

ложенный учёными университета Калгари (Канада).

2. Исследование, выполненное с использованием данного критерия, показало, что в двигателе 6ГЧН13/14 с искровым зажиганием максимум крутящего момента ($M_e = 750$ Н·м) обеспечивается при $\varepsilon = 11,8$ и $\pi_k = 1,45$.

Список литературы:

1. Lindstrom F. Empirical Combustion Modeling in SI Engines: thesis: MMK 2005:19 / F. Lindstrom. – Stockholm, 2005. – 126 p. 2. Franzke D.E. Beitrag zur Ermittlung eines Klopfkriteriums der ottomotorischen Verbrennung und zur Vorausberechnung der Klopfgrenze: dissertation / Franzke D.E. – Munchen, 1981. – 210 p. 3. Gao J. Knock Modelling in S.I. Engines: PhD thesis: 115.01.02 / Gao Juan. University of Calgary, 1993. – 230 p. 4. Кузьменко А.П. Критерий детонации в газовом двигателе с высокоэнергетической системой зажигания / Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н., Кузьменко А.П., Липинский М.С. // Автомобильный транспорт. – №28. – 2011. – С. 37-42. 5. Абрамчук Ф.И. Новая автоматизированная система исследования и диагностирования автотракторных двигателей / Ф.И. Абрамчук, А.Н. Пойда, А.А. Ефремов и др. // Автомобильный транспорт. – № 17. – 2005. – С.28–34. 6. Абрамчук Ф.И. Выбор и обоснование регулировочных параметров газового двигателя с наддувом, конвертированного из

дизеля / Ф.И. Абрамчук, А.Н. Кабанов, М.С. Липинский и др. // Вестник НТУ ХПИ. – № 54. – 2011. – С. 18-26. 7. Абрамчук Ф.И. Двухзонная модель процесса сгорания малолитражного газового двигателя с искровым зажиганием / Ф.И. Абрамчук, О.М. Кабанов, А.П. Кузьменко, М.С. Липинский, В.М. Муратов // Вісник національного транспортного університету. – № 23. – 2011. – С. 56-65.

Bibliography (transliterated):

1. Lindstrom F. Empirical Combustion Modeling in SI Engines: thesis: MMK 2005:19 / F. Lindstrom. – Stockholm, 2005. – 126 p. 2. Franzke D.E. Beitrag zur Ermittlung eines Klopfkriteriums der ottomotorischen Verbrennung und zur Vorausberechnung der Klopfgrenze: dissertation / Franzke D.E. – Munchen, 1981. – 210 p. 3. Gao J. Knock Modelling in S.I. Engines: PhD thesis: 115.01.02 / Gao Juan. University of Calgary, 1993. – 230 p. 4. Kuzmenko A.P. Kriterij detonacii v gazovom dvigatele s vysokojenergeticheskoj sistemoy zazhiganiya / Abramchuk F.I., Kabanov A.N., Kuz'menko A.P., Lipinskij M.S. // Avtomobil'nyj transport. – №28. – 2011. – S. 37-42. 5. Abramchuk F.I. Novaja avtomatizirovannaja sistema issledovanija i diagnostirovanija avtotraktornyh dvigatelej / F.I. Abramchuk, A.N. Pojda, A.A. Efremov i dr. // Avtomobil'nyj transport. – № 17. – 2005. – S. 28–34. 6. Abramchuk F.I. Vybory i obosnovanie regulirovochnykh parametrov gazovogo dvigatelja s nadduvom, konvertirovannogo iz dizelja / F.I. Abramchuk, A.N. Kabanov, M.S. Lipinskij i dr. // Vestnik NTU HPI. – № 54. – 2011. – S. 18-26. 7. Abramchuk F.I. Dvozzonna model' procesu zgorjannja malolitrazhnogo gazovogo dviguna z iskrovim zapaljuvannjam / F.I. Abramchuk, O.M. Kabanov, A.P. Kuz'menko, M.S. Lipinskij, V.M. Muratov // Visnik nacional'noho transportnogo universitetu. – № 23. – 2011. – S. 56-65.

