**Стадник Артем Владимирович. Повышение эффективности сельскохозяйственных газодизельных тракторов и автомобилей : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01, 05.04.02.- Москва, 2002.- 190 с.: ил. РГБ ОД, 61 02-5/2795-6**

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ВИМ)

*На правах рукописи*



**Стадник Артем Владимирович**

УДК 621.433; 621.486. 631.171:658.011.54

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ**

Специальность: 05.20.01 — Технологии и средства механизации сельского

хозяйства;

05.04.02 — Тепловые двигатели

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук**

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ кандидат технических наук, доцент САВЕЛЬЕВ Г.С.; доктор технических наук, РУСАНОВ В.А.

Москва — 2002

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Стр.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ 5

ВВЕДЕНИЕ 8

[Глава 1. АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ 10](#bookmark1)

1. Г азообразные топлива, их моторные и эксплуатационные свойства 10
2. [Технико-экономические предпосылки конвертирования автотракторных дизелей в газодизели 20](#bookmark3)
3. Пути повышения эффективности сельскохозяйственной техники

с газодизельными двигателями 24

1. [Выводы. Цель и задачи исследования 31](#bookmark6)

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ

ПОДАЧИ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ (СПГВС) 34

1. [Разработка математической модели функционирования СПГВС 34](#bookmark105)
2. [Обоснование зависимостей расходов воздуха и газа 36](#bookmark8)
3. Давление в воздушном канале газовоздушного смесителя 44
4. [Давление в выходной полости дозатора газа 47](#bookmark50)
5. Давление во входной полости дозатора газа 54
6. Площадь проходного сечения дозатора газа 55
7. [Влияние загрязнения воздухоочистителя на работу СПГВС 57](#bookmark56)
8. Методика расчета конструктивных параметров узлов СПГВС 62
9. Параметры газовоздушного смесителя 62
10. [Параметры дозатора газа 64](#bookmark65)

Глава 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 75

1. Программа исследований 75
2. Схема и параметры установки, измерительная и регистрирующая аппаратура 76

з

Стр.

1. Методика исследований 85
2. Параметры газов в узлах СПГВС .. 85
3. [Измерение расхода воздуха 86](#bookmark87)
4. Измерение расхода газа 87
5. Показатели работы двигателя 89

Глава 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОТРАКТОРНОГО ГАЗОДИЗЕЛЯ 91

* 1. [Дизельный цикл работы двигателя 91](#bookmark103)
     1. [Характеристика базового дизеля 91](#bookmark101)
     2. [Характеристика конвертированного газодизеля 91](#bookmark102)
  2. Газодизельный цикл работы двигателя 94
     1. Данные для проверки и корректирования математической

модели функционирования СПГВС 94

* + 1. [Проверка и корректирование математической модели функционирования СПГВС 99](#bookmark104)
    2. Оценка соотношения перепадов давления в газовой

магистрали СПГВС 111

* + 1. [Оптимизация конструктивных параметров узлов СПГВС газодизеля Д-245 114](#bookmark115)
    2. [Характеристика газодизеля с оптимизированной СПГВС 122](#bookmark117)
    3. [Оценка погрешностей измерений 125](#bookmark118)
  1. Результаты испытаний сельскохозяйственной газобаллонной техники

с усовершенствованной характеристикой газодизелей 129

[Глава 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОГРУЗКИ ТРАКТОРА Т-150К ГАЗОВЫМИ БАЛЛОНАМИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВЫ ПО ЕГО СЛЕДАМ 131](#bookmark125)

Стр.

