

На правах рукописи

БУНОВА Елена Вячеславовна

СНИЖЕНИЕ САЖЕСОДЕРЖАНИЯ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ
ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ
СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ И СГОРАНИЯ

Специальность 05 04 02 - "Тепловые двигатели"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1996

Работа выполнена в Челябинском государственном техническом университете (ЧГТУ).

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Шароглазов Б. А.

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук,
заслуженный деятель науки РФ
Кукис В.С.;
доцент, кандидат технических наук,
Зайцев Л.К.

Ведущая организация - ОАО "Челябинский тракторный завод".

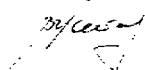
Защита состоится "___" _____ 1996, в ___ часов, на заседа-
нии диссертационного совета К0531302 Челябинского государственно-
го технического университета, по адресу: 454080, пр.им. В.И.Лени-
на, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧГТУ.

Автореферат разослан "___" _____ 1996.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные пе-
чатью, просьба направлять по адресу: 454080, пр.им.В.И.Ленина,
76, ЧГТУ, ученому секретарю диссертационного совета К0531302.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доцент. К.Т.В.



Жестков В.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Важнейшей составной частью энергетического комплекса страны являются дизельные двигатели, анализ перспектив развития которых показывает, что они сохраняют доминирующее положение в обозримом будущем благодаря их наиболее высокой экономичности по сравнению с другими тепловыми двигателями. В этой связи особое значение приобретают работы по улучшению энергетических, экономических, эксплуатационных и экологических характеристик тракторных дизелей. Однако, если два-три десятилетия тому назад на первом плане были энергетические, а в последнее время - экономические характеристики дизеля, то в настоящее время большое внимание уделяется снижению токсичности отработавших газов (ОГ).

Улучшение экологических характеристик дизелей и, в частности, снижение сажесодержания в ОГ во многом определяется степенью совершенства рабочего цикла и, в первую очередь, процессов смесеобразования и сгорания. Необходимость снижения сажесодержания в ОГ дизелей обуславливается потребностью повышения экономичности работы дизеля и снижения токсичности ОГ. Кроме того, сажа, попадая в масло, вызывает его загрязнение и пригорание, а, оседая на стенках цилиндра, поршня, головки и клапанах, способствует образованию нагара, ухудшающего условия работы этих деталей.

Качество процессов смесеобразования и сгорания зависит от факторов, влияющих на условия, в которых они протекают, а именно: свойства топлив, форма камеры сгорания, системы питания топливом и воздухом и т. д..

Диссертационная работа посвящена вопросу исследования возможности снижения сажесодержания в ОГ тракторного дизеля, воздействуя на факторы, улучшающие условия смесеобразования и сгорания. В качестве объекта исследования выбраны дизели ОАО "Челябинский тракторный завод", широко применяемые на тракторах, строительных, дорожных и других машинах. Большое народно-хозяйственное применение этих дизелей (в промышленности, шахтах, карьерах) явилось основной причиной выбора их в качестве объекта исследования.

Цель работы. Снижение сажесодержания в ОГ тракторного дизеля на базе научных основ, позволяющих создать методику определения и

прогнозирования сажесодержания в ОГ, функциональные зависимости сажесодержания от параметров двигателя, а также реализовать способы снижения сажесодержания в тракторном двигателе, воздействуя на факторы, улучшающие условия смесеобразования и сгорания.

Достижение указанной цели предполагает постановку и решение следующих задач:

- разработка методики теоретического определения сажесодержания в ОГ тракторного двигателя;
- проведение расчетно-теоретических исследований по определению влияния конструктивных и эксплуатационных параметров на сажесодержание в ОГ и нахождение их функциональных зависимостей;
- разработка электронного регулятора частоты вращения для управления подачей топлива;
- расчетно-экспериментальные исследования тракторного двигателя без наддува и с наддувом, при работе на различных топливах, с использованием минимизации "потерянных" объемов камеры сгорания и электронного регулятора частоты вращения.

Научную новизну работы представляют:

1. Методика теоретического определения сажесодержания в ОГ двигателя.
2. Расчетно-теоретические зависимости сажесодержания в ОГ от конструктивных и эксплуатационных параметров двигателя.
3. Информация расчетно-теоретических исследований по влиянию на сажесодержание в ОГ конструктивных и эксплуатационных параметров двигателя.
4. Решения по созданию электронного регулятора частоты вращения для управления подачей топлива, защищенные двумя патентами.

Практическую ценность работы составляют:

1. Алгоритм и программа расчета на IBM PC сажесодержания в ОГ двигателя.
2. Применение электронного регулятора частоты вращения для управления подачей топлива на двигателе, обеспечивающего снижение сажесодержания в ОГ на переходных режимах.
3. Результаты расчетно-теоретических и экспериментальных исследований по снижению сажесодержания в ОГ двигателя.

