

На правах рукописи

ДЫДЫКИН АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ПРОЦЕССА ВПУСКА

Специальность 05.04.02 - тепловые двигатели

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород - 2010

Работа выполнена на кафедре “Тракторы и автомобили” Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии.

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Жолобов Л.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Сыркин П.Э.

кандидат технических наук, доцент
Девятьяров Р.Р.

Ведущая организация: Чебоксарский политехнический
институт (филиал) ГОУ ВПО “МГОУ”

Защита диссертации состоится 23 апреля 2010 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.212.165.04 в Нижегородском государственном техническом университете по адресу: 603600, г. Нижний Новгород, ГСП-41, ул. К.Минина, д.24, ауд. 1258.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного технического университета.

Автореферат разослан 22 марта 2010 г.

Отзыв на автореферат с подписью, заверенной печатью организации, просим направлять в адрес ученого секретаря диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



ТОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение технико-экономических показателей быстроходного дизеля путем совершенствования процесса впуска.

Основные технико-экономические показатели ДВС, в частности эффективная мощность напрямую зависят от количества теплоты, вводимой в цилиндр за цикл, определяется массой топлива, участвовавшего в процессе сгорания в ходе одного рабочего цикла

Масса топлива, необходимое для полного и эффективного сгорания в ДВС ограничивается наличием свежего воздуха, поступившего в цилиндр во время процесса впуска.

Процесс впуска представляет собой движение свежего заряда и отработавших газов, синхронизированных с движением поршня, а также впускного и выпускного клапанов. Сложность в изучении этого процесса заключается в том, что движения рабочего тела по органам впускной системы имеет явно выраженный трехмерный и нестационарный характер.

На процесс наполнения с одной стороны оказывает влияние законы движения заряда, которые учитывают колебательные процессы, происходящие в трубопроводах и гидросопротивления органов впуска, с другой стороны - законы движения поршня и впускного и выпускного клапанов. В связи с этим, существует два пути совершенствования данного процесса.

Решить все эти проблемы на стадии конструирования, производства и доводки ДВС затруднительно, так как связано со значительными материальными и трудовыми затратами. Поэтому общепризнанным и наиболее перспективным путем сокращения затрат при проектировании ДВС является расчет его процесса впуска численными методами.

При этом сам вычислительный эксперимент при обеспечении должного уровня достоверности, может рассматриваться как численный эксперимент и относится к экспериментально-теоретическим методам исследования.

В связи с этим актуальным становится задача по созданию пространственной расчетной модели процесса впуска, позволяющих совершенствовать технико-экономические показатели быстроходного дизеля с учетом всех вышеизложенных взаимосвязей.

Цель исследований является повышение технико-экономических показателей быстроходного дизеля путем совершенствования процесса впуска.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи:**

- разработать методику расчета процесса впуска быстроходного дизеля с использованием совмещенных характеристик органов впуска и ГРМ;
- разработать конструкции органов впуска и ГРМ, обеспечивающие равномерность распределения заряда по объему полости цилиндра;
- разработать комплекс программных средств, позволяющих производить качественную и количественную оценку процесса наполнения быстроходного дизеля с визуализацией векторов физических параметров рабочего тела по сечениям или по поверхностям области расчета;

- провести тестовые расчеты процесса впуска быстроходного дизеля, позволяющие определять термодинамические параметры состояния рабочего тела, находящегося в области расчета;
- провести сравнительный расчет процесса впуска для различных вариантов формы впускного канала и профилей кулачка ГРМ;
- разработать исследовательский программно-аппаратный комплекс, предназначенный для измерений и обработки основных показателей рабочих процессов быстроходного дизеля.

Объектом исследования является быстроходный дизель семейства ВСН-7Д производства завода ОАО «Авитек» г.Киров.

Предмет исследования: газодинамические характеристики процесса впуска, а также мощностные и экономические показатели быстроходного дизеля ВСН-7Д.

Методика исследований. При проведении теоретических исследований использованы общие законы термодинамики, теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания. Экспериментальные исследования проводились на моторном стенде с двигателем ВСН-7Д.

Научная новизна работы:

- предложена методика расчета процесса впуска быстроходного дизеля с использованием совмещенных характеристик органов впуска и ГРМ;
- разработаны конструкции органов впуска и ГРМ, обеспечивающие равномерность распределения заряда по объему полости цилиндра;
- разработан комплекс программных средств, позволяющих производить качественную и количественную оценку процесса наполнения быстроходного дизеля с визуализацией векторов физических параметров рабочего тела по сечениям или по поверхностям области расчета.

Основные положения, выносимые на защиту:

- в теоретической части - методика расчета процесса впуска;
- в конструкторской части – сконструирован впускной винтовой канал и разработан профиль кулачков распределительного вала ГРМ, с целью максимального приближения рабочего цикла быстроходного дизеля к рабочему циклу теоретического поршневого двигателя;
- в экспериментальной части – рабочие характеристики быстроходного дизеля, программные средства, разработанные для измерений и обработки основных показателей рабочих процессов.

Достоверность результатов. Обоснованность научных положений работы обуславливаются использованием общих уравнений гидродинамики, теплофизики и термодинамики, известной и надежной программы “FlowVision”, применением высокоточных автоматизированных средств измерения параметров процесса впуска, сертифицированных средств испытаний дизелей, а также сходимостью расчетных результатов с экспериментальными.

Практическая ценность работы:

- сконструирован и внедрен впускной винтовой канал быстроходного дизеля;
- разработан и внедрен профиль кулачков распределительного вала ГРМ;
- разработаны программные средства для снятия и обработки данных исследования рабочих процессов быстроходного дизеля.

Реализация работы. Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований приняты к внедрению на ОАО «Авитек» и использованы при разработке новых и модернизации выпускаемых заводом быстроходных дизелей. Материалы диссертации используются в учебном процессе Нижегородской и Вятской государственных сельскохозяйственных академий, Чебоксарском институте (филиале) Московского государственного открытого университета при чтении лекций, курсовом и дипломном проектировании для студентов, обучающихся по специальностям 11030165 и 11030465.

Апробация работы.