Глава 6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕ­ОБОРУДОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ РАБОТЫ ПО ГАЗОДИЗЕЛЬНОМУ ЦИКЛУ 138

1. Сельскохозяйственные тракторы 139
2. [Автомобильный транспорт 145](#bookmark136)

[ОБЩИЕ ВЫВОДЫ 147](#bookmark137)

[СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 149](#bookmark138)

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 157

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 158

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 159

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 160

ПРИЛОЖЕНИЕ 5 161

ПРИЛОЖЕНИЕ 6 167

ПРИЛОЖЕНИЕ 7 173

ПРИЛОЖЕНИЕ 8 173

ПРИЛОЖЕНИЕ 9 174

ПРИЛОЖЕНИЕ 10 176

ПРИЛОЖЕНИЕ 11 177

ПРИЛОЖЕНИЕ 12 178

ПРИЛОЖЕНИЕ 13 179

ПРИЛОЖЕНИЕ 14 180

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

**Сокращения**

АГЗС - автомобильная газозаправочная станция;

АГНКС - автогазонаполнительная компрессорная станция; АЗС - автозаправочная станция;

АТП - автотранспортное предприятие;

ГБА - газобаллонная аппаратура;

ГМТ - газомоторное топливо;

ГРНД - газовый редуктор низкого давления;

ДВС - двигатель внутреннего сгорания;

ДТ - дизельное топливо;

КПД - коэффициент полезного действия;

КПГ - компремированный (сжатый) природный газ;

МТА - машинотракторный агрегат;

МЧ - метановое число;

ОГ - отработавшие газы;

04 - октановое число;

ПГ - природный газ;

СНГ - сжиженный нефтяной газ;

СГІГ - сжиженный природный газ;

СПГВС - система подачи газовоздушной смеси;

СХП - сельскохозяйственное предприятие;

ТНВД - топливный насос высокого давления;

ТО - техническое обслуживание;

ЦЧ - цетановое число.

**Условные обозначения**

*А* - площадь;

С - постоянная величина;

*F -* сила;

*G* - массовый расход;

*Н'* - низшая теплота сгорания топлива;

*Км -* коэффициент запаса крутящего момента;

*М-* масса;

*Мк* - крутящий момент на валу двигателя;

*Ne* - эффективная мощность двигателя;

*Q* - расход тепла двигателем;

*R -* универсальная газовая постоянная, радиус;

*Т -* температура по абсолютной шкале;

*V6 -* объем баллона-расходомера;

*X* - ход (перемещение) регулирующего органа дозатора газа; *а* - опытный коэффициент; *b* - опытный коэффициент; *ср -* изобарная теплоемкость; *су-* изохорная теплоемкость; *d -* диаметр;

*ge -* удельный расход топлива в дизельном цикле; *h -* высота столба жидкости в пьезометре; *к -* показатель адиабаты;

/ - длина;

*п -* частота вращения коленчатого вала двигателя;

*р -* абсолютное давление;

*р’* — разрежение;

*р" —* избыточное давление;

*р\** - полное давление;

*Ар -* перепад давления; *г -* радиус;

*t* - температура по шкале Цельсия;

*а -* коэффициент избытка воздуха,

угол наклона образующей регулирующего конуса дозатора газа; *[і* - угол наклона фаски седла дозатора газа; *у -* коэффициент расхода;

*S -* относительная погрешность; *є -* коэффициент сжимаемости; *rje* - эффективный КПД;

- коэффициент наполнения цилиндров двигателя;

*/и* - молярная масса; *р -* плотность; *гоп -* время опыта;

*X -* опытный коэффициент; *ц/ -* опытный коэффициент;

**Индексы**

О - окружающая среда;

1. .VII - характерные сечения СПГВС;

ГД - газодизельный цикл;

Д - дизельный цикл;

Мтах - режим максимального крутящего момента; в - воздух; г - газ;

к - регулирующий конус дозатора газа;

кор - корректорная ветвь характеристики двигателя;

ном - номинальный режим работы двигателя;

per - регуляторная ветвь характеристики двигателя;

с - седло дозатора газа;

см - газовоздушная смесь;

т - дизельное топливо;

£ - обозначение суммарного хода регулирующего конуса дозатора.

**ВВЕДЕНИЕ**

Замена дорогостоящих светлых нефтепродуктов природным газом (ПГ) является общегосударственной задачей, принятой Правительством РФ в постановлении № 31 от 15.01.93 г. «О неотложных мерах по расширению за­мещения моторных топлив природным газом» и «Комплексной программе по использованию газа в качестве моторного топлива на транспорте» [36].

