение ДВС / Жолобов Л.А., Суворов Е.А., Васильев И.С. // Современные проблемы науки и образования.-2013.-№1.
5. Суворов Е.А. Влияние конструкции системы впуска на экологические показатели / Жолобов Л.А., Суворов Е.А. // Современные проблемы науки и образования.-2013.- №2.
6. Суворов Е.А. Аэродинамические исследования впускной системы бензинового двигателя / Жолобов Л.А., Суворов Е.А. // Современные проблемы науки и образования.-2013.- №3.
7. Суворов Е.А. Влияние дросселирования во впускной системе на технико-экономические показатели ДВС / Жолобов Л.А., Суворов Е.А. // Современные проблемы науки и образования.-2013.- №4.
8. Суворов Е.А. Влияние дросселирования на движение воздушного потока во впускной системе двигателя в режиме прокрутки / Жолобов Л.А., Суворов Е.А. // Современные проблемы науки и образования.-2013.- №5.

9. Суворов Е.А. Техничко-экономические показатели ДВС при дросселировании во впускной системе / Жолобов Л.А., Суворов Е.А. // Материалы XVI международной научно-практической конференции "Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства".-Тамбов.-2011.- С.195-200.
10. Суворов Е.А. Течение газа через впускную систему при дросселировании потока, настроенной впускной системы / Жолобов Л.А., Суворов Е.А. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» "Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России".-Пенза.- 2011.- С.68-70.
11. Суворов Е.А. Влияние высоты подъема клапанов механизма газораспределения на выходные показатели двигателя / Жолобов Л.А., Суворов Е.А. // Материалы VI международной научно-практической конференции "Автомобиль и техносфера".- Казань.-2011.- С.194-199.
12. Суворов Е.А. Влияние дросселирования на работу настроенной впускной системы / Жолобов Л.А., Суворов Е.А. // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. Материалы V международной научно-практической конференции "Наука-Технология-Ресурсосбережение", посвященной 60-летию инженерного факультета.- Киров.-2012.- С.21-28.
13. Суворов Е.А. Впускной коллектор двигателя внутреннего сгорания / Жолобов Л.А., Суворов Е.А. // **Заявка на получение патента на полезную модель**, зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» за № 2011117198/06(025671).

**Личный вклад соискателя состоит в:** непосредственном участии в получении исходных данных и проведении научных экспериментов, личном участии в апробации результатов исследований, разработке и создании экспериментальных стендов и установок, обработке и интерпретации экспериментальных данных, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Подписано в печать 17.09.2013.

Формат 60x84/16. Усл. Печ. л. 1,16 Тираж 100 экз.

Заказ