

## ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ДРУГИЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ

УДК 621.43.052

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ 6ГЧН 13/14 С НАДДУВОМ И ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ВОСПЛАМЕНЕНИЕМ

**Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., В.М. Манойло, доцент, к.т.н.,  
А.А. Дзюбенко, доцент, к.т.н., М.С. Липинский, аспирант, ХНАДУ,  
Д.В. Швыдкий, инженер, фирма Heinzmann GmbH & Co, г. Шенау, Германия**

*Аннотация.* Приведено описание экспериментальной установки для проведения исследований газового двигателя 6ГЧН 13/14 с искровым зажиганием и системой газотурбинного наддува.

*Ключевые слова:* экспериментальная установка, газовый ДВС, система зажигания, измерительная аппаратура, система газотурбинного наддува.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОВОГО ДВИГУНА 6ГЧН 13/14 З НАДДУВАННЯМ І ПРИМУСОВИМ ЗАПАЛЕННЯМ

**Ф.І. Абрамчук, професор, д.т.н., В.М. Манойло, доцент, к.т.н.,  
О.А. Дзюбенко, доцент, к.т.н., М.С. Липинський, аспірант, ХНАДУ,  
Д.В. Швидкий, інженер, фірма Heinzmann GmbH & Co, м. Шенау, Німеччина**

*Анотація.* Наведено опис експериментальної установки для проведення досліджень газового двигуна 6ГЧН 13/14 з іскровим запаленням і системою газотурбінного наддування.

*Ключові слова:* експериментальна установка, газовий ДВЗ, система запалення, вимірювальна апаратура, система газотурбінного наддування.

### EXPERIMENTAL SET UP FOR EXAMINING OF 6GCHN 13/14 GAS ENGINE WITH TURBOCHARGE AND FORCED IGNITION

**F. Abramchuk, Professor, Doctor of Technical Science, V. Manoylo, Associate Professor, Candidate of Technical Science, A. Dziubenko, Associate Professor, Candidate of Technical Science, M. Lypynskiy, graduate KhNAHU, D. Shvydkiy, engineer of Heinzmann GmbH & Co Company, Schoenau, Germany**

*Abstract.* The description of experimental set up for investigation carrying out of 6GCHN 13/14 gas engine with spark ignition and turbocharger system is presented.

*Key words:* experimental set up, gas ICE, ignition system, measuring devices, turbocharger system.

#### Введение

В связи с ухудшением экологической ситуации в мире, причиной которой является ежегодное увеличение количества транспортных средств, становится актуальной задача поиска путей улучшения экологических показателей двигателей. Одним из способов

решения данной задачи является использование в двигателях внутреннего сгорания газового топлива. Использовать газообразное топливо в дизельных двигателях можно двумя основными способами:

- использованием газодизельного цикла;
- конвертированием дизельного двигателя в газовый двигатель с искровым зажиганием.

Ранее кафедрой ДВС ХНАДУ совместно с Харьковским автомобильным ремонтным заводом № 126 была создана экспериментальная установка на базе дизеля ЯМЗ-236 [1]. В качестве топлива использовался сжатый природный газ. Особое внимание при этом было уделено разработке и отладке алгоритмов работы систем зажигания и управления двигателем, а также испытанию этих систем.

В настоящее время кафедра ДВС ХНАДУ продолжает работы по созданию газового двигателя, конвертированного из дизеля, оснащенного системой зажигания высокой энергии и газотурбинным наддувом. Схема газотурбинного наддува, используемого в газовом двигателе 6ГЧН 13/14, описана в работе [2].

### Анализ публикаций

Вопросу разработки, изготовления и отладки экспериментальных стендов для исследования газовых ДВС уделяется большое внимание как отечественными, так и зарубежными фирмами.

Так, в работах [3-5] приведено краткое описание стендов, предназначенных для исследования рабочего процесса газового двигателя, конвертированного из дизеля. Установленное дополнительное оборудование, в частности система зажигания, обеспечивает воспламенение топливовоздушной смеси с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha = 0,8 \div 1,4$ . Возможность осуществления рабочего процесса при обедненных топливовоздушных смесях позволяет получить приемлемые технико-экономические и экологические показатели газовых двигателей.

Основным недостатком конвертации дизелей в газовые ДВС является некоторая потеря мощности в сравнении с дизельным вариантом, а также повышенные тепловые нагрузки на детали камеры сгорания [6].

Для решения данных проблем авторами разработан стенд для исследований газовых двигателей средней мощности, оборудованных газотурбинным наддувом (ГТН). Применение ГТН на газовом двигателе позволяет: улучшить технико-экономические и экологические показатели двигателей за счет повышения коэффициента наполнения цилиндров; снизить тепловые нагрузки на детали

камеры сгорания ДВС путем увеличения коэффициента избытка воздуха.