Цена компремированного природного газа (КПГ) в 2...4 раза ниже це­ны дизельного топлива (ДТ). Поэтому при переоборудовании сельскохозяйст­венных тракторов и автомобилей для работы по газодизельному циклу снижаются затраты в себестоимости сельскохозяйственной продукции на топ­ливо, которые в настоящее время достигают 50 %.

На первом этапе становления технологий снабжения газомоторным топливом (ГМТ) для дизелей сельскохозяйственной техники предпочтитель­на конвертация в газодизели, способные работать как по газодизельному, так и по дизельному циклу. При этом целесообразно переоборудование дизеля в газодизель с комбинированным смесеобразованием (внешним по ПГ и внут­ренним по ДТ), которое не требует дорогостоящего изменения конструкции основных деталей и узлов двигателя [51]. Для этого необходимо внести кон­структивные изменения в систему питания базового дизеля, обеспечивающие требуемую подачу газа и запального дизельного топлива в газодизельном цикле. Подачу и дозирование газа осуществляют при помощи системы пода­чи газовоздушной смеси (СПГВС), взаимодействующей с регулятором часто­ты вращения.

При переоборудовании сельскохозяйственной техники для работы по газодизельному циклу, должна быть обеспечена номинальная мощность кон­вертированного газодизеля на уровне базового дизельного двигателя. При этом также важно обеспечение номинального коэффициента запаса крутяіце-

го момента, регламентированного для двигателей сельскохозяйственных тракторов и комбайнов ГОСТ 20000—88.

До настоящего времени исследован рабочий процесс газодизельного двигателя и обоснованы направления его совершенствования по экономиче­ским и экологическим показателям [37, 58, 60], что дает возможность улуч­шения, прежде всего, камер сгорания и аппаратуры подачи дизельного топлива.

Обеспечение требуемой характеристики автотракторного газодизеля и, следовательно, номинального коэффициента запаса крутящего момента, зави­сит от совместной работы СПГВС и регулятора частоты вращения вала двига­теля. Ввиду отсутствия исследований функционирования СПГВС проектирование ее узлов оказывалось невозможным и СПГВС автотрактор­ных газодизелей создавались способом экспериментальной доводки. Этот способ требует больших материальных затрат, кроме того он не всегда обес­печивает достижение требуемого номинального коэффициента запаса крутя­щего момента.

В целях эффективного переоборудования сельскохозяйственной тех­ники для работы по газодизельному циклу в настоящей работе проведены ис­следования по обеспечению требуемой характеристики автотракторного газодизеля.

Переоборудование тракторов для работы по газодизельному циклу связано с установкой на них группы газовых баллонов относительно большой массы. В связи с этим, в данной работе проведены исследования влияния веса газобаллонной установки на агротехнические показатели сельскохозяйствен­ного трактора по воздействию на почву, которое ограничено ГОСТ 26955—86.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Повышение эффективности использования сельскохозяйственных газобаллонных тракторов и автомобилей возможно за счет совершенствова­ния характеристик газодизельных двигателей и обеспечения допустимого воздействия этой техники на почву.
2. Разработана математическая модель функционирования системы подачи газовоздушной смеси (СПГВС) автотракторного газодизеля с усовер­шенствованной характеристикой, устанавливающая взаимосвязь эксплуата­ционных показателей газодизеля с газодинамическими и термодинамическими параметрами воздуха и газа. Значение номинальной мощности и коэффициента запаса крутящего момента усовершенствованной характеристики автотракторного газодизеля не ниже, чем у характеристики базового дизельного двигателя.
3. Установлено, что основным методом регулирования автотракторно­го газодизеля, обеспечивающим получение требуемой характеристики двига­теля, является качественное регулирование с возможностью дросселирования газовоздушной смеси на режимах малых нагрузок.
4. Расчетно-экспериментальные методы оптимизации конструктивных параметров узлов СПГВС, разработанные на основании математической мо­дели ее функционирования, обеспечивают расчет параметров газовоздушного смесителя и дозатора газа при минимальном объеме стендовых испытаний двигателя. Оптимизированные конструктивные параметры СПГВС газодизеля Д-245 следующие:

* площадь воздушного канала смесителя 1280 мм2;
* диаметр седла регулирующего конуса дозатора 16,2 мм;
* ход конуса на регуляторной ветви характеристики 1,9 мм;
* ход конуса на корректорной ветви характеристики 1,0 мм;
* угол наклона образующей регулирующего конуса дозатора 33°.