Основные положения диссертации обсуждались и были одобрены на:

- международных научно-практических конференциях: «Состояние и перспективы автомобильного транспорта в России» (НГТУ, 1998г., г.Н.Новгород), III, IX, X, XI Международных конференциях «Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей», (ВлГУ, 2001-2008г., г.Владимир), V Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера» ICATS'2007, (КГТУ-КАИ, 2007г., г.Казань), X Международной научной школы «Гидродинамика больших скоростей» и Международной научной конференции «Гидродинамика. Механика. Энергетические установки» (Чебоксарский институт (филиал) МГОУ, 2008г., г.Чебоксары);

- всероссийских: Всероссийской научно-практической конференции, посвященной «Образование «Наука. Производство. Инновационный аспект»», (Чебоксарский институт (филиал) МГОУ, 2005г., г.Чебоксары), I и II Всероссийской научно-практической конференции «Наука - Технология - Ресурсосбережение», (ФГОУ ВПО Вятская ГСХА, 2007 - 2008г., г.Киров);

- региональных: «Повышение эффективности использования энергии и совершенствование технологических процессов в сельскохозяйственном производстве», (ФГОУ ВПО «Нижегородская ГСХА», 2000, 2001, 2003, 2007г., г.Н.Новгород), конференции вузов Поволжья и Предуралья «Совершенствование конструкции, теории и расчета тракторов, автомобилей и двигателей внутреннего сгорания», (ФГОУ ВПО Вятская ГСХА, 2004- 2006г., г.Киров), XVI региональной научно-практической конференции вузов Поволжья и Предуралья «Повышение эффективности использования автотракторной и сельскохозяйственной техники», (ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА», 2005г., г.Пенза);

- техническом совете завода ОАО «Авитек» г.Киров.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 66 печатных работах, включая 2 монографии объемом 24,25 п.л., 4 статьи в центральных журналах, входящих в перечень изданий ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней, 12 статей опубликовано в сборниках трудов Международных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка использованной литературы. Диссертация содержит 146 страниц, включая 67 рисунков, 6 таблиц, список литературы из 284 наименований.

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 проанализированы работы, выполненные по тематике рассматриваемой проблемы. Результаты теоретических работ и экспериментальных исследований по изучению рабочего цикла ДВС и процесса впуска, влиянию конструктивных и эксплуатационных параметров двигателей на повышения его технико-экономических показателей отражены в работах: Абрамовича Г.Н., Адлера Ю.П., Акимова А.П., Алексина В.А., Архангельского В.М., Балашова А.А., Березина С.Р., Боднера В.А., Брилинга Н.Р., Бутова И.А., Вахошина Л.И., Вихерта М.М., Войнова А.М., Вырубова Д.Н., Гаврилова А.А., Глаголева Н.И., Горнушкина Ю.Г., Гоца А.Н., Грановского Ю.В., Григорьева Е.А., Гришина Ю.А., Грудского Ю.Г., Гусева А.В., Драганова Б.Х., Драгомирова С.Г., Дьяченко Н.Х., Ждановского Н.С., Жолобова Л.А., Захарова Л.А., Иващенко 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., Панова В.В., Рудого Б.П., Химича В.Л., Хрункова С.Н., Эфроса В.В., Яновича Ю.В.

В начале первой главы приводится анализ возможности повышения технико-экономических показателей быстроходного дизеля.

Одним из перспективных путей этого повышения является совершенствование процесса наполнения полости цилиндра свежим зарядом, оптимизации дозарядки в конце процесса впуска, совершенствования смешения в цилиндре за счет создания вращательного движения свежего заряда. Организация и протекание названных подлежащих совершенствованию рабочих процессов в быстроходном двигателе осуществляется совместным действием кривошипно-шатунного механизма, органов впуска и газораспределительного механизма.

Анализ работ позволил сформулировать и обосновать задачи исследования, необходимые для достижения поставленной цели работы.

Во второй главе рассмотрены вопросы о расчете течения газа в системе впуска быстроходного дизеля.

В ходе решения задачи о впуске необходимо определить термодинамические параметры и поля рабочего тела, находящегося в области расчета. Под областью расчета понимается объем, в котором определены уравнения математической модели, и граница объема, на которой определены граничные условия.

Область расчета являлась трехмерным объектом, т.к. характер течения в газов в области расчетов имеет ярко выраженную трехмерную структуру. В соответствии с этим поиск решения данной задачи при расчете процесса впуска ведется на основании наиболее полно описывающей такой вид течения физической модели полностью сжимаемой жидкости.

В выбранную математическую модель включено семь уравнений:

Три уравнения Навье-Стокса, которые, с учетом сил, действующих на заряд можно записать в следующем виде:

$$\frac{d(\rho V)}{dt} + \nabla(\rho V \otimes V) = -\nabla P + \nabla(\mu + \mu_t)(\nabla V + (\nabla V)^T) + S \quad (1)$$

Уравнение неразрывности, которое запишем в следующем виде:

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla(\rho V) = 0. \quad (2)$$

Уравнение энергии, которое для полной энтальпии имеет вид:

$$\frac{d(\rho H)}{dt} + \nabla(\rho V H) = \frac{d\rho}{dt} + \nabla\left(\left(\frac{\lambda}{c_p} + \mu_t\right)\nabla H\right). \quad (3)$$

Уравнение состояния идеального газа:

$$\frac{p}{\rho} = \frac{R}{c_p} \cdot (c_p \cdot T) = \frac{R}{c_p} \cdot h \quad (4)$$

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

$$\frac{d(\rho C)}{dt} + \nabla(\rho V C) = \nabla\left(\left(\frac{\mu}{S_C} + \frac{\mu_t}{S_{C_i}}\right)\nabla C\right). \quad (5)$$

Уравнения для кинетической энергии турбулентных пульсаций k и скорости диссипации энергии турбулентности e .

В выбранной модели турбулентности (стандартная $k - e$ модель) турбулентная вязкость μ_t выражается через величины k и e следующим образом:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{e} f_\mu.$$

Таким образом, уравнение для турбулентной энергии k записывается в следующем виде:

$$\frac{d(\rho k)}{dt} + \nabla(\rho V k) = \nabla\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\nabla k\right) + \mu_t G - \rho e, \quad (6)$$

а уравнение для скорости диссипации энергии турбулентности e :

$$\frac{d(\rho e)}{dt} + \nabla(\rho V e) = \nabla\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_e}\right)\nabla e\right) + C_1 \frac{e}{k} \mu_t G - C_2 f_1 \frac{e^2}{k} \rho. \quad (7)$$

Расчет течения рабочего тела по органам впуска проводится методами вычислительной гидродинамики. Основной задачей вычислительной гидродинамики является численное решение уравнений Навье-Стокса, описывающих динамику жидкости. Дополнительно учитываются различные физико-химические эффекты: горение и теплообмен.