### Цель и постановка задачи

Целью данной работы является создание экспериментального стенда для испытаний газового ДВС 6ГЧН 13/14, оборудованного системами ГТН и зажигания высокой энергии.

### Описание экспериментальной установки

Предлагаемый экспериментальный стенд 6ГЧН 13/14 является модернизированным вариантом стенда 6ГЧ 13/14 [1]. Предлагаемая экспериментальная установка оснащена системой зажигания высокой энергии, системой газотурбинного наддува, классической (эжекционной) системой питания сжатым природным газом и блоком регистрации данных. Схема, описываемой экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Газовый двигатель 6ГЧН 13/14 1 смонтирован на раме и соединен с балансирной машиной DS 932-4/N 2 посредством карданной передачи 3. Мощность балансирной машины составляет 180 кВт.

Пульт управления стендом включает в себя: блок управления нагрузкой 5, блок контроля давлений 6 и блок контроля температур 7.

В блок управления нагрузкой входят: частотомер импульсов ОВЕН СИ-8, автотрансформатор и весовой терминал КОДА-2. Счетчик импульсов получает сигнал от индуктивного датчика, который далее обрабатывается и выводится на экран в виде данных о частоте вращения коленчатого вала двигателя и балансирной машины. Автотрансформатор предназначен для регулирования нагрузки на двигатель. Данные об изменении нагрузки и крутящего момента отображаются на экране весового терминала.

Блок контроля давлений объединяет в себе манометры: контроля давления воздуха на входе и выходе из компрессорного колеса турбокомпрессора; регистрации давления отработавших газов на входе и выходе из турбинного колеса ТКР; контроля давления масла в масляной магистрали двигателя.

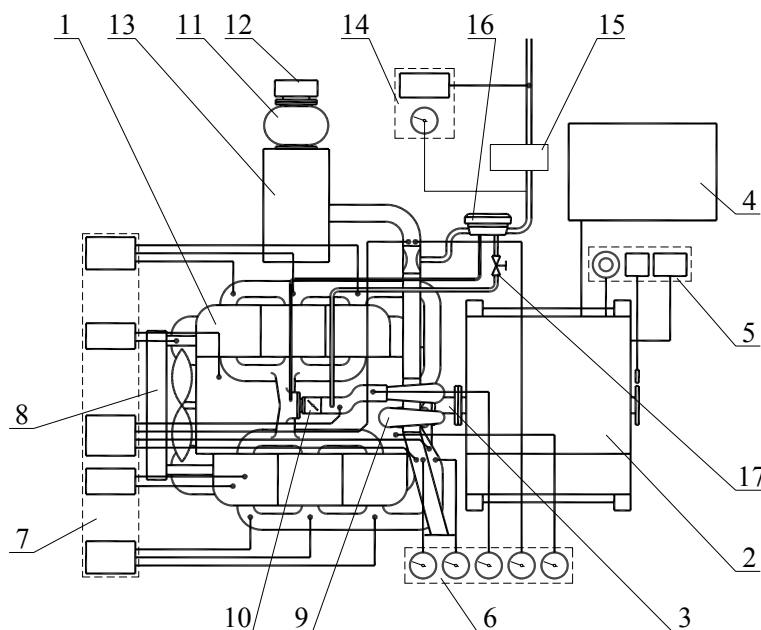


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – двигатель 6ГЧН 13/14; 2 – балансирная машина; 3 – карданная передача; 4 – нагрузочные реостаты; 5 – блок управления нагрузкой; 6 – блок контроля давлений; 7 – блок контроля температур; 8 – радиатор; 9 – турбокомпрессор; 10 – дроссельная заслонка; 11 – счетчик расхода воздуха; 12 – фильтр воздушный; 13 – ресивер; 14 – блок регистрации параметров газа; 15 – счетчик расхода газа; 16 – двухступенчатый газовый редуктор; 17 – байпасный вентиль

Приборы, необходимые для контроля температурных режимов работы двигателя, объединены в блок контроля температур. Данным блоком контролируются следующие параметры: температура воздуха на входе и выходе из компрессора, температура отработавших газов на входе и выходе из турбины, температура нижней плиты и межклапанной переключки головки блока цилиндров, температура охлаждающей жидкости и масла. Перечисленные выше параметры регистрируются многофункциональным одноканальным измерителем-регулятором ОВЕН ТРМ-1. Данные о температуре отработавших газов каждого из цилиндров выводятся на шкалы приборов милливольтметров типа Ш4541.