1. Характеристика газодизеля Д-245 с оптимизированными конструк­тивными параметрами СПГВС соответствует характеристике базового дизеля. Номинальный коэффициент запаса крутящего момента газодизеля имеет зна­чение 0,16, что соответствует ГОСТ 20000—88.
2. Эксплуатационными испытаниями грузового автомобиля ЗИЛ-5301 АО, оборудованного газодизелем Д-245 с усовершенствованной характери­стикой, определено, что на маршруте общей протяженностью 18 тыс. кило­метров конвертированный газодизель автомобиля замещает 50% дизельного топлива газовым, что соответствует результатам теоретических расчетов.
3. Материалами государственных приемочных испытаний газобаллон­ного трактора Т-150К с усовершенствованной характеристикой газодизеля СМД-62 установлено, что производительность МТА в газодизельном цикле работы по сравнению с дизельным повышается на вспашке на 6,1%, на транспортных работах на 11,6%. При этом на вспашке замещается 66,0% ди­зельного топлива газовым; на транспортных работах - 45,2 %.
4. Сравнительными полевыми исследованиями определено, что догрузка заднего моста трактора Т-150К газовыми баллонами не приводит к увеличению плотности почвы высокой влажности. На стерне с влажностью физической спелости почвы наблюдается некоторое ухудшение почвенных характеристик: твердость почвы в среднем увеличивается на 7,8%, сопротив­ление вспашке на глубину 25 см - на 2,4%, а коэффициент крошения пласта снижается на 3,9%. Эти негативные эффекты при использовании газобаллон­ного трактора Т-150К устраняются использованием шин 66x43,00R25.
5. Годовой экономический эффект от переоборудования для работы по газодизельному циклу трактора «Беларус-1021» составляет 33857 руб., что эквивалентно экономии 4575 л дизельного топлива, а автомобиля ЗИЛ-5301 АО — 8100 руб., что эквивалентно экономии 1095 л дизельного топлива. Сроки окупаемости затрат на переоборудование трактора «Беларус-1021» и автомобиля ЗИЛ-5301 АО — 1,0 и 2,4 года соответственно.

149

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. — 4-е изд., перераб. и доп. -— М.: Наука, 1976. — 888 с.
2. Алеев В.З., Савельев Г.С. Современные газовые двигатели для тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин. — М.: ВНИИТЭИСХ, 1976. — 66 с.
3. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника: Учеб. пособие. — М.: Высш. школа, 1980. — 552 с.
4. Базаров И.П. Термодинамика: Учеб. пособие для ун-тов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1976. — 447 с.
5. Белоконь Н.И. Основные принципы термодинамики. — М.: Недра, 1968.— 110 с.
6. Белявцев А.В., Процеров А.С. Топливная аппаратура автотрактор­ных дизелей: Конструктивные особенности и эксплуатация. — М.: Росагро- промиздат, 1988. — 223 с.
7. Бордуков В.Т. Дизели и газовые двигатели. — М.: ЦНИИТЭИтяж- маш, 1991. — 191 с.
8. Бошняк Л.Л. Измерения при теплотехнических исследованиях. — Л.: Машиностроение, 1974. —448 с.
9. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. — 7-е изд., стереотипное. — М.: Госиздат технико-теоретической литературы, 1957. — 608 с.
10. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Физматгиз, 1963. — 708 с.
11. Васильев Ю.Н., Гриценко А.И., Золотаревский Л.С. Транспорт на газе. — М.: Недра, 1992. — 342 с.
12. Васильев Ю.Н., Золотаревский Л.С., Ксенофонтов С.И. Газовые и газодизельные двигатели. — М.: ВНИИЭГазпром, 1992. — 126 с.
13. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика: Учеб. пособие *для* вузов. — М.: Машиностроение, 1972. — 672 с.
14. Газобаллонные автомобили: Справочник / А.И.Морев, В.И.Ерохов, Б.А.Бекетов и др. — М.: Транспорт, 1992. —• 175 с.
15. Генкин К.И. Газовые двигатели. — М.: Машиностроение, 1977. —

196 с.