Область расчета создается в системе САПР по размерам рабочих камер завод-изготовитель быстроходного дизеля ВСН-7Д. Вначале строятся впускные и выпускные каналы, а после этого моделируется вся проточная часть дизеля в виде 3-мерной твердотельной модели (рис. 1).

После импортирования геометрии проточной части в выбранный вариант расчета необходимо включить подвижные детали, включенные в рассматриваемый расчет.

К подвижным деталям относятся поршень и впускной и выпускной клапана.

Геометрия подвижных деталей создается в САПР, а подключается к расчету с помощью пункта меню Фильтры Движущегося тела. Подвижным деталям необходимо задать законы перемещения. Для поршня этот закон определяется по известному выражению, а для впускного и выпускного клапанов закон движения задается в табличной форме с учетом результатов промеров профилей соответствующих кулачков.

Следующий шаг создания расчетного варианта - это задание граничных условий на границах расчетной области. Для созданной области расчета определяем 7 граничных условий (рис. 1).

Граничные условия задаются для каждой из расчетных переменных (Температура, Давление, Скорость, Турбулентность). Чтобы облегчить выбор и исключить постановку несовместимых граничных условий, они объединены в "Тип границы". Каждый Тип границы соответствует некоторому физическому процессу, происходящему на границе. Для граничных условий 1, 2, 3, 4, 6 - задаем Тип границ: "Стенка"; для граничного условия 5 - задаем Тип границ: "Вход/Выход", а для граничного условия 7 - задаем тип границ: "Свободный Выход".

Перед началом постановки на расчет созданного варианта необходимо задать параметры предложенного метода расчета. При этом задаем частоту вращения коленчатого вала, число итераций, частоту автосохранения данных расчета по итерациям, способ восстановления переменной внутри расчетной ячейки, задаем параметры, определяющие метод расчета и способ выбора шага по времени (для созданного варианта расчета используем расчет неявным методом с использованием скошенной схемы).

Для проверки созданной методики расчета процесса впуска быстроходного дизеля были проведены тестовые расчеты. Для осуществления данных расчетов требовалась разработка способа задания стартовых, или начальных условий. В результате исследований выяснилось, что более универсальными являются следующие условия. Расчет начинался при движении поршня из верхней мертвой точки в процессе расширения. При этом задавались значения температур и давлений рабочего тела в полости цилиндра, полученные в результате натурных испытаний серийного быстроходного дизеля данной модели. Скорость течения газа во всех расчетных ячейках области расчета равны нулю. Температура и давление в расчетных ячейках впускного и выпускного тракта принимаются равными атмосферным условиям.

После расчета двух оборотов коленчатого вала, соответствующих

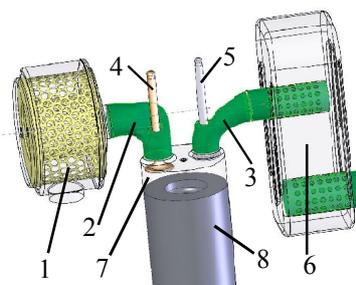


Рис. 1. Область расчета проточной части быстроходного дизеля ВСН-7Д: 1 - воздушный фильтр; 2 - впускной канал; 3 - выпускной канал; 4 - впускной клапан; 5 - выпускной клапан; 6 - глушитель; 7- цилиндр; 8 - поршень

рабочему циклу четырехтактного ДВС, было отмечено полное соответствие рассчитываемого процесса впуска реальному процессу, происходящему в быстроходном дизеле.

Вся область расчета была разбита расчетной сеткой на ячейки. Для оценки влияния степени дискретизации области расчета на результаты численного расчета было проведено специальное исследование.

В первом приближении для проведения тестовых вычислений область расчета была разбита в прямоугольных координатах (x, y, z) на $11 \cdot 31 \cdot 25$ частей соответственно. Те ячейки, которые полностью или частично попадали в область расчета разбивались в соответствии с технологией АЛИС в 8 раз. Таким образом начальная сетка образовывала около 8525 расчетных ячеек. Кроме этого в четырех выбранных локальных объемах расчетной области проводилась локализация начальной сетки до уровней 2 и 3, что дало дополнительно еще около 80000 расчетных ячеек (рис. 2). Общее количество расчетных ячеек составило около 120 тысяч. Дальнейшие вычисления были проведены для 400 тысяч расчетных ячеек, причем перераспределение их по области расчета осталось таким же как и для первоначального варианта. В результате анализа результатов расчетов была подтверждена закономерность - повышение количества расчетных ячеек области расчета позволяет получать более достоверные данные. Однако, чрезмерное увеличение количества ячеек ведет к росту общей производительности расчета.

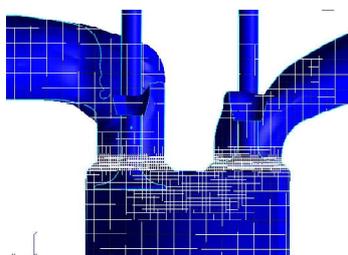


Рис. 2 Локально измельченная расчетная сетка рабочей области.

На рис. 3 представлен фрагмент расчета, на котором приведено графическое представление векторного поля скоростей потока во впускном и выпускном каналах в плоскости симметрии цилиндра при перекрытии клапанов. Поле скоростей наглядно показывает характер течения, формирование вихрей.

При этом виден пограничного слоя от поверхности нижней стенки впускного канала при входе в вихревую улитку, кроме того, видно, что в верхней части канала происходит торможение заряда из-за того, что он бьет в стенку.

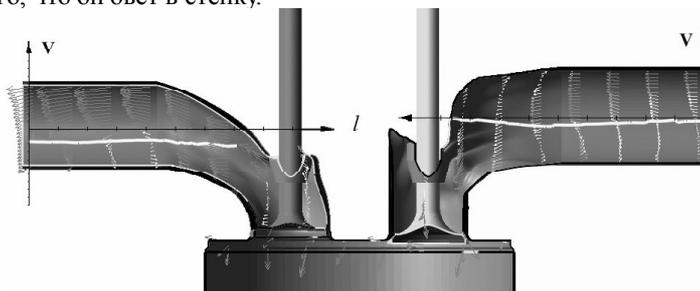


Рис. 3 Поле скоростей во впускном и выпускном каналах расчетной области при перекрытии клапанов.