Замер расходов воздуха и газового топлива, расходуемого двигателем, осуществляется счетчиком расхода воздуха РГ-1000 11 и счетчиком расхода газа G-25 DELTA 2040/40 15. Двигатель оборудован серийно выпускаемым турбокомпрессором ТКР-9, параметры работы которого регистрируются выше описанными контрольно-измерительными приборами.

Выбранное оснащение стенда позволяет осуществлять контроль и производить замеры всех необходимых параметров двигателя с требуемой точностью.

На экспериментальном стенде предусмотрен канал для индицирования, а также вмонтирован штуцер для отбора отработавших газов газоанализатором. Отвод отработавших и картерных газов производится вытяжной вентиляцией в атмосферу.

Особенностью данной экспериментальной установки является то, что она более чем на 90 % оснащена стандартными узлами и деталями.

### Особенности устройства и монтажа систем зажигания

Задействованной для проведения испытаний является система зажигания высокой энергии, разработанная немецкой фирмой Heinzmann GmbH & Co. Применяемая система зажигания позволяет воспламенять топливоздушные смеси с коэффициентом избытка воздуха, равным  $0,8 \div 1,6$ .

Система зажигания фирмы Heinzmann спроектирована для работы на промышленных газовых ДВС мощностью от 50 кВт до 8 МВт, которые в качестве основного моторного топлива используют как природный газ, так и биогаз.

Для реализации этой задачи система зажигания обладает такими характеристиками и функциями:

- накопление энергии в емкости конденсатора;
- импульс напряжения вторичной цепи до 60 кВ;
- регулируемая энергия зажигания в диапазоне от 40 до 280 мДж;
- функция измерения длительности искрового разряда в каждом рабочем цикле каждого цилиндра и оценки качества искрового разряда;
- оперативное управление углом опережения зажигания, как в ручном, так и в автоматическом режиме по заранее записанной характеристической карте;
- подробная диагностика неисправностей элементов системы зажигания;
- возможность работы на ДВС с различным порядком работы цилиндров;
- возможность синхронизации с помощью различной сенсорики валов ДВС;
- прочие периферийные функции, предназначенные для согласования с сопутствующими системами управления.

Отличительной особенностью системы зажигания фирмы Heinzmann является функция диагностики процесса искрообразования и отклонений в работе элементов цепей зажигания, что повышает уровень надежности работы системы и уровень безопасности индустриального газового ДВС как взрывоопасного объекта.

Система зажигания состоит из электронного блока управления, сенсорики на валах двигателя для синхронизации системы, датчика абсолютного давления, группы индивидуальных катушек зажигания (по одной на каждый цилиндр), высоковольтных проводов, тефлоновых удлинителей со встроенными резисторами и свечей зажигания.

В качестве сенсорики синхронизации системы была выбрана наиболее простая конфигурация определения положения валов двигателя с использованием одного маркерного диска и индуктивного датчика положения. Маркерный диск является стандартным элементом системы зажигания фирмы Heinzmann, чья геометрия совпадает с зубчатыми венцами систем других фирм – например, Bosch, MAN, Deutz и др. Диск выполнен по схеме 12+1, т.е. на периферии диска выполнено 12 проточек, обеспечивающих рав-

номерность и точность момента искрообразования системы, и одна проточка предназначена для синхронизации работы по первому цилиндру.

#### Устройство и работа системы питания газового двигателя

Состав и назначение основных составляющих элементов подробно описан в работе [1].

Отличительной особенностью приведенной схемы (рис. 2) является то, что между дроссельной заслонкой 5 и газовым смесителем 21 установлен турбокомпрессор 6.

Наличие байпасного вентиля 8 обеспечивает подачу дополнительной порции газа только в момент пуска двигателя.

Система питания газового двигателя работает следующим образом. Газ из баллонов 1 через расходные вентили 20 и 19 поступает в газовый редуктор высокого давления (ГРВД) 15, где его давление понижается до 1,4–1,1 МПа. До поступления в ГРВД газ предварительно нагревается в жидкостном подогревателе 17. Перед выходным штуцером ГРВД размещен датчик 14 сигнализатора падения давления с предохранительным клапаном. Предохранительный клапан срабатывает, когда давление газа достигает уровня 1,6 – 1,7 МПа. Установленный на входе в ГРВД фильтр улавливает механические частицы, размер которых составляет 50 мкм и более. Далее газ через расходный вентиль 13 по трубопроводам подается к газовому счетчику 12 и затем поступает на электромагнитный клапан 11. В корпусе электромагнитного клапана установлен фильтр очистки газа от механических частиц, размер которых менее 50 мкм. При неработающем двигателе, когда отсутствует питание на катушке электромагнита, клапан находится в закрытом состоянии. В противном случае клапан открыт и газ, протекая через фильтр, подается на вход газового редуктора низкого давления (ГРНД) 9. ГРНД представляет собой двухступенчатый автоматический клапан диафрагменного типа с рычажной передачей от диафрагмы к клапанам. Вторая ступень ГРНД обеспечивает снижение давления, близкого к атмосферному, а также поддержание его в широком диапазоне изменения скоростных и нагрузочных режимов двигателя.