Реализация и внедрение результатов работы.

Результаты диссертационной работы внедряются на ОАО "Челябинский тракторный завод" при модернизации двигателей, поставляемых как на тракторы, так и на дизель-генераторы. Изготовлен образец

электронного регулятора частоты вращения для управления подачей топлива, с которым проводились стендовые и полевые испытания на тракторе Т-170.

Часть исследований и разработок, описанных в диссертационной работе, используются в учебном процессе на кафедре ДВС Челябинского государственного технического университета.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на научно-технических конференциях в Челябинском государственном агроинженерном университете (г. Челябинск, 1995) и в Челябинском государственном техническом университете (г. Челябинск, 1994..96 г.г.)

По результатам исследований опубликовано 3 печатных работы, получены 2 патента, золотая медаль на Российском конкурсе научных студенческих работ в г. Москве и подана одна заявка.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов и рекомендаций, списка использованной литературы из 55 наименований и 2 приложений. Она содержит 115 страниц основного машинописного текста, в том числе: 46 рисунков, 20 таблиц, 4 фотоснимков и 105 страниц основного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации. Снижение сажеобразования в ОГ дизелей - часть широкомасштабной работы, проводимой в нашей стране и за рубежом в области охраны окружающей среды. Снижение сажи в процессе сгорания приводит также к повышению к.п.д. дизеля и увеличению его срока службы.

Первая глава диссертации посвящена анализам причин образования сажи в процессе сгорания, экспериментального и теоретического её определения, описаны основные способы снижения сажеобразования в ОГ, а также представлены цели и задачи исследования.

Анализ рассмотренных работ показал, что причиной образования сажи в дизеле является наличие в камере сгорания гетерогенного заряда, в котором создаются зоны со значительным дефицитом кислорода. Недостаток кислорода в этих зонах обуславливается несовершенством процесса смесеобразования. Сажа может образоваться, кроме того, и в результате охлаждения пламени.

Экспериментальное определение сажесодержания в ОГ требует наличия сложного и дорогостоящего оборудования, а также большой трудоемкости проведения опытов. Существуют теоретические разработки по определению содержания сажи в ОГ дизелей, которые позволяют более глубоко понять причины образования сажи, но их практическое применение ограничено сложностью и точностью. Из литературных источников известно о создании небольшого количества методик по определению сажесодержания в ОГ - это методики Махова В.З., Звонова В.А., Разлейцева Н.Ф., Ватурина С.А., Панасенко Е.В., которые представляют большой теоретический интерес, а также формулы Гутаревича Ю.Ф., Пирульникова Л.М., Остапенко Г.И., Мочешникова Н.А., в которых определение сажесодержания зависит только от коэффициента избытка воздуха.

Обострение экологических проблем диктует необходимость создания доступной методики теоретического определения сажесодержания, учитывающей конструктивные и эксплуатационные параметры, воздействуя на которые можно снизить содержание сажи в ОГ.

Во второй главе изложена разработанная математическая модель определения сажесодержания в ОГ дизеля и проведены расчетно-теоретические исследования по определению влияния конструктивных и эксплуатационных параметров на сажесодержание в ОГ.

При разработке методики определения сажесодержания в ОГ дизеля считается что при неполном сгорании часть углерода выделяется в основном в виде CO_2 и CO , а остальная часть - в виде сажи. Исходя из этого, можно с достаточной точностью определить массовую долю углерода, пошедшую при сгорании в сажу:

$$a_m = 1 - \frac{CO_2 * V_{ог} * \rho_{CO_2} + CO * V_{ог} * \rho_{CO}}{CO_{2пол} * V_{ог} * \rho_{CO_2}} = 1 - \frac{CO_2 * \rho_{CO_2} + CO * \rho_{CO}}{CO_{2пол} * \rho_{CO_2}}, \quad (1)$$

где CO_2 и CO - действительное содержание соответственно углекислого газа и окиси углерода в ОГ, % по объему;

$CO_{2пол}$ - максимальное содержание углекислого газа в ОГ, которое имело бы место при полном сгорании углерода, % по объему;

$V_{ог}$ - объем отработавших газов, $м^3$;

ρ_{CO_2} , ρ_{CO} - плотность CO_2 и CO .

Максимальное содержание углекислого газа в ОГ при полном сгорании топлива определяется по элементарному составу топлива и коэффициенту избытка воздуха. Так, для дизельного топлива со сред-

ним элементарным составом С = 0,86; Н = 0,13; О = 0,01:

$$\text{CO}_2_{\text{пол}} = \frac{7,166}{0,4969\alpha - 0,0322} \cdot \%, \quad (2)$$

где α - коэффициент избытка воздуха.