Наряду с этим происходят образование встречных потоков течения заряда как во впускном, так и в выпускном каналах, а также образование вихрей. На рис. 4 изображены линии тока по впускному каналу и цилиндру двигателя. Основное назначение впускного канала - это впуск свежего заряда с наименьшими потерями во впускной системе и закрутка воздушного заряда в цилиндре и камере сгорания.

Анализ результатов численного расчета процесса впуска показывает, что впускной канал дизеля ВСН-7Д недостаточно функционален, его профиль приводит к значительным аэродинамическим потерям, а вихрь, образующийся в цилиндре распадается на два, причем они вращаются в разные стороны.

Кроме визуального представления полей скоростей и других расчетных переменных были получены их численные данные для различных сечений впускного и выпускного каналов и углов поворота коленчатого вала. Результаты расчетов по изменению массового расхода воздуха и среднего давления через проходное сечение горизонтальной части впускного канала на частоте вращения коленчатого вала 3000 мин^{-1} , а также результаты экспериментальных данных, полученных для частоты вращения 3000 мин^{-1} представлены на рис. 5. Сравнивая данные, полученные при моделировании с

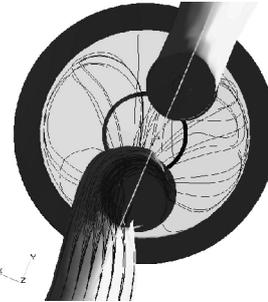


Рис. 4. Линии тока по впускному каналу и цилиндру.

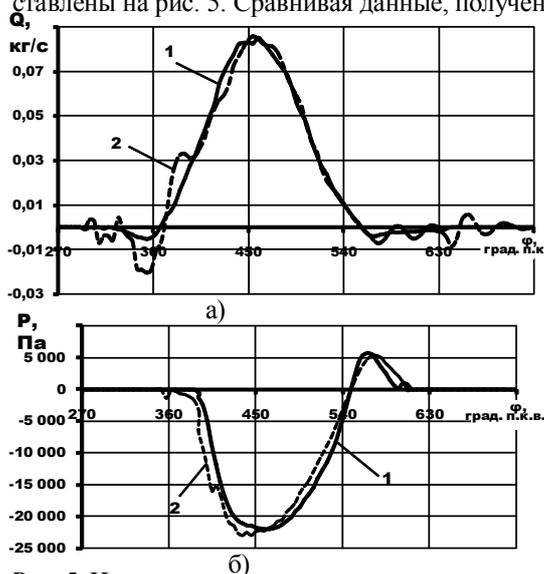


Рис. 5. Изменение массового расхода воздуха (а) и среднего давления (б) через проходное сечение впускного канала: 1- теория; 2- эксперимент.

экспериментальными, видим, что расчет имеет хорошую сходимость. Смещение экспериментальных кривых с расчетными данными можно объяснить как погрешностями расчетного метода, обусловленными принятыми допущениями, так и расхождениями в области применения, рекомендуемых для соответствующих экспериментальных методик.

Данные, полученные в ходе численного расчета показывают, что быстроходные дизели семейства ВСН-7Д имеют достаточно низкий уровень газодинамических характеристик, так коэффициент наполнения η_v

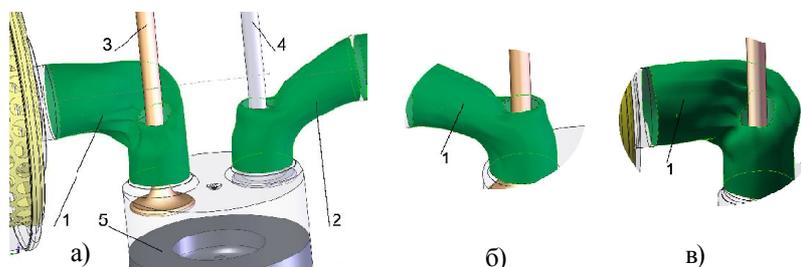


Рис. 6. Варианты компоновки рабочих областей проточной части: а) стандартный вариант; б) вариант с тангенциальным впускным каналом; в) вариант с модернизированным впускным каналом.

1- впускной канал; 2 - выпускной канал; 3 - впускной клапан; 4 - выпускной клапан; 5 - поршень.

на номинальной частоте вращения равен 0,7, а на холостом ходе снижается до 0,5. Исходя из этого возникает необходимость в дальнейшем исследовании процесса впуска с целью существенного улучшения воздухообеспечения цилиндра двигателя.

В третьей главе в соответствии с изложенной методикой проведено газодинамическое исследование быстроходного дизеля ВСН-7Д.

Перед началом газодинамического исследования определяемся с возможными вариантами компоновки органов впуска и узлов механизма газораспределения.

Остановимся на 3-х вариантах расчетной области: 1 - стандартный вариант проточной части области расчета (рис. 6. а). Этот вариант необходим нам для сравнения с ним модернизированных вариантов расчетной области; 2 - вариант проточной части области расчета с тангенциальным впускным каналом (рис. 6. б); 3 - вариант проточной части области расчета с измененным винтовым впускным каналом (рис. 6. в).

Недостаточное наполнение цилиндра свежим зарядом для стандартного варианта заключается в несоответствие площади проходного сечения канала и площади клапанной щели.

Нами предлагается канал, у которого отсутствует минимальное сечение, а проходная площадь плавно уменьшается от входного окна до клапанной щели (рис. 7). Результаты статической аэродинамической продувки стандартного и модернизированного винтовых впускных каналов показали, что

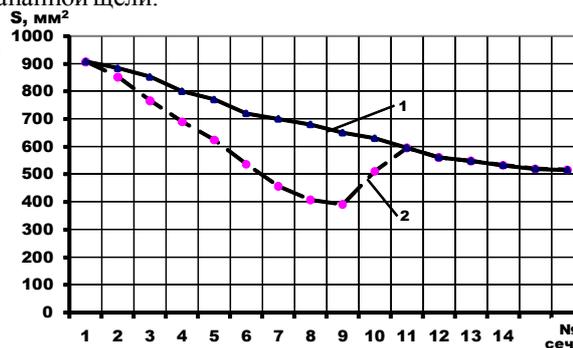


Рис. 7. Изменение площади сечения канала по длине: 1- исходный; 2- измененный.