УДК 621.43.068

В.Н. Бганцев, канд. техн. наук, В.П. Мараховский, инж.

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ ПО ЗАМКНУТОМУ ЦИКЛУ В СОСТАВЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Введение

Интерес к энергоустановкам с замкнутым циклом (ЗЦ) работы проявляется периодически. Во времена второй мировой войны дизельными энергоустановками (ДЭУ) с ЗЦ оснащались подводные суда и достаточно широко использовались Германией. В конце 80-х годов предыдущего столетия ДЭУ ЗЦ вновь становятся востребованными в связи с интенсификацией добычи полезных ископаемых с морского дна. Как источники электрической энергии они были выгоднее, чем электроснабжение подводного объекта с помощью электрического кабеля. В настоящее время, в связи с обострением экологических проблем, энергоустановки с ЗЦ работы рассматривают как безвыбросные источники энергии с накоплением продуктов от функционирования в специальных емкостях.

ДЭУ ЗЦ могут быть достаточно эффективно использованы как генераторы диоксида углерода для закачки его в малодобитные нефтяные сква-

жины с целью их активации. В этом случае ДЭУ представляет собой когенерационную установку, которая помимо генерации диоксида углерода, снабжает объект электрической и тепловой энергией, не оказывая при этом вредного воздействия на окружающую среду.

Данная работа посвящена исследованию показателей дизельного двигателя, работающего по ЗЦ и сравнению их с показателями при работе на атмосферном воздухе для возможности проведения оценки общей эффективности когенерационной установки.

Цель и постановка задачи

Целью данного исследования является экспериментальная оценка эффективности работы дизельного двигателя по ЗЦ с определением удельных показателей и параметров рабочего цикла.

В число основных задач входило:

- разработка мероприятий по обеспечению устойчивой работы дизеля по ЗЦ;

- снятие нагрузочных характеристик дизеля при работе по ЗЦ и на атмосферном воздухе;
- анализ полученных показателей работы дизеля применительно к когенерационной установке.

Результаты исследования

Экспериментальные исследования проводились на установке с дизельным двигателем 1Ч8,5/11 с номинальной мощностью 3,0 кВт, который мог работать как на атмосферном воздухе, так и по ЗЦ с использованием в качестве рабочего тела продуктов сгорания топлива. Схема установки приведена на рис.1 и представляет собой частный случай установки, описанной в [1]. С целью упрощения схемы применен электрический подогрев искусственной газовой смеси (ИГС) на впуске в дизель с помощью электрического нагревателя и ручная регулировка расхода кислорода в зависимости от расхода топлива дизелем. Это позволило отказаться от достаточно сложного, обогреваемого отработавшими газами, впускного ресивера и использования системы автоматического регулирования расхода кислорода.

При проведении испытаний прогрев дизеля осуществляли, когда он работал на атмосферном воздухе при открытых ventилях 3 и 15. Была также снята нагрузочная характеристика для возможности, в дальнейшем, провести сравнение результатов испытаний. Переход на ЗЦ работы осуществляли путем последовательного закрытия ventилей 3 и 15 и одновременно с этим включения подачи кислорода в контур циркуляции газовой смеси. ОГ дизеля, в этом случае, направлялись в охладитель 4, после которого из них в сепараторе 5 удалялась конденсированная влага. Избыточные продукты сгорания топлива в дизеле сбрасывались через клапан 7 за пределы установки. К оставшейся смеси через кислородный смеситель 9 добавлялся в необходимом количестве кислород и полученная ИГС перемещалась во впускной ресивер 14. После подогрева с помощью нагревателя 17 ИГС поступала в дизель.

В ходе проведения испытаний на каждом режиме нагрузочной характеристики измеряли расход топлива дизелем, расходы воздуха, ИГС и кислорода для соответствующих циклов работы, температуры

ОГ и на впуске в дизель, токсичность ОГ. В последнем случае для оценки токсичности ОГ использовали газоанализатор "АВТОТЕСТ-02-03П", обеспечивающий погрешность измерения $\pm 5\%$.