Для оценки действительного содержания CO_2 и CO в ОГ дизелей могут быть использованы формулы Чурсина М.М., полученные на основании обработки экспериментальных данных по ряду двигателей:

$$\text{CO}_2 = 2A\Phi(1 - e^{(-\Phi/A\Phi_1)}) - \left(\frac{\Phi}{A\Phi_1} + 2\right)\Phi e^{(-\Phi/A\Phi_1)}, \quad (3)$$

$$\text{CO} = \frac{A \cdot B}{\Phi_1} \Phi^2 e^{(-\Phi/A\Phi_1)}, \quad (4)$$

где А и В - параметры, характеризующие условия смесеобразования;

Φ_1 - период задержки самовоспламенения, град п.к.в.;

Φ - угол поворота коленчатого вала, град п.к.в..

На основании обработки экспериментальных данных по анализу ОГ дизелей с объемно-пленочным смесеобразованием автором для параметров А и В получены следующие соотношения:

$$A = (-0,032\alpha^4 + 0,3294\alpha^3 - 1,3737\alpha^2 + 2,4735\alpha + 2,565) \cdot 10^{-2}; \quad (5)$$

$$B = (47,54\alpha^3 - 229,6\alpha^2 + 385,47\alpha - 200,5) \cdot 10^6. \quad (6)$$

При определении сажевого содержания в ОГ дизеля за момент окончания выделения сажи и её догорания принимается момент окончания сгорания ($\Phi - \Phi_2$), определяемый по анализу индикаторной диаграммы, либо по эмпирической зависимости проф. Шароглазова В.А.:

$$\Phi_2 = 25 + 165 \cdot \alpha^{-1,36}. \quad (7)$$

Для определения Φ_2 могут быть использованы и другие зависимости, например, Вошни Г.:

$$\Phi_2 = \Phi_{2H} \left(\frac{\alpha_H}{\alpha}\right)^{K_2} \left(\frac{n}{n_H}\right)^{K_n}, \quad (8)$$

где α_H - значение коэффициента избытка воздуха при работе двигателя на номинальном режиме;

K_2, K_n - эмпирические коэффициенты.

Для определения периода задержки самовоспламенения могут быть использованы формулы Калашникова С.А.. В случае расчета сажеосодержания в ОГ дизеля с объемно-пленочным смесеобразованием [в интервале значений $d_c/D_{ц} = (1,67...5,2) \cdot 10^{-3}$] используется следующая зависимость:

$$\varphi_1 = 6n\tau_1 \frac{(323d_c/D_{ц})^{6n \cdot 3,76e}}{\left(\frac{T_k}{T_0}\right)^{1,15} \left(\frac{P_k}{P_0}\right)^{0,67} \left(\frac{d_c}{D_{ц}}\right)^{0,7} \varepsilon_B^{1,05} \varepsilon_{ц}^{0,9} \left(\frac{C_m}{C_k}\right)^{0,5} \left(\frac{U_{впр} G_{ц}}{C_k V_a \rho_0}\right)^{0,17}} \quad (9)$$

Зная долю углерода, пошедшую в сажу a_m , можно определить количество углерода в ОГ в граммах за час, цикл или кВт*ч.

Так:

$$R = 1000 \cdot C \cdot a_m \cdot G_T, \quad \text{г/ч}; \quad (10)$$

$$R = 1000 \cdot C \cdot a_m \cdot \frac{G_T}{30n}, \quad \text{г/цикл}; \quad (11)$$

$$R = 1000 \cdot C \cdot a_m \cdot \frac{G_T}{Ne}, \quad \text{г/(кВт*ч)}, \quad (12)$$

где G_T - часовой расход топлива, кг/ч.

Сажесодержание в ОГ в г/м^3 можно определить, если несгоревшее количество углерода отнести к объему отработавших газов.

$$D = \frac{1000 \cdot C \cdot a_m \cdot G_T \cdot \rho_{ог}}{(G_T + G_B)} = \frac{1000 \cdot C \cdot \rho_{ог} \cdot a_m}{\alpha L_0 + 1}, \quad \text{г/м}^3, \quad (13)$$

где $\rho_{ог}$ - плотность ОГ на выпуске, кг/м^3 ;

C - массовая доля углерода в топливе, % по массе;

L_0 - теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг топлива, кг воздуха /кг топлива.

С учетом разработанной математической модели и возможности использования ЭВМ при многочисленных теоретических исследованиях была составлена программа расчета сажеосодержания ОГ дизеля на IBM PC, при помощи которой были проведены расчетно-теоретические исследования по определению влияния конструктивных (диаметра цилиндра $D_{ц}$, степени сжатия ε , диаметра распыливающих отверстий d_c , продолжительности впрыскивания топлива $U_{впр}$) и эксплуатационных (коэффициента избытка воздуха α , давления наддувочного воздуха P_k , температуры наддувочного воздуха T_k , плотности отработавших газов $\rho_{ог}$ и

рода топлива) параметров дизеля на сажесодержание в ОГ.