у предлагаемого нами канала выявлено увеличение максимального расхода воздуха на 25%.

Для улучшения технико-экономических показателей быстроходного дизеля была проведена модернизация механизма газораспределения, заключающаяся в повышении его динамических качеств. Основными путями их улучшения следует считать повышение частоты собственных колебаний привода клапанов и клапанных пружин и применение более совершенных законов движения толкателя.

В данной работе для этого была проведена замена роликового толкателя в приводе клапанного механизма на толкатель с плоской головкой. Дальнейшее совершенствование динамических качеств механизма газораспределения осуществлялось изменением законов движения толкателя.

В современных быстроходных дизелях используют такие законы движения толкателя, у которых ускорения непрерывны и изменяются достаточно плавно. Основные возможности улучшения динамических качеств механизма газораспределения заключаются в увеличении протяженности участка его положительных ускорений (увеличение угла Φ_1) и в применении несимметричных законов движения.

На быстроходном дизеле ВСН-7Д стандартно применяется профиль кулачка для впускного клапана несимметричной формы (рис. 8) с малом изменением формы и длительности отдельных участков кривой ускорения и максимальной высотой подъема клапана $h_{кл} = 7,8$ мм с фазами газораспределения $\varphi_{отк} = 67^\circ$ до ВМТ и $\varphi_{зак} = 93^\circ$ после НМТ. Нами был предложен профиль кулачка для впускного клапана несимметричной формы со значительным превышением максимальных ускорений на стороне открытия клапана, чем на стороне закрытия с максимальной высотой подъема клапана $h_{кл} = 9,67$ мм и фазами газораспределения $\varphi_{отк} = 20^\circ$ до ВМТ и $\varphi_{зак} = 64^\circ$ после НМТ.

Газодинамические исследования быстроходного дизеля ВСН-7Д проводилось с применением двух видов проточной части со стандартным и

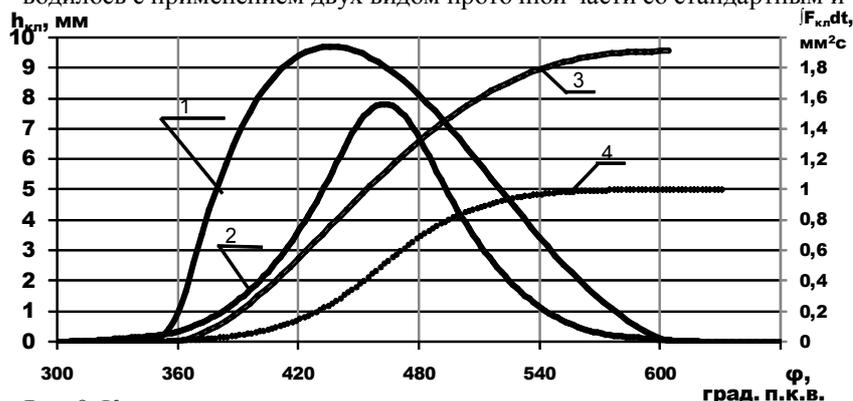


Рис. 8. Кинематические характеристики стандартного и модернизированного профиля кулачка: 1, 2 - перемещение клапана для стандартного и модернизированного профиля; 3, 4 - время-сечение для стандартного и модернизированного профиля.

модернизированным впускным каналом и двумя видами (стандартный и модернизированный) профилей кулачков ГРМ. Численное исследование проводилось для номинальной частоты вращения коленчатого вала 3000 мин⁻¹.

В результате расчетов для выбранных расчетных переменных были получены их численные данные для различных сечений области расчета и углов поворота коленчатого вала.

Первое - соответствует сечению прямолинейного горизонтального участка впускного винтового канала на входе в улиткообразную камеру; второе - соответствует сечению прямолинейного вертикального участка впускного винтового канала на выходе из улиткообразной камеры; третье - соответствует сечению клапанной щели впускного клапана; четвертое - соответствует сечению в цилиндре, расположенное непосредственно за впускным клапаном.

На рис. 9 приведены графики изменений скорости движения заряда для проведенных четырех расчетов.

Анализ полученных зависимостей показывает, что при течении заряда по органам впуска характер его движения ме-

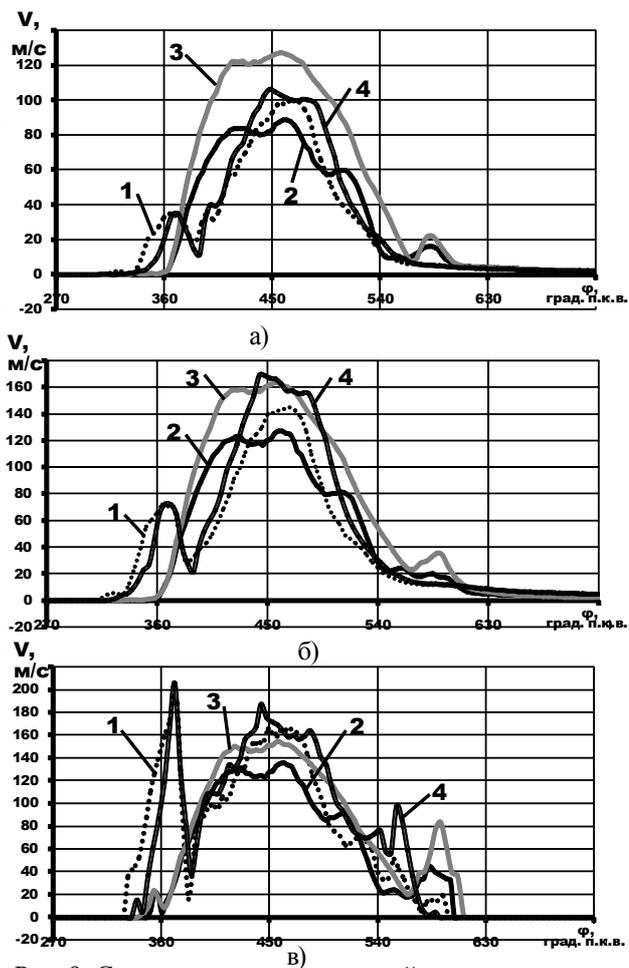


Рис. 9. Средние значения скоростей движения заряда для проведенных четырех расчетов: 1- модерн. канал, станд. профиль; 2- модерн. канал, модерн. профиль; 3- станд. канал, 4- модерн. профиль, 4- станд. канал, станд. профиль.