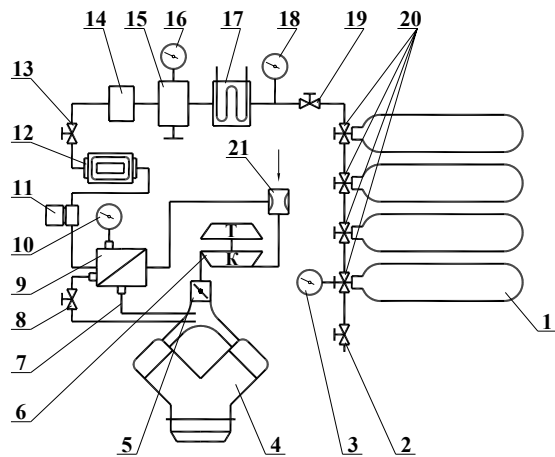


Рис. 2. Схема системы питания газового двигателя 6ЧНГ 13/14 (для стендовых испытаний): 1 – секция газовых баллонов; 2 – наполнительный вентиль; 3, 10, 16, 18 – манометры; 4 – двигатель; 5 – дроссельная заслонка; 6 – турбокомпрессор; 7 – трубка разгружающего устройства ГРНД; 8 – байпасный вентиль; 9 – газовый редуктор низкого давления; 11 – электромагнитный клапан; 12 – счетчик газовый; 13, 19 – магистральный вентиль; 14 – сигнализатор падения давления с предохранительным клапаном; 15 – газовый редуктор высокого давления; 17 – жидкостный подогреватель; 20 – расходный вентиль; 21 – газовый смеситель

Стабилизация избыточного давления газа на выходе из ГРНД обеспечивается разгрузочным устройством диафрагменно-пружинного типа. Связь разгрузочного устройства и ДВС осуществляется посредством трубки 7. Минус ГРНД, газ подается к газовому смесителю 21. Далее приготовленная и сжатая топливовоздушная смесь подается в двигатель.

**Выводы**

1. Создана экспериментальная установка, которая по своим техническим возможностям позволяет проводить серию моторных испытаний по доводке рабочего процесса газового двигателя.
2. Приведенная принципиальная схема предлагаемой экспериментальной установки для проведения стендовых испытаний газового двигателя 6ЧНГ 13/14 может быть легко модернизирована в соответствии с требованиями программы испытаний.

3. Установка на стенде системы зажигания фирмы Heinzmann дает возможность проводить масштабные исследования по оценке влияния угла опережения зажигания и энергии на электродах свечи зажигания, с целью получения высоких технико-экономических и экологических показателей двигателя.

4. Конструкция стенда позволяет заменить эжекционную систему питания газом системой распределенной подачи газа во впускной коллектор в область впускного клапана каждого цилиндра.

**Литература**

1. Богомолов В.А. Особенности конструкции экспериментальной установки для проведения исследований газового двигателя 6Ч 13/14 с искровым зажиганием / В.А. Богомолов, Ф.И. Абрамчук, В.М. Манойло и др. // Вестник ХНАДУ: сб. научн. тр. – 2007. – №37. – С. 43–47.
2. Абрамчук Ф.И. Пути повышения технико-экономических показателей газовых двигателей с искровым зажиганием / Ф.И. Абрамчук, В.М. Манойло, А.Н. Кабанов и др. // Двигатели внутреннего сгорания: сб. научн. тр. – 2010. – №1. – С. 7 – 11.
3. Бганцев В.Н. Газовый двигатель на базе четырехтактного дизеля общего назначения / В.Н. Бганцев, А.М. Левтеров, В.П. Мараховский // Техно-plus. – 2003. – №10. – С. 74–75.
4. Захарчук В.И. Переоборудование дизелей в газовые двигатели с искровым зажиганием / В.И. Захарчук, И.С. Козачук, О.В. Захарчук // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – №4(4). – С. 50–53.
5. Гайворонский А.И. Перевод дизеля КамАЗ-740.13-260 на газовое топливо / А.И. Гайворонский, Г.С. Савельев // Грузовик &. – 2006. – №6. – С. 16–20.
6. Абрамчук Ф.И. Экспериментальная оценка теплового состояния элементов головки цилиндров газового двигателя 6Ч 13/14 / Ф.И. Абрамчук, В.М. Манойло, В.С. Червяк и др. // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – 2008. – №23. – С. 120–124.

Рецензент: А.Н. Пойда, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 11 июля 2011 г.