

УДК 621.43.016

**А. В. ТРИНЁВ**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;  
**Д. Г. СИВЫХ**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;  
**С. В. ОБОЗНЫЙ**, инж. НТУ «ХПИ»;  
**Е. В. СИНЯВСКИЙ**, студент НТУ «ХПИ»;  
**О. Ю. ПИЛИПЕНКО**, студент НТУ «ХПИ»

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ КЛАПАННОГО УЗЛА АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Повышение надежности деталей клапанного узла и зоны межклапанной перемычки головки цилиндров форсированных автотракторных дизелей достигается за счет введения автоматизированной системы локального воздушного охлаждения седла выпускного клапана.

**Ключевые слова:** клапан, регулирование, охлаждение, седло, микроконтроллер.

**Введение.** Разработка конкурентоспособных конструкций двигателей внутреннего сгорания, которые отвечают высоким показателям по топливной экономичности, надежности требует проведения детальных расчетных и экспериментальных исследований теплонапряженного состояния (ТНС) наиболее нагруженных деталей камеры сгорания (КС), в частности головки цилиндров (ГЦ) и клапанного узла выпускного клапана. При этом конечным результатом таких исследований должны стать обоснованные практические рекомендации, которые бы позволили снять для дизелей серийного производства проблемы с надежностью клапанного узла и ГЦ (прогары клапанов, седел, межклапанной перемычки). Как показали длительные исследования, моторные и безмоторные эксперименты, проведенные на кафедре ДВС НТУ «ХПИ», эффективным средством повышения надежности указанных деталей может стать локальное охлаждение (ЛО) сжатым воздухом зоны межклапанной перемычки, позволяющее снизить температуры седла выпускного клапана, опорной, наиболее теплонапряженной зоны самого клапана, устранить или уменьшить температурные градиенты в межклапанной перемычке. Однако в проведенных ранее исследованиях управление подачей охладителя к ГЦ осуществлялось в ручном режиме, таким же образом выбиралось и поддерживалось давление сжатого воздуха на входе в ГЦ. Таким образом, полученные положительные результаты по улучшению ТНС на макетных образцах, не могут быть практически реализованы на двигателях серийного производства. Постоянный подвод охладителя с постоянным давлением, как на частичных, так и наиболее теплонапряженных, критических режимах требует существенных затрат мощности двигателя и ухудшает его экономичность. Решением поставленной задачи, на наш взгляд, может стать разработка автоматического регулирования теплового состояния (САРТС) клапанного узла.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Основой для разработки САРТС клапанного узла, как отмечалось, являются результаты ранее проведенных на кафедре ДВС НТУ «ХПИ» моторных и безмоторных исследований. Рассмотрим основные из полученных результатов. Так в работе [1] приведены результаты экспериментального исследования температурного состояния седла выпускного

© А. В. Тринев, Д. Г. Сивых, С. В. Обозный, Е. В. Синявский, О. Ю. Пилипенко, 2012

клапана дизеля 4ЧН12/14 с системой ЛО. В серийном седле по наружной поверхности была выполнена проточка с образованием кольцевой полости, к которой подводился охлаждающий воздух под давлением. Охладитель обтекал седло и выходил в выпускной тракт через три сквозных отверстия. Регистрация температур проводилась в трех контрольных точках (хромель-алюмелевые термопары) с помощью тензометрического комплекса СИИТ-3, оборудованного приставкой для термометрии, что позволяло определять температуры как на установившихся, так и на переходных режимах сброса-наброса нагрузки. Испытания дизеля с системой ЛО проводились на нагрузочной характеристике на режимах с  $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$  и  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$  ( $N_e=115 \text{ кВт}$ ,  $n=2000 \text{ мин}^{-1}$ ). Избыточное давление охлаждающего воздуха изменялось в пределах от 0,1 до 0,2 МПа. Эксперимент подтвердил заметный разброс температур по периметру седла как для неохлаждаемого варианта (211–232 °С), так и охлаждаемого (183–221°С). Охлаждение седла в целом, без внесения существенных конструктивных изменений в конструкцию ГЦ, обеспечило снижение температуры наиболее ответственной зоны – опорной фаски для различных режимов в среднем на 30 – 50 °С. Усиление эффекта потребовало усовершенствование геометрии воздухоподводящих каналов, в частности перехода к транзитной системе циркуляции охладителя без выхода в выпускной тракт, увеличение площади теплообменной поверхности седла.

В ходе безмоторного эксперимента [2] исследовалось тепловое состояние отсека ГЦ дизеля 4ЧН12/14. Отсек оснащался термопарами в зоне вставных седел, были выполнены дополнительно воздухоподводящие полости и каналы. Нагрев отсека до заданного температурного состояния (восстанавливался по результатам моторных экспериментов) осуществлялся с помощью плавильной электропечи. Контролировались расход и давление охлаждающего воздуха, создаваемые автономным поршневым компрессором. Давление воздуха на входе в ГЦ изменялось в пределах от 0,1 до 0,3 МПа. Достигнутый эффект по снижению температуры при избыточном давлении 0,3 МПа в среднем составил 50 – 60°С на периферийных участках огневого днища и 80 – 120°С вблизи седел клапанов.