В качестве исходных величин были приняты данные по работе дизеля Д-160 на номинальном режиме ($P_e = 0,828 \text{ МПа}$, $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$).

Для оценки важности влияния исходных параметров на сажесодержание в ОГ дизеля было применено дробное факторное исследование, в результате которого выбранные исходные параметры расположены в порядке убывания значимости влияния следующим образом: α , ϵ , P_k , $\Phi_{\text{впр}}$, d_c , T_k , $D_{\text{ц}}$. Наибольшее влияние оказывает α , коэффициент регрессии которого в 6 раз больше коэффициента регрессии ϵ .

По результатам расчетно-теоретических исследований представлены следующие однозначные зависимости сажесодержания:

- 1) от коэффициента избытка воздуха ($1,2 \leq \alpha \leq 2,1$;
 $0,18 \leq G_{\text{ц}}, \text{ г/цикл} \leq 0,29$):

$$D = 38,629 \epsilon^{-3,3106 \alpha} \quad \text{г/м}^3. \quad (14)$$

Учитывая, что ГОСТом N 17.2.2.02-86 "Нормы и методы измерения дымности ОГ тракторных и комбайновых дизелей" предусмотрено максимальное сажесодержание в ОГ 40 % по "Хартриджу", можно определить с помощью разработанной методики допустимое значение коэффициента избытка воздуха. Для двигателя Д-160 на номинальном режиме ($n=1250 \text{ мин}^{-1}$, $P_e = 0,828 \text{ МПа}$) $\alpha_{\text{доп}} = 1,58$, а на режиме максимального крутящего момента ($n=1000 \text{ мин}^{-1}$, $P_e = 0,936 \text{ МПа}$) $\alpha_{\text{доп}} = 1,64$.

- 2) от степени сжатия ($12 \leq \epsilon \leq 18$):

$$D = -0,0244 \epsilon + 0,5034, \quad \text{г/м}^3; \quad (15)$$

- 3) от давления наддувочного воздуха:

- а) $0,14 \leq P_k, \text{ МПа} \leq 0,175$; $T_k, \alpha = \text{const}$:

$$D = 1,7828 P_k^2 - 1,422 P_k + 0,3212, \quad \text{г/м}^3; \quad (16)$$

- б) $0,14 \leq P_k, \text{ МПа} \leq 0,175$; $333 \leq T_k, \text{ К} \leq 365$; $\alpha = \text{const}$:

$$D = -4,524 P_k^2 + 0,068 P_k + 0,2674, \quad \text{г/м}^3; \quad (17)$$

- в) $0,14 \leq P_k, \text{ МПа} \leq 0,175$; $1,47 \leq \alpha \leq 1,84$; $T_k = \text{const}$:

$$D = 111,63 P_k^2 - 42,08 P_k + 4,0227, \quad \text{г/м}^3; \quad (18)$$

- г) $0,14 \leq P_k, \text{ МПа} \leq 0,175$; $1,55 \leq \alpha \leq 1,77$;

333 < T_к, K < 365:

$$D = 18,108 * e^{-30,271 * P_k} \quad , \text{ г/м}^3 \quad (19)$$

4) от температуры наддувочного воздуха (300 < T_к, K < 360 ;
1,617 < α < 1,99; P_к - const):

$$D = 6 * 10^{-11} * T_k^{3,6748} \quad , \text{ г/м}^3 \quad (20)$$

5) от продолжительности впрыскивания топлива
(10 < Φ_{впр}, град п.к.в. < 30):

$$D = 0,0376 * \ln(\Phi_{впр}) + 0,0188 \quad , \text{ г/м}^3 \quad (21)$$

6) от диаметра цилиндра (0,13 < D_ц, м < 0,16 ;
1,28 < α < 1,93):

$$D = -10841 * D_{ц}^3 + 5245,2 * D_{ц}^2 - 852,07 * D_{ц} + 46,519 \quad , \text{ г/м}^3 \quad (22)$$

7) от диаметра соплового отверстия (0,3 < d_с, мм < 0,5;
15 < Φ_{впр}, град п.к.в. < 41), i=5:

$$D = -d_c^3 * 10^9 + 2 * 10^6 * d_c^2 - 910 * d_c + 0,2596 \quad , \text{ г/м}^3 \quad (23)$$

8) от плотности отработавших газов (0,8 < ρ_{ог}, кг/м³ < 1,4):

$$D = 0,13 * \rho_{ог} - 0,0007 \quad , \text{ г/м}^3 \quad (24)$$

9) от цетанового числа топлив (34,4 < ЦЧ < 45):

$$D = 0,0006 * ЦЧ^2 + 0,0568 * ЦЧ - 1,0224 \quad , \text{ г/м}^3 \quad (25)$$

Данные зависимости могут быть использованы исследователями при доводке и модернизации дизелей.