няется от сечения к сечению. Для I сечения (рис. 9. а) характерно достаточно плавное изменение скоростей движения заряда, так как газ движется по прямолинейному горизонтальному трубопроводу и еще не доходит до винтообразной части впускного канала. Максимальные значения скоростей движения возникают для стандартной рабочей области и модернизированного профиля кулачка $V_{max}=127$ м/с. Для варианта с стандартной рабочей областью и стандартным профилем кулачка $V_{max}=106$ м/с, для варианта с модернизированной рабочей областью и стандартным профилем кулачка скорость еще меньше ($V_{max}=100$ м/с). Наилучшее значение скорости движения получается при использовании варианта с модернизированной рабочей областью и модернизированным профилем кулачка, для которого $V_{max}=88$ м/с.

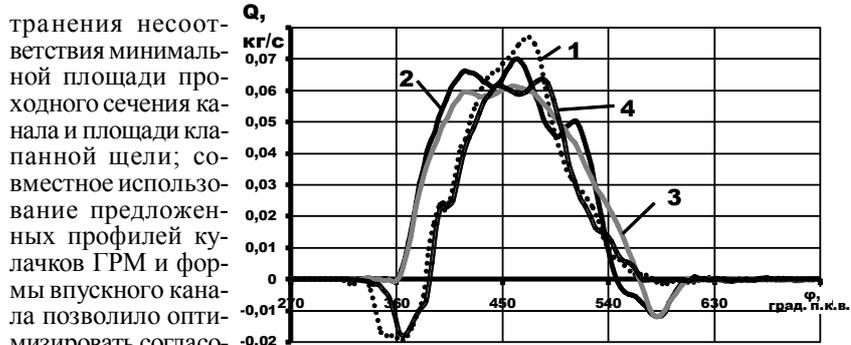
Максимальные скорости для II сечения области расчета увеличились для всех вариантов расчета (рис. 9. б). Наилучшие показатели в этом сечении имеет вариант расчета с модернизированной рабочей областью и модернизированным профилем кулачка

Для III сечения расчетной области, соответствующей клапанной щели характерны многочисленные "пики" скоростей (рис. 9. в), особенно на участках открытия и закрытия впускного клапана. Самый значительный скачок скорости наблюдается для вариантов расчета с использованием стандартного профиля кулачков ($V_{max}=206$ м/с). Характерной особенностью этого профиля является очень малая скорость движения впускного клапана в начале процесса впуска, что приводит к значительным гидросопротивлениям движения заряда. Этого недостатка лишен модернизированный профиль, применяя который удастся уменьшить этот "пик" скорости до $V=22$ м/с, что благоприятно сказывается на наполнение полости цилиндра свежим зарядом на впуске.

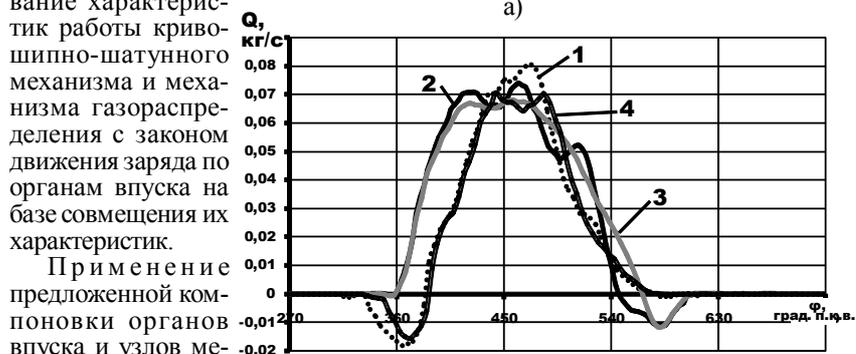
Одной из целей данной работы является повышения наполнения полости цилиндров свежим зарядом. На рис. 10 представлены кривые изменения массового расхода заряда в Q (кг/с) через рассматриваемые сечения области расчета для четырех вариантов расчета.

Анализ кривые изменения массового расхода через I расчетное сечение показывает, что для вариантов расчета с применением стандартного профиля кулачков процесс впуска характеризуется значительными обратными выбросами свежего заряда (рис. 10. а). Возникновение встречного течения заряда через рассматриваемое расчетное сечение связано с медленным изменением проходного сечения клапанной щели при движении поршня к НМТ. С точки зрения массового наполнения, наилучшие показатели достигаются для I сечения области расчета у варианта с модернизированными формой впускного канала и профилями кулачков.

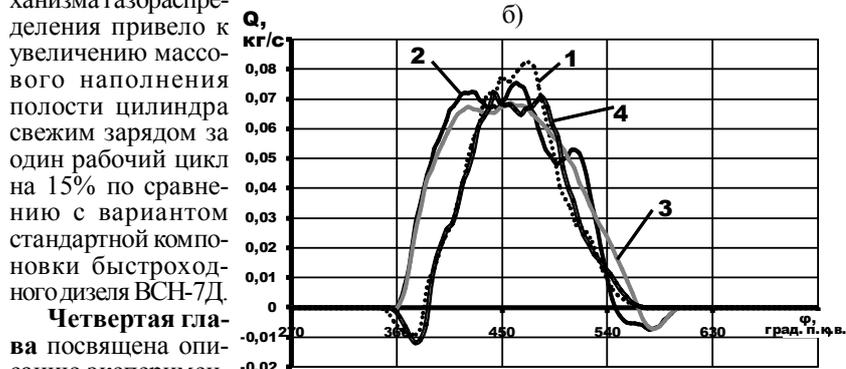
К аналогичным выводам приводит анализ кривых массового расхода для II и III сечений (рис. 10. б, в). Проведенные расчеты и анализ полученных закономерностей позволяют сделать следующие выводы: применение модернизированного профиля кулачков ГРМ позволяет оптимизировать процесс впуска за счет уменьшения гидросопротивлений в сечении клапанной щели в начале процесса впуска и увеличения скорости открытия впускного клапана на участке ускоренного движения поршня к НМТ; использование предложенного впускного винтового канала позволило улучшить газодинамические характеристики впускного тракта за счет ус-



а)



б)



в)

транения несоответствия минимальной площади проходного сечения канала и площади клапанной щели; совместное использование предложенных профилей кулачков ГРМ и формы впускного канала позволило оптимизировать согласование характеристик работы кривошипно-шатунного механизма и механизма газораспределения с законом движения заряда по органам впуска на базе совмещения их характеристик.