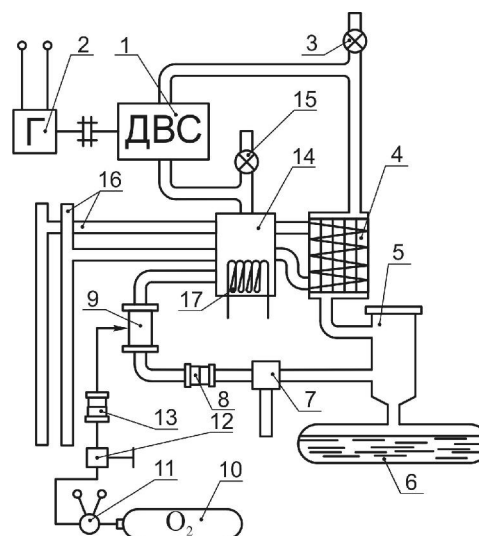


Рис.1. Схема экспериментальной когенерационной установки

1 - ДВС; 2 - генератор; 3- выпускной ventиль; 4- охладитель ОГ; 5- сепаратор влаги; 6- сборник конденсата; 7- клапан сброса избыточных ОГ; 8,13- измерительные диафрагмы; 9- кислородный смеситель; 10- баллон с кислородом; 11- редуктор; 12- регулировочный кран; 14- впускной ресивер; 15- впускной ventиль; 16- трубопроводы с сетевой водой; 17- нагреватель ИГС

При работе дизеля по ЗЦ состав ИГС на впуске в дизель поддерживался со следующим соотношением компонентов: CO_2 – 62%, H_2O (водяной пар) – 3,5%, O_2 – 34,5% по объему. При этом содержание водяного пара определялось по его парциальному давлению в ИГС при температуре в сепараторе влаги. Объемное содержание кислорода измеряли с помощью газоанализатора. Токсические примеси при косвенном определении состава ИГС не учитывали ввиду их малости.

Высокое содержание диоксида углерода в ИГС привело к значительному увеличению ее результирующей теплоемкости и, как следствие, к снижению температуры конца сжатия в цилиндре дизеля. Для сохранения значения этого параметра в цикле и, соответственно, обеспечения надежного самовоспламенения топлива возникла необходимость в повышении температуры ИГС на впуске в дизель. В связи с этим в схеме установки предусмотрен соответствующий подогреватель. Температура ИГС перед дизелем при работе его по ЗЦ в ходе испытаний находилась на уровне 127°C , что обеспечило устойчивую работу дизеля без пропусков воспламенения.

Полученные при испытаниях нагрузочные характеристики дизеля приведены на рис.2.

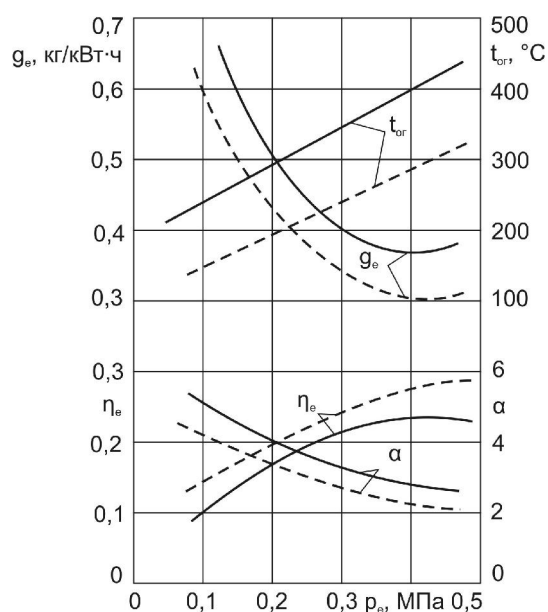


Рис. 2. Нагрузочные характеристики дизеля
 ----- работа на атмосферном воздухе
 ————— 3Ц

Как видно из рис. 2, во всем диапазоне нагрузочных режимов удельный эффективный расход топлива g_e при 3Ц работы примерно на 17–20% выше, чем на атмосферном воздухе, причем большие значения наблюдаются на краях диапазона.