В третьей главе приведено описание экспериментальной установки, измерительной аппаратуры, методик исследования и анализа полученных результатов, а также разработанного электронного регулятора частоты вращения. Замеры сажевого содержания осуществлялись при помощи адсорбционного дымомера, шкала которого оттарирована в % и в г/м³.

Улучшение показателей дизелей в значительной мере определяется параметрами и характеристиками топливной аппаратуры. Одним из

элементов топливной аппаратуры является регулятор частоты вращения. Совершенствование механических регуляторов достигло своих пределов, так как введение в них новых функций, автоматизирующих управление дизелем, является сложной задачей, требующей для реализации каждой новой функции автоматизации применение собственного гидравлического, пневматического исполнительного органа или корректора, воздействующего через механизмы регулятора на дозирующий орган топливного насоса.

В диссертации рассматривается разработка электронного регулятора частоты вращения для управления подачей топлива в тракторном дизеле, примененный автором как способ снижения сажеосодержания в отработавших газах на переходных режимах.

Конструкция электронного регулятора частоты вращения включает в себя такие неотъемлемые элементы как, исполнительный механизм, датчики перемещения рейки и частоты вращения, задатчик нагрузки, электронный блок, кабельная сеть и другие датчики, необходимые для учета влияния и повышения эффективности работы дизелей (датчики давления атмосферного и наддувочного воздуха, температуры охлаждающей жидкости, воздуха, топлива и т.д.)

Отличительной чертой разработанного электронного регулятора является то, что исполнительный механизм и датчик положения рейки расположены по разные стороны топливного насоса, причем датчик положения рейки выполнен трансформаторным с сердечником, имеющим короткозамкнутую обмотку шириной, определяемой рабочим диапазоном хода рейки. Другой отличительной чертой является конструкция задатчика нагрузки, который выполнен в виде трансформаторного датчика с сердечником, связанным механически с педалью и рукояткой (акселератором) управления подачей топлива.

Решения по разработке элементов электронного регулятора частоты вращения защищены автором двумя патентами.

Четвертая глава посвящена расчетно-экспериментальным исследованиям рабочего цикла и возможности снижения сажеосодержания в ОГ дизелей 1415.0/20.5, 14Н15.0/20.5 и 4ЧН15.0/20.5.

Одно из главных направлений снижения сажеосодержания в ОГ дизелей - совершенствование процессов смесеобразования и сгорания, которые включают просто смешивание топлива с окислителем, изменение фазового состояния и химические реакции. Услония и сам процесс смешивания, включая макрораспределение, макро- и микросмешивание, определяется взаимодействием процесса топливopодачи и дви-

жения воздушного заряда, зависит от совершенства камеры сгорания, физических свойств топлива и окислителя. Учитывая это, в данной работе были использованы следующие факторы, воздействующие на улучшение условий смесеобразования и сгорания:

1. Применение керосина, смеси дизельного топлива с бензином А-76 (50%+50%).

Применение керосина и смеси дизельного топлива с бензином А-76 (50%+50%) практически не приводит к заметному изменению удельного расхода топлива (рис. 1). Динамические показатели двигателя, такие как максимальное давление и максимальная быстрота нарастания давления возросли, причем с уменьшением нагрузки разница по этим показателям увеличивается.

На графиках сажесодержание в ОГ представлено в процентах и в абсолютных величинах $г/м^3$. С увеличением нагрузки содержание сажи в ОГ увеличивается, так как снижается коэффициент избытка воздуха, который является наиболее важным фактором, влияющим на полноту сгорания. Применение керосина и смеси дизельного топлива с бензином А-76 приводит к существенному снижению сажесодержания в ОГ, причем чем меньше коэффициент избытка воздуха, тем больше разница.

В случае применения керосина, смеси дизельного топлива с бензином А-76 (50%+50%) возрастает интенсивность выгорания топлива в основном и, особенно, в начальном периоде процесса сгорания. В связи с увеличением времени на предпламенные процессы подготовки топлива к самовоспламенению существенно уменьшается угол начала сгорания, перемещаясь за В.М.Т. в такт расширения ($P_e = 0,6$ МПа и выше). Однако высокая испаряемость бензинов способствует ускорению процессов смесеобразования и последующего сгорания. Поэтому у топлив с низким цетановым числом наблюдается сокращение продолжительности процесса сгорания. Таким образом, применение указанных топлив с меньшим цетановым числом в дизеле вызывает снижение сажесодержание в отработавших газах.

На рис. 1 изменение сажесодержания в ОГ представлено по результатам эксперимента (обозначено точками), а также по результатам расчетов, проведенных по разработанной во второй главе методики (обозначено линиями). Как видно, сходимость результатов удовлетворительная.