Применение предложенной компоновки органов впуска и узлов механизма газораспределения привело к увеличению массового наполнения полости цилиндра свежим зарядом за один рабочий цикл на 15% по сравнению с вариантом стандартной компоновки быстроходного дизеля ВСН-7Д.

Четвертая глава посвящена описанию экспериментальной установки для экспериментальных исследований быстрогоходного дизеля ВСН-7Д.

Рис. 10. Средние значения массового расхода заряда для проведенных четырех расчетов: 1- модерн. канал, станд. профиль; 2- модерн. канал, модерн. профиль; 3- станд. канал, 4- модерн. профиль, 4- станд. канал, станд. профиль.

Использовавшийся для проведения исследований испытательный тормозной стенд с электробалансирной машиной был оборудован необходимой измерительной и контрольной аппаратурой, обеспечивающей высокую точность измерений.

Разработаны программные средства для измерения и обработки основных показателей рабочих процессов быстроходного дизеля.

Условия проведения испытаний, испытательные стенды и аппаратура, методы и правила проведения испытаний, обработка результатов испытаний и комплектация быстроходного дизеля соответствовали требованиям ГОСТ-14846-81, 51998-2002, 20000-88, 18509-88, отраслевым стандартам, руководствам на испытания.

Примененное в ходе экспериментальных работ оборудование позволило корректно проводить: - моторные испытания с прокручиванием вала быстроходного дизеля от постороннего источника; - моторные испытания быстроходного дизеля под нагрузкой.

Точность измерений показателей рабочего процесса, теплового состояния и эффективных показателей быстроходного дизеля оценены по средней квадратичной погрешности. Результаты расчета погрешностей приведены в таблице, где показано, что относительные ошибки измерений наиболее важных показателей не превышают значений, оговоренных в стандарте на испытания двигателей.

В пятой главе представлены основные результаты опытных данных в ходе экспериментальных исследований быстроходного дизеля ВСН-7Д.

Программа испытаний предусматривала снятие внешних скоростных, а также нагрузочных характеристик быстроходного дизеля при частоте вращения коленчатого вала $n = 2100, 2300, 3000 \text{ мин}^{-1}$. Порядок снятия скоростных и нагрузочных характеристик соответствовал ГОСТ 14846-81 и 18509-88.

Анализ кривых скоростной характеристики показывает (рис. 11), что применение модернизированного впускного винтового канала совместно с использованием нового профиля кулачков приводит к повышению энергетических и экономических показателей быстроходного дизеля ВСН-7Д.

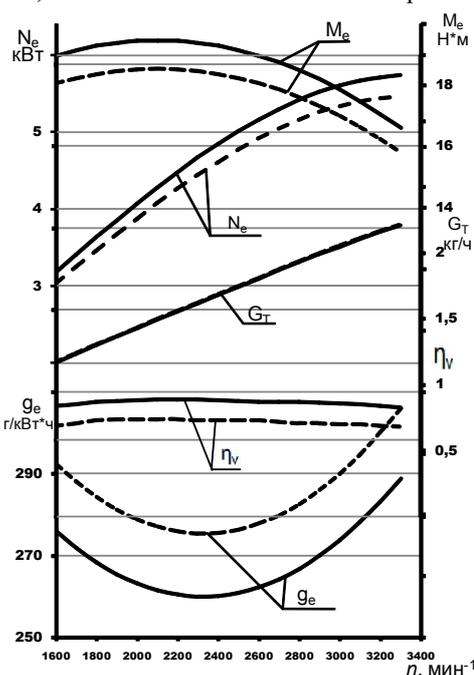


Рис. 11. Внешние скоростные характеристики:
 — — стандартный двигатель;
 — — модернизированный двигатель.

Максимальный крутящий момент стандартного двигателя составил 18,52 Н*м при частоте $n = 2100$ мин⁻¹. Максимальная мощность, достигнутая при этом – 5,46 кВт при $n = 3300$ мин⁻¹. Для модернизированного двигателя максимальный крутящий момент увеличился до 19,45 Н*м, а эффективная мощность возросла до 5,75 кВт.

Эти величины хорошо согласуются с ожидаемыми, а именно, увеличение мощностных параметров модернизированного варианта примерно на 5,5%, что связано с улучшением процесса впуска.

Эффективный удельный расход топлива для варианта с модернизированным двигателем уменьшился на 5,5% по сравнению с вариантом для стандартного двигателя и составил 260 г/кВт*ч. Улучшение топливной экономичности быстроходного дизеля связано с улучшением мощностных показателей вследствие оптимизации процесса впуска. Наилучшая топливная экономичность двигателя достигается в обоих вариантах на частоте вращения 2300 мин⁻¹.

На графиках (рис. 12) представлены нагрузочные характеристики быстроходного дизеля ВСН-7Д.

Общий обзор нагрузочных характеристик показывает, что для варианта с модернизацией дизеля достигается улучшение топливной экономичности на 5,5%.

Для частоты вращения $n = 2100$ мин⁻¹ (рис. 12. а) минимальный удельный расход топлива для стандартного варианта равен 277,1 г/кВт*ч, а для модернизированного варианта - 261,5 г/кВт*ч. Достигается это в первую очередь за счет улучшения газодинамических характеристик впускного тракта двигателя, а во вторую очередь, за счет согласованности законов движения впускного и выпускного клапана с законом движения деталей кривошипно-шатунного механизма.