Увеличение температуры ИГС на впуске, а также общее снижение эффективности рабочего цикла из-за высокой теплоемкости рабочего тела привели к росту температуры ОГ $t_{ог}$ на 58–125° С от режима холостого хода до номинального. Коэффициент избытка воздуха (для 3Ц точнее коэффициент избытка кислорода) при 3Ц работы был выше на всех режимах из-за повышенной объемной доли кислорода в исходной ИГС. Снижение эффективного КПД η_e в 3Ц составило от 2,7 до 5,2 % в диапазоне от минимальной до максимальной мощности. Важным показателем функционирования ДЭУ по 3Ц является удельный эффективный расход кислорода на подпитку. При испытаниях значение этого показателя находилось в пределах от 1,465 до 2,486 кг/кВт·ч, причем меньшие значения характерны для большей мощности дизеля.

Параметры рабочего цикла, измеренные с помощью измерительного комплекса “датчик давления в цилиндре дизеля – усилитель – электроизмерительное устройство К-748”, приведены на рис. 3.

На всех режимах работы дизеля по 3Ц наблюдается уменьшение максимального давления цикла на 10–15 % и скорости нарастания давления при

сгорании p'_{max} до 25 % по сравнению с работой на атмосферном воздухе. Снижение этих показателей также связано с изменением термодинамических свойств ИГС. Слабо изменяется только лишь значение угла максимального давления p_{max} после верхней мертвой точки (ВМТ).

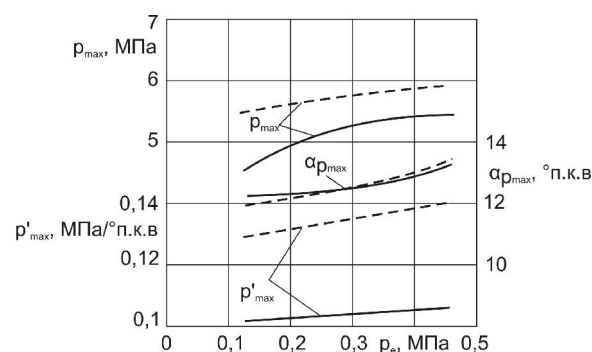


Рис. 3. Параметры рабочего цикла
 ----- работа на атмосферном воздухе
 ————— 3Ц

Изменение токсичности ОГ при работе дизеля по двум различающимся способом приведено на рис. 4.

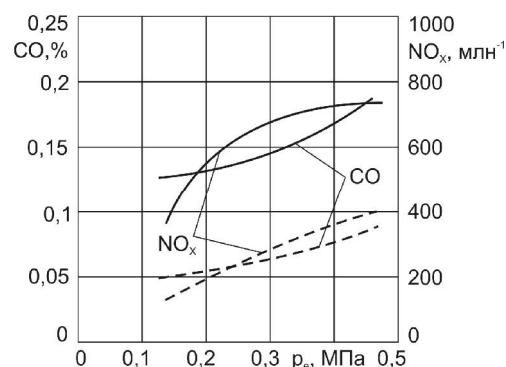


Рис. 4. Изменение токсичности ОГ дизеля
 ----- работа на атмосферном воздухе;
 ————— 3Ц

Токсические составляющие ОГ при 3Ц работы дизеля существенного значения не имеют, так как находятся в замкнутом контуре циркуляции и выбрасываются либо в накопительную емкость либо, при проведении активации, в нефтяную скважину. Наличие в циркулирующих ОГ оксидов азота NO_x связано с постепенным окислением остаточного азота после перехода на 3Ц работы. Вначале идет накопление NO_x , а затем постепенное

освобождение ОГ от них после завершения окисления остаточного азота.