2. Влияние наддува.

С целью определения влияния наддува на сажесодержание в ОГ были проведены испытания и на рис. 2 представлены нагрузочные

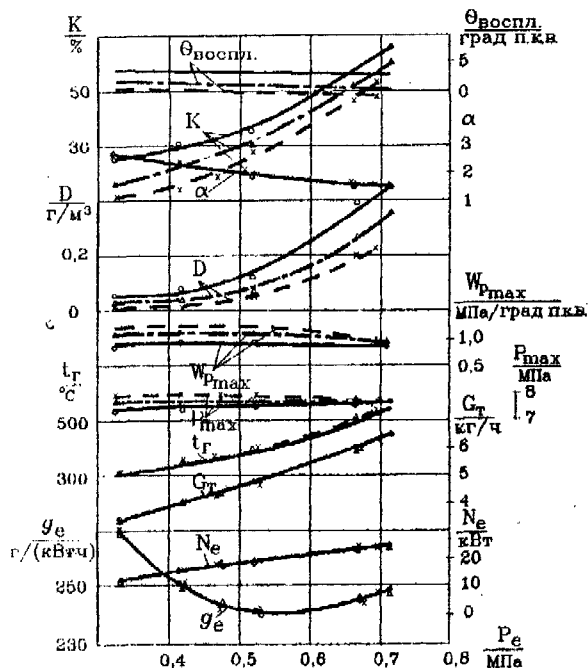


Рис. 1 Нагрузочная характеристика дизеля 1415.0/20.5 ($n = 1250 \text{ мин}^{-1}$);

- дизельное топливо;
- - смесь дизельного топлива с бензином А-76 (50%+50% по объему);
- - - керосин

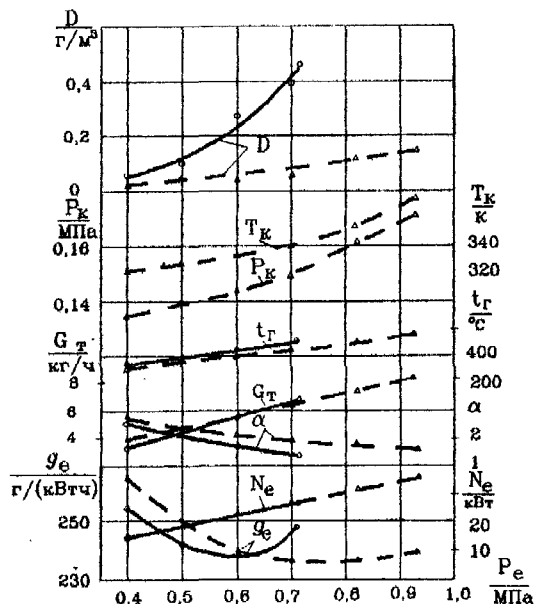


Рис. 2. Нагрузочная характеристика дизеля 1415.0/20.5 ($n = 1250 \text{ мин}^{-1}$):

- - с наддувом;
- без наддува

характеристики дизеля ($n = 1250 \text{ мин}^{-1}$) размерности 15.0/20.5 без наддува и с наддувом.

Как видно из рисунка применение наддува приводит к существенному снижению сажесодержания в ОГ. Так при $P_e = 0,71 \text{ МПа}$ сажесодержание в ОГ снижается на $0,35 \text{ г/м}^3$, коэффициент избытка воздуха увеличился на $0,5$, температура отработавших газов снизилась на $60 \text{ }^\circ\text{C}$, удельный расход топлива уменьшился на $11 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$. Если при таком P_e дизель без наддува явно не проходит по ГОСТу на дымность, то дизель с наддувом ему соответствует (допустимое 40% по "Хартриджу" примерно соответствует $0,18 \text{ г/м}^3$). Применение наддува позволяет форсировать дизель до $P_e = 0,93 \text{ МПа}$ при соответствии ГОСТу на дымность.

Была также снята нагрузочная характеристика дизеля с наддувом на режиме максимального крутящего момента $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$. Наиболее интересный режим по данной характеристике представляет режим перегрузки $P_e = 0,98 \text{ МПа}$. На этом режиме сажесодержание в ОГ составляет $0,485 \text{ г/м}^3$ и значительно превышает норму по ГОСТу на дымность.

3. Уменьшение "потерянных" объемов камеры сгорания.