1. Горлин С.М. Экспериментальная аэромеханика: Учеб. пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1970. — 423 с.
2. Горлин С.М., Слезингер И.И. Аэромеханические измерения: мето­ды и приборы. — М.: Наука, 1964. — 720 с.
3. Горшков С.А. Исследование и оптимизация параметров смесителя для двигателя газобаллонного автомобиля. — Дис... канд. техн. наук:
4. — Горький, 1980.
5. ГОСТ 305-82. Топливо дизельное. Технические условия.
6. ГОСТ 18509—88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний.
7. ГОСТ 20000—88. Дизели тракторные и комбайновые. Общие тех­нические условия.
8. ГОСТ 23728—88 — ГОСТ 23730—88. Техника сельскохозяйст­венная. Методы экономической оценки.
9. ГОСТ 26955—86, ГОСТ 26953—86, ГОСТ 26954—86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. Методы определения воздействия движителей на почву. Метод определения максимального нормального напряжения в почве.
10. ГОСТ 27577-—91. Газ природный топливный сжатый для газобал­лонных автомобилей.
11. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбини­рованных двигателей. Учебник для втузов. — 4-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. — М.: Машиностроение, 1983. — 372 с.
12. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для втузов. — 3-є изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. — М.: Машиностроение, 1980, —288 с.
13. Дизели Д-240, 245 и их модификации. Инструкция по эксплуата­ции. — Мн.: Ураджай, 1990. — 104 с.
14. Дизели. Справочник. — 3-є изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. В.А.Ваншейдта, Н.Н.Иванченко, Л.К.Коллерова. — Л.: Машиностроение, 1977.—480 с.
15. Единицы, величины, уравнения и их практическое использование: Пер. Л.С. Пригожего с 3-го нем. испр. изд. / Ферстер Г.; Под ред. П.Н.Селиванова, Н.А.Ерюхиной. — К.: Висша. школа, 1984. — 199 с.
16. Загородских Б.П., Хатько В.В. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых двигателей. — М.: Россельхоз- издат, 1986. —-142 с.
17. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. -— 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1981. — 160 с.
18. Использование природного газа в качестве топлива для тракторов / В.М.Володин, П.Д.Лупачев, В.В.Корницкий и др. // Обзорная информ: Сер. 1 Тракторы и двигатели. М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1989. — Вып. 1. — 28 с.
19. Кираковский Н.Ф. Стационарные газовые двигатели. — К.: Маш- гиз, 1953. 280 с.
20. Коллеров Л.К. Газовые двигатели поршневого типа. — Л.: Маш- гиз, 1955. — 212 с.
21. Коллеров Л.К. Энергетические установки с газовыми поршневыми двигателями. — М.: Машиностроение, 1986. — 248 с.
22. Комплексная программа по использованию газа в качестве мотор­ного топлива на транспорте. — М., 1994. — 32 с.
23. Красовский О.Г., Матвеев В.В. Численное моделирование рабоче­го процесса дизелей, газовых двигателей и газодизелей // Двигателестроение.

* 1990,—№ 11. с 11...13.

1. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двига­телей внутреннего сгорания: Учебник для студентов вузов. — 5-е изд., пере- раб. и доп. — М.: Машиностроение, 1989. — 416 с.
2. Крылов А.В. Разработка газодизельного процесса с внутренним смесеобразованием и комплексная оценка его экологических и экономиче­ских качеств. — Дис. канд. техн. наук: 11.00.11. — М., 1998.
3. Кузнецов Л.Г. Совершенствование рабочих процессов и конструк­ции газовой аппаратуры автомобильного двигателя внутреннего сгорания. — Дис... канд. техн. наук: 05.04.02. — М., 1994.
4. Кухлинг X. Справочник по физике: Пер. с нем. — М.: Мир, 1982.

* 520 с.

1. Мамедова М.Д. Работа дизеля на сжиженном газе. — М.: Машино­строение, 1980. — 149 с.
2. Мельников Д.В. Улучшение топливных и экологических показа­телей газодизеля RABA-MAN путем совершенствования системы питания: Автореф. дис... канд. тех. наук: 05.04.02. — СПб., 2001. —- 24 с.
3. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. — М., 1998.
4. Морев А.И., Ерохов В.И. Эксплуатация и техническое обслужива­ние газобаллонных автомобилей: Учеб. пособие для проф. обучения рабочих на пр-ве. — М.: Транспорт, 1988. — 184 с.
5. Никифоров А.Н., Сапьян Ю.Н., Зубов Н.И. Определение расхода топлива и скорости движения МТА аналитическим методом // Научные тру­ды ВИМ, т. 109. — М., 1986. — с. 81...91.
6. Патрахальцев Н.Н. Применение альтернативных топлив в дизелях. — М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1983. — 82 с.
7. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. — JL: Машиностроение, 1965. —480 с.
8. Потапов В.Н., Панов А.В. Опыт внедрения технологии использо­вания природного газа в качестве моторного топлива в сельском хозяйстве на примере СПК «Воронежский». // Сборник научных докладов Международ­ной научно-практической конференции «Земледельческая механика в расте­ниеводстве». Том 6. — М.: ВИМ, 2001. — с. 138...145.
9. Природный газ в двигателях / А.П.Кудряш, В.В.Пашков, В.С.Маринин и др. — К.: Наукова думка, 1990. — 200 с.
10. Природный газ как моторное топливо на транспорте / Ф.Г.Гайнуллин, А.И.Гриценко, Ю.Н.Васильев, Л.С.Золотаревский. — М.: Недра, 1986. — 255 с.
11. Программа и методика комплексных исследований по изучению влияния ходовых систем сельскохозяйственных тракторов, комбайнов и тракторных средств на почву. — М.: ВИМ, 1978, 367 с.
12. Равич М.Б. Газ и его применение в народном хозяйстве. — М.: Наука, 1974. — 366 с.
13. Райков И .Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания: Учеб­ник для вузов. — М.: Высш. школа, 1975. — 320 с.
14. Руководство по организации и проведению переоборудования тракторов для работы на компремированном природном газе / Г.С.Савельев, В.В.Подосинников, А.Д.Шапкайц, и др. — М.: ВНИИГАЗ, 2000. — 80 с.
15. Русанов В.А. Механико-технологические решения проблемы воз­действия движителей полевой техники на почву. — Дис. канд. техн. наук: 05.20.01. —М., 1996.
16. Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эф­фективные пути ее решения. — М.: ВИМ, 1998. — 368 с.
17. Рыспанов Н.Б. Расчетно-экспериментальное исследование влияния запальной дозы топлива на рабочий процесс газожидкостного двигателя // Двигателестроение. — 1991. — № 6. с 7...8.
18. Савельев Г.С., Шапкайц А.Д., Стадник А.В. Математическая мо­дель системы подачи газовоздушной смеси автотракторного газодизеля. // Сборник научных докладов Международной научно-практической конфе­ренции «Земледельческая механика в растениеводстве». Том 6. — М.: BUM, 2001. —с. 145...151.
19. Седелев К.П. Конвертирование дизеля с наддувом и полуразде- ленной камерой сгорания в газодизель модернизацией топливоподающей системы. — Дис... канд. техн. наук: 05.04.02. — Челябинск, 1998.
20. Стадник А.В. Выбор системы регулирования автотракторного га­зодизеля // Научные труды ВИМ, т. 134, часть II. — М., 2001. — с. 102...107.
21. Тракторы, работающие на газомоторном топливе / Г.С.Савельев,
22. Д.Шапкайц, В.В.Подосинников, Е.Т.Кауров, И.Г.Багдасаров, А.А.Балуев,
23. А.Демидов, И.JT.Дьяченко, А.В.Стадник // Научные труды ВИМ т. **137.** — М., **2000.** — **С.140...147.**
24. Трушин В.И. Газовое оборудование и арматура для газобаллонных автомобилей. — JL: Недра, 1990. — 151 с.
25. Федоров В.М. Методические основы разработки на базе дизелей малотоксичных двигателей, питаемых природным газом. — Дис... канд. техн. наук: 05.04.02,—М., 1998.
26. Хабатов Р.Ш., Золотаревская Д.И., Матвеев В.Н., Трушин В.Г., Трушин Г.А., Лядин В.Н. Закономерности деформирования тракторных ко­лес с пневматическими шинами. //Известия ТСХА, 1987, № 3, с. 173...180.
27. Цитович Н.А. Механика грунтов. — М.: Высшая школа, 1983. —