С использованием описанного безмоторного стенда в работе [3] оценивалась эффективность ЛО индивидуальной ГЦ дизеля КамАЗ-740. Опытные седла были выполнены с увеличенной теплоотводящей поверхностью, термопары устанавливались на впускном и выпускном клапанах и по днищу ГЦ, схема размещения термопар приведена далее на рис. 2. Давление охладителя изменялось в пределах от 0,1 до 0,3 МПа. Отмечается существенно больший эффект снижения температуры (100 – 130°С), достигнутый за счет более высокой теплопроводящей способности материала ГЦ (алюминиевый сплав) по сравнению с экспериментом [2] (серый чугун).

Современное состояние САПС деталей ДВС всесторонне проанализировано в работе [4]. Отмечается, что автоматическое управление тепловым состоянием ДВС является не только эффективным средством повышения надежности, но затрагивает также вопросы качества сгорания в цилиндрах, топливную экономичность. Поддержание оптимального теплового состояния деталей ЦПГ определяет затраты на привод устройств, обеспечивающих интенсификацию охлаждения деталей КС с ростом нагрузки. Причем уменьшение этих затрат без ухудшения теплового состояния деталей является существенным резервом повышения эффективного КПД двигателя.

В настоящее время электронное авторегулирование, как правило, осуществляется по выходным сигналам, например по нагрузке и температуре отработавших газов. Современные компьютерные блоки управления тепловым состоянием ДВС могут выполнять функции: отключение вентилятора системы

охлаждения, отключение на частичных режимах подачи масла на охлаждение поршня; перепуск на частичных режимах части наддувочного воздуха перед его охлаждением в атмосферу; отключение потока охлаждающей жидкости, омывающей зону гильзы цилиндра вблизи НМТ на частичных режимах.

Для реализации этих функций сегодня предлагаются компьютерные блоки управления, выполняющих функции двухпозиционных выключателей. Блоки управления включают терморегуляторы непрямого действия с управлением от бортовой микро-ЭВМ. Настройка терморегуляторов проводится с учетом принятого способа автоматического регулирования теплового состояния и программы управления (в виде зависимости теплового состояния детали от  $Ne$  и  $n$ ) [4].

Проведенный анализ литературных источников также показал отсутствие практически реализованных разработок в области авторегулирования ЛО клапанного узла. Известные авторам предложения носят самый общий характер и встречаются в основном в формулах изобретений.

**Цель и постановка задачи.** Целью исследования является улучшение технико-экономических показателей современных форсированных быстроходных дизелей автотракторного типа за счет практической реализации управляемого автоматически ЛО деталей клапанного узла и ГЦ.

Для достижения поставленной цели на начальном этапе предполагалось решить такие задачи:

- усовершенствовать (дополнить) конструкцию безмоторного стенда для исследования теплового состояния ГЦ, реализовать автоматическое включение и отключение подачи охлаждающего воздуха в зависимости от задаваемых температур;
- выбрать или разработать конструкцию исполнительного механизма (элемента) в системе управления, проверить его работоспособность в безмоторном эксперименте;
- разработать алгоритм управления и электронную схему для его реализации;
- проверить в безмоторном эксперименте работоспособность системы управления.

**Исследование в безмоторном эксперименте САРТС клапанного узла.** Для проведения безмоторного эксперимента использовалась комплектация стенда, описанная в работе [3], но с внесением дополнений. Схема модернизированного безмоторного стенда изображена на рис. 1. Объектом исследования является ГЦ дизеля КамАЗ, оснащенная термопарами и содержащая каналы системы ЛО. Схема размещения термопар на ГЦ представлена на рис. 2.

Принцип работы системы автоматического регулирования ЛО клапанного узла заключается в подаче воздуха из накопительных баллонов под избыточным давлением 0,1...0,3 МПа через специальные каналы диаметром 6 - 7 мм, выполненные в ГЦ двигателя, с выходом продуктов продувки в атмосферу. Предполагается два режима, обеспечивающих отбор тепла:

- дросселированием воздуха в зависимости от теплового состояния объекта с целью обеспечения оптимального уменьшения температуры седла выпускного клапана;
- с полным открытием регулятора подачи воздуха для скорейшего охлаждения седла выпускного клапана и самого выпускного клапана.

Регулирование ЛО управляется микропроцессорной системой. При включении питания регулятор подачи воздуха 9 устанавливается в полностью закрытое положение. В процессе открытия-закрытия мигает зеленый (HL1)-красный (HL2) светодиод (блок

15, см. рис.1). В крайних положениях – полное открытие-закрытие соответствующий светодиод горит непрерывно. После установки в исходное положение регулятора подачи воздуха (РПВ), начинается проверка температуры, измеряемой термопарой 11. При превышении заданной верхней граничной температуры произойдет открытие РПВ, и через открытый канал воздух начнет поступать к седлу выпускного клапана. В открытом положении регулятор будет удерживаться, пока температура не станет меньше заданной граничной нижней. При этом будет происходить постоянный контроль давления воздуха в подающей системе. Если давление упадет ниже критического, то регулятор будет закрыт. В закрытом положении он будет удерживаться до наполнения баллонов воздухом, после чего возобновится проверка температуры и возможно произойдет открытие регулятора.