Сажесодержание в ОГ зависит от условий смесеобразования и сгорания, определяемых многими параметрами, одним из которых является относительный объем камеры сгорания \bar{V}_k , представляющий собой отношение объема камеры сгорания в поршне V_k к объему пространства сжатия V_c . Влияние относительного объема \bar{V}_k на эффективные показатели рабочего цикла дизеля достаточно широко известны. Однако оценка влияния так называемых "потерянных" объемов камеры сгорания ($V_c - V_k - V_n$) на сажесодержание в ОГ требует дополнительного анализа. С этой целью были проведены экспериментальные исследования тракторного дизеля с камерой сгорания ЦНИДИ. Исследования проводились при постоянном коэффициенте избытка воздуха по регулировочной характеристике. К "потерянным" объемам относятся объемы в зазоре вокруг головки поршня, в газовом стыке, в подклапанных выточках, в надпоршневом газоре. "Потерянный" объем уменьшался за счет уменьшения толщины прокладки газового стыка, уменьшения объема в подклапанных выточках.

Уменьшение "потерянных" объемов с 60 до 40 см^3 приводит к снижению сажесодержания в ОГ на 30%. Это объясняется тем, что с уменьшением "потерянных" объемов в процессе смесеобразования и

сгорания участвует большее количество воздуха, вытесняемого из не эффективно работающих областей пространства сжатия, непосредственно в камеру сгорания в поршне, повышается интенсивность вихревого движения и улучшается распределение воздуха в пространстве камеры сгорания. Эти факторы способствуют улучшению выгорания топлива как в начальный период сгорания топлива, так и в период его догорания.

4. Использование электронного регулятора частоты вращения.

Изготовленный электронный регулятор был установлен взамен механического на развернутом дизеле Д-160. Топливный насос с электронным регулятором почти в 2 раза меньше по длине, чем с механическим регулятором, а масса уменьшилась на 60 кг.

В условиях стенда была произведена настройка электронного регулятора на номинальный режим дизеля Д-160 и работу его на корректорной и регуляторной ветвях. Минимальная частота вращения холостого хода может быть установлена 300..500 мин⁻¹ (вместо 600 мин⁻¹). Можно отметить высокую устойчивую работу дизеля. Как и следовало ожидать, применение электронного регулятора частоты вращения в тракторном дизеле на установившихся режимах не дает снижение сажевого содержания в ОГ. Работа же тракторных дизелей в условиях эксплуатации характеризуется частыми и резкими сменами режимов. В эксплуатационных условиях крутящий момент и частота вращения коленчатого вала непрерывно изменяются в весьма широких пределах. Набросы и сбросы нагрузок, разгоны и торможения постоянно сменяют друг друга. В этих условиях эффективные показатели двигателя ухудшаются, а сажевое содержание в ОГ повышается.

Для определения влияния конструкции регулятора на сажевое содержание в ОГ были просчитаны неустановившиеся режимы при 100% сбросе - набросе нагрузки. С этой целью программа расчета сажевого содержания в ОГ дизеля была дополнена программой, описывающей совместную работу комбинированного дизеля и механического или электронного регулятора, составленной на кафедрах ДВС и Э Челябинского государственного технического университета. Результаты расчетов представлены на рис.3.

Как видно из рисунка переходный процесс при использовании механического регулятора приводит к обильному сажевому содержанию в ОГ. Применение же электронного регулятора позволяет сократить продолжительность переходного процесса. При резком увеличении нагрузки

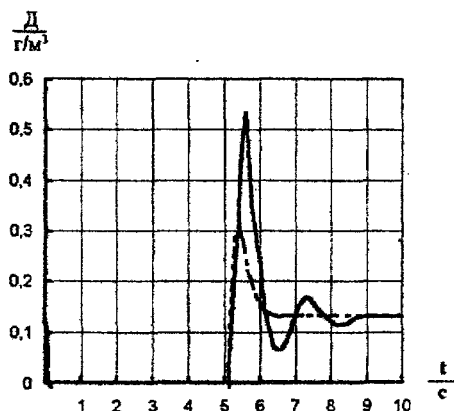


Рис. 3. Зависимость сажевого содержания в отработавших газах дизеля от времени при изменении момента сопротивления (нагрузки) от номинального значения $M_{\text{Сном}}$ до 0 и от 0 до $M_{\text{Сном}}$:

— механический регулятор;

- - - электронный регулятор частоты

от 0 до номинального содержание сажи в ОГ за время переходного процесса при работе дизеля с электронным регулятором уменьшилось на $0,11 \text{ г/м}^3$. Это объясняется более быстрой реакцией системы управления на изменяющиеся параметры рабочего процесса, а также большей точностью оптимизации цикловой подачи топлива для каждого нагрузочного и скоростного режима двигателя.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании выполненной работы можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Разработана методика теоретического определения сажевого содержания в ОГ дизеля, учитывающая коэффициент избытка воздуха, давление и температуру наддувочного воздуха, период задержки самовоспламенения, угол опережения подачи топлива, цетановое число топлива, продолжительность впрыскивания топлива, диаметры цилиндра и сопловых отверстий в распылителе и плотность ОГ. Ма-

тематическая модель по определению сажесодержания в ОГ удовлетворительно описывает результаты эксперимента и может быть использована исследователями при модернизации и разработке новых дизелей.