288 с.

1. Чириков К.Ю., Пронин Е.Н. Перспективы применения СПГ на транспорте //Газовая промышленность, 1999 — октябрь, с. 28...29.
2. Шкаликова В.П., Патрахальцев Н.Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: УДН, 1993. — 64 с.
3. Batel W. Альтернативные топлива для сельскохозяйственной тех­ники. — Landtechnik, 1982. N 6. р. 18.
4. Hakansson I. A Method for Characterizing the State of Compactness of an Arable Soil. Catena Supplement 11. Braunshweid 1988. p. 101... 105.
5. Interchangeability of gaseous fuels - The importance of the Wobbe- index. Klimstra Jacob. «SAE Techn. Pap. Ser». — 1986. N 861578. — lip.
6. International Journal Hydrogen, 1987, N 7, p. 481 ...499.
7. Journal Marine Engineering Society of Japan, 1988, N 4, p, 251.. .256.
8. Williams Mech. The modem diesel. Development and design. — L.; Newnes-Butterworths, 1972. — 248 p.
9. A.c. № 480851 (СССР). Система питания и регулирования газо­жидкостного двигателя / Авт. изобрет. В.Г.Высочанский, С.И.Головков, Ю.В.Михайловский. — Опубл. в Б.И., 1975, № 30.
10. А.с. № 1407621 (СССР). Газодизель / Авт. изобрет. Ю.Н.Васильев, П.М.Мужиливский, JI.C.Золотаревский, В.И.Федоткин, С.И.Ксенофонтов. — Опубл. в Б.И., 1990, № 37.
11. А.с. № 1650933 (СССР). Система подачи жидкого и газообразного топлива в газодизель / Авт. изобрет. Ю.Н.Васильев, П.М.Мужиливский, Л.С.Золотаревский, В.И.Федоткин, С.И.Ксенофонтов. — Опубл. в Б.И., 1991, № 19.
12. Пат. № 3406666 (США). Система регулирования подачи топлива газодизеля / Авт. изобрет. В.С.Зеркалий, А.И.Домрачев, А.П.Кудряш и др. — Опубл. в Б.И., 1988, № 32.
13. Пат. № 4476827 (США). Устройство для регулирования подачи жидкого и газообразного топлива в двигатель внутреннего сгорания / П.Я.Асташев, Г.С.Корнилов, А.П.Кратко и др. — Опубл. в Б.И., 1986, № 41.
14. Пат. 1415252 (Великобритания). Устройство для регулирования одновременной подачи жидкого и газообразного топлива в двигатель внут­реннего сгорания / Г.В.Скречко, Б.И.Прудников, А.А.Романов и др. — Опубл. вБ.И., 1986, № 18.
15. Пат. № 2131052 (Россия). Система регулирования газового дизеля /

В.В.Подосинников, И.Л.Дьяченко, В.М.Тюрин. — Опубл. в Б.И., 1999, № 15.