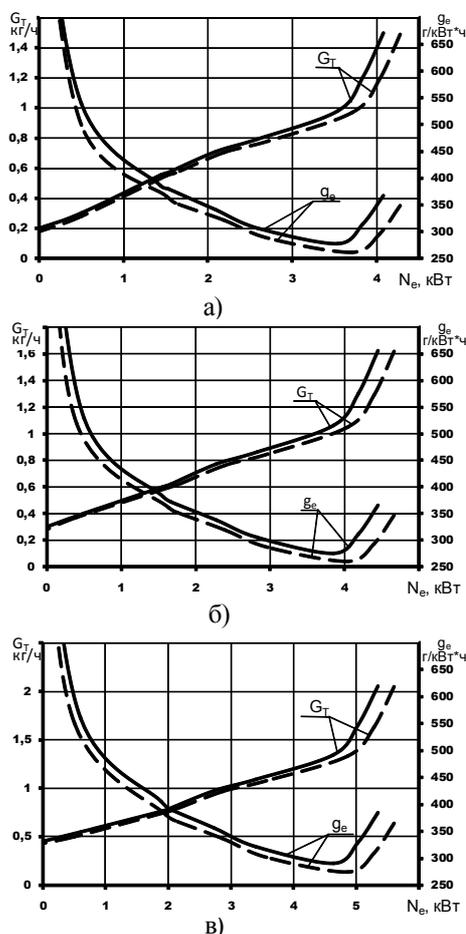


Рис. 12. Нагрузочные характеристики:
 — стандартный двигатель;
 - - модернизированный двигатель.

На последующих нагрузочных характеристиках для частоты вращения $n = 2300, 3000 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 12. б, в) характер изменения кривых не изменяется, на всех скоростных режимах модернизация двигателя приводит к улучшению его топливной экономичности. Наименьший удельный расход топлива наблюдается на частоте вращения $n = 2300 \text{ мин}^{-1}$ и составляет $259,9 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана методика расчета процесса впуска быстроходного дизеля с использованием совмещенных характеристик ГРМ и органов впуска;

2. Разработан комплекс программных средств, позволяющих производить качественную и количественную оценку процесса наполнения быстроходного дизеля с визуализацией векторов физических параметров рабочего тела по сечениям или по поверхностям области расчета.

3. Проведены тестовые расчеты процесса впуска быстроходного дизеля, позволяющие определять термодинамические параметры состояния рабочего тела, находящегося в области расчета. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными позволили сделать вывод о корректности применения разработанной методики расчета процесса впуска. Погрешность отклонения расчетных величин от экспериментальных составляет не более 1,5%. Результаты расчета могут быть использована для САПР быстроходного дизеля.

4. Проведен сравнительный расчет процесса впуска быстроходного дизеля для различных вариантов формы впускного канала и профилей кулачка ГРМ. Использование сконструированной формы впускного канала привело к уменьшению максимальной скорости движения заряда на 5%. При этом произошло увеличение массового наполнения на 8%, а коэффициент наполнения увеличился с $\eta_v = 0,74$ до $\eta_v = 0,82$.

Применение разработанного профиля кулачков привело к уменьшению максимальной скорости движения заряда на 3%. При этом произошло увеличение массового наполнения на 7%, а коэффициент наполнения увеличился с $\eta_v = 0,74$ до $\eta_v = 0,81$.

Совместное использование разработанных органов впуска и профиля кулачков ГРМ привело к увеличению массового наполнения полости цилиндра свежим зарядом за один такт впуска на 15% по сравнению со стандартным вариантом расчета быстроходного дизеля. Коэффициент наполнения составил при этом $\eta_v = 0,89$.

5. Разработан и внедрен исследовательский программно-аппаратный комплекс, предназначенный для измерений и обработки основных показателей рабочих процессов быстроходного дизеля, включающий в себя модули по тарировки применяемого шлейфа датчиков, а также модули для записи сигналов с шлейфа датчиков и обработки полученных результатов.

6. Проведены сравнительные моторные исследования, показывающие, что при совершенствовании процесса впуска быстроходного дизеля происходит увеличение его выходных показателей: эффективная мощность N_e увеличивается с 5,46 кВт до 5,75 кВт на 5,4%, эффективный крутящий момент M_e - с 18,52 Н*м до 19,45 Н*м на 5,05%, при этом топливная экономичность улучшилась с 275 г/кВт*ч до 260 г/кВт*ч на 5,5%.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Дыдыкин А.М. Расчетно-экспериментальные исследования процессов газообмена ДВС. / Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А. //Монография, г.Н.Новгород, НГСХА, 2010г. С. 211.
2. Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А. Математическое моделирование процесса газообмена ДВС. Монография, г.Н.Новгород, НГСХА, 2007г. С. 174.
3. Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А. Газодинамические исследования ДВС методами численного моделирования // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2008, №4, С. 29-31.
4. Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А. Математическое моделирование процесса газообмена дизеля ВСН-7Д // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2008, №7, С. 30-33.
5. Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А. Моделирование процессов газообмена быстроходного дизеля // Нива Поволжье, 2009, №10, С.61-66.
6. Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А. Модернизация системы впуска быстроходного дизеля // Нива Поволжье, 2009, №10, С.66-71.
7. Дыдыкин А.М., Акимов А.П., Жолобов Л.А., Селиверстов А.В. Индцирование процесса впуска в ДВС и методика обработки результатов испытаний // Материалы VIII Международной научно-практической конференции, г.Владимир, 2001, С. 145-150.
8. Дыдыкин А.М., Акимов А.П., Жолобов Л.А. Оценка расхода газа через систему впуска // Материалы международной IX научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей", г.Владимир, 2003, С. 246-249.
9. Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А., Шарков В.В. Построение комплексного измерительного стенда для ДВС // Труды научной конференции по радиофизике, ННГУ, г.Н.Новгород, 2003, С. 301-303.
10. Дыдыкин А.М., Акимов А.П., Жолобов Л.А. Применение системы LAB VIEW для стендовых испытаний двигателей внутреннего сгорания / / Сборник научных трудов, Выпуск 1, М.: Издательство МГОУ, 2003, С. 5-11.
11. Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А. Теоретические предпосылки к расчету процесса впуска // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: Материалы X Международной научно-практической конференция, г.Владимир, 2005, С. 77-79.
12. Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А. Влияние закона движения впускного клапана на совершенствование процесса впуска малогабаритного дизеля // Материалы XI международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей", г.Владимир, 2008, С. 267-270.
13. Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А., Шмелев В.В. Оптимизация параметров газообмена быстроходного дизеля методами математического моделирования // Материалы XI международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей", г.Владимир, 2008, С. 257-261.
14. Дыдыкин А.М., Жолобов Л.А. Совершенствование процесса впуска быстроходного дизеля за счет изменения профиля кулачков распределительного вала // Гидродинамика больших скоростей, г. Чебоксары, 2008, С. 653-658.

Подписано в печать 20.03.2010г. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл.-печ. л. 1,4. Тираж 100 экз. Заказ 90

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия
603107, г.Н.Новгород, пр. Гагарина, д. 97