При проведении испытаний также была выполнена сравнительная оценка дымности ОГ дизеля по методу, использованному в [2]. Установлено, что дымность ОГ при работе по ЗЦ на 35–40 % ниже по сравнению с работой на атмосферном воздухе. В первую очередь это объясняется повышенным содержанием кислорода в ИГС. В какой-то мере снижению сажеобразования также способствует высокая концентрация диоксида углерода в циркулирующей смеси [3]. Малая концентрация сажи в рециркулируемых газах позволяет уменьшить отложения ее на внутренних поверхностях устройств, обеспечивающих работу дизеля по ЗЦ, и повысить надежность и эффективность всей установки.

Выводы

Проведенный сравнительный анализ показывает, что по большинству показателей рабочего цикла ЗЦ работы дизеля уступает традиционно используемому способу работы. Значительно повысить эффективность работы дизеля по ЗЦ можно, используя его в составе когенерационной установки. Перераспределение составляющих теплового баланса такой установки приводит к увеличению количества теплоты, уносимой с ОГ по сравнению с обычной работой дизеля и возможности ее утилизации для потребностей энергопотребляющего объекта. Количество теплоты, утилизируемой из систем охлаждения и смазки дизеля, при этом практически не изменяется. Повышенный расход топлива дизелем приводит к генерации больших количеств диоксида углерода, что можно считать положительной особенностью при использовании

установки в качестве активатора нефтяной скважины.

В случае применения установки для энергоснабжения изолированного объекта расход топлива приобретает важное значение. Топливная экономичность дизеля в ЗЦ работы может быть улучшена использованием ИГС с теплоемкостью, близкой к теплоемкости воздуха. При этом необходимо применение химической нейтрализации избыточного диоксида углерода и включение в состав ИГС таких газов как аргон или же менее эффективного азота.

Список литературы:

1. Бганцев В.Н Особенности использования когенерационных установок с поршневыми двигателями внутреннего сгорания в системах активации маломощных нефтяных скважин / В.Н.Бганцев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №2. – С. 141–143.
2. Бганцев В.Н. Результаты испытаний дизеля на смесях дизельного топлива и биодобавки из побочных продуктов масложирового и спиртового производств / В.Н. Бганцев, В.П. Мароховский, С.П. Хожанов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – №1. – С.119–123.
3. S. Gilbert The Use of Diesel Engines Underground in British Coal Mines/ The Mining Engineer (GB). – June 1974. – P.403.

Bibliography (transliterated):

1. Bgancev V.N Osobennosti ispol'zovaniya kogeneracionnyh ustanovok s porshnevymi dvigatel'jami vnutrennego sgoraniya v sistemah aktivatsii malodebetnyh nefjanyh skvazhin / V.N.Bgancev // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2010. – №2. – S. 141–143.
2. Bgancev V.N. Rezul'taty ispytaniy dizelja na smesjah dizel'nogo topliva i biodobavki iz pobochnyh produktov maslozhirovogo i spirtovogo proizvodstv / V.N. Bgancev, V.P. Marahovskij, S.P. Hozhainov // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2009. – №1. – S.119–123.
3. S. Gilbert The Use of Diesel Engines Underground in British Coal Mines/ The Mining Engineer (GB). – June 1974. – P.403

UDC 621.43.052

D.E. Samoilenko, ph.D

SIMULATION OF DIESEL ENGINE AND VARIABLE GEOMETRY TURBOCHARGER (VGT) WITH VANELESS TURBINE VOLUTE

Introduction

It is known that from the thermodynamic point of view, the turbocharger system is attractive because it makes use of the exhaust gas energy [1]. Thus, turbocharging systems are widespread not only in traditional internal combustion engines (such as diesels and gasoline) but also in engines running on alternative fuels

such as natural gas. It is known that natural gas is a promising alternative fuel to meet a strict engine emission standards in many countries [2]. Natural gas engines can operate on lean burn. By increasing boost pressure level, a lean burn natural gas engine can produce higher power and torque and thus its full-load thermal efficiency can even be very close to that of