2. Разработана программа расчета сажесодержания в ОГ дизеля на IBM PC, которая в сочетании с программами расчета замкнутого цикла комбинированного дизеля и регулятора топливного насоса высокого давления позволяет определять сажесодержание в ОГ не только на установившихся режимах, но и на переходных, характеризующихся интенсивным сажевыделением.
3. Проведены расчетно-теоретические исследования по выявлению влияния коэффициента избытка воздуха, продолжительности впрыскивания топлива, давления и температуры наддувочного воздуха, степени сжатия, диаметров цилиндра и распыливающих отверстий, цетанового числа топлива и плотности ОГ на сажесодержание в ОГ и представлены однозначные зависимости. Данные зависимости могут быть использованы конструкторами и исследователями, занимающимися вопросами совершенствования дизелей. Проведенные исследования дают основания заключить, что для выполнения норм по ГОСТу на дымность ОГ дизель Д-160 на номинальном режиме должен иметь коэффициент избытка воздуха не меньше 1,58; а на режиме максимального крутящего момента не меньше 1,64.
4. Разработан электронный регулятор частоты вращения для управления подачей топлива, обеспечивающий оптимизацию состава горючей смеси, а следовательно улучшающий условия смесеобразования и сгорания, новизна которого защищена двумя патентами.
5. Результаты расчетно-экспериментальных исследований рабочего цикла тракторного дизеля при улучшении различными способами условий смесеобразования и сгорания позволяют заключить, что:
 - применение керосина, смеси дизельного топлива с бензином А-76 (50%+50%), приводит при $P_e = 0,7$ МПа и $n = 1250$ мин⁻¹ в дизеле 1415.0/20.5 к снижению сажесодержания соответственно на 23,3% и 39%. Снижение сажесодержания наблюдается и на других режимах работы;
 - уменьшение "потерянных" объемов пространства камеры сгорания с 60 до 40 см³ приводит к снижению сажесодержания в ОГ на номинальном режиме дизеля Д-160 на 30%;
 - применение наддува в тракторном дизеле размерности 15.0/20.5 с объемно-пленочным смесеобразованием приводит к

существенному снижению содержания сажи в ОГ. На номинальном режиме ($P_e = 0,828 \text{ МПа}$, $n = 1250 \text{ мин}^{-1}$) сажесодержание составляет $0,138 \text{ г/м}^3$, что на 25% меньше допустимой нормы по ГОСТу на дымность;

- применение электронного регулятора частоты вращения в дизеле Д-160 приводит к более устойчивой работе, возможности снижения минимальной частоты вращения холостого хода до $300 \dots 500 \text{ мин}^{-1}$ (вместо 600 мин^{-1}) и обеспечивает уменьшение сажесодержания в ОГ за время переходного процесса при резком набросе нагрузки от 0 до 100% на $0,11 \text{ г/м}^3$.

Программа расчета сажесодержания в ОГ дизеля, конструкция электронного регулятора частоты вращения и все результаты расчетно-теоретических и экспериментальных исследований рекомендованы ОАО "Челябинский тракторный завод".

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Гитис М.С., Васистый Л.Н., Бунова Е.В. Токсичность тракторного дизеля и возможности ее снижения // Исследование силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин: Тематический сборник научных трудов. - Челябинск: ЧГТУ, 1991. - С. 3-8.
2. Шароглазов В.А., Бунова Е.В. Определение сажесодержания в отработавших газах дизелей. - Деп. в ВИНТИ 16.02.96, N 509-В96.
3. Бунова Е. В. Влияние коэффициента избытка воздуха на сажесодержание в отработавших газах дизеля // Исследование силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин: Тематический сборник научных трудов. - Челябинск: ЧГТУ, 1996. - С. 12-15.
4. Патент N 94011535 от 25.07.95. Электронный регулятор частоты вращения для управления подачей топлива насосом высокого давления / Е.В. Бунова, С.П. Гладышев, В.В. Шешуков.
5. Патент N 94014940/014554 от 12.08.95. Электронный регулятор частоты вращения для управления подачей топлива насосом высокого давления / Е.В. Бунова, С.П. Гладышев.
6. Заявка N 96106676(011014) от 04.04.96. Устройство для очистки от сажи ОГ дизеля / В.А. Шароглазов, Е.В. Бунова.

Бунова Елена Вячеславовна

СНИЖЕНИЕ СажЕСОДЕРЖАНИЯ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ
ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ
СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ И СГОРАНИЯ

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Издательство Челябинского
государственного технического университета

ЛР № 020364 от 20.01.92. Подписано в печать 22.10.96. Формат
60x84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1. Уч.-изд. л. 1 .

Тираж 100 экз. Заказ 235/536.

УОП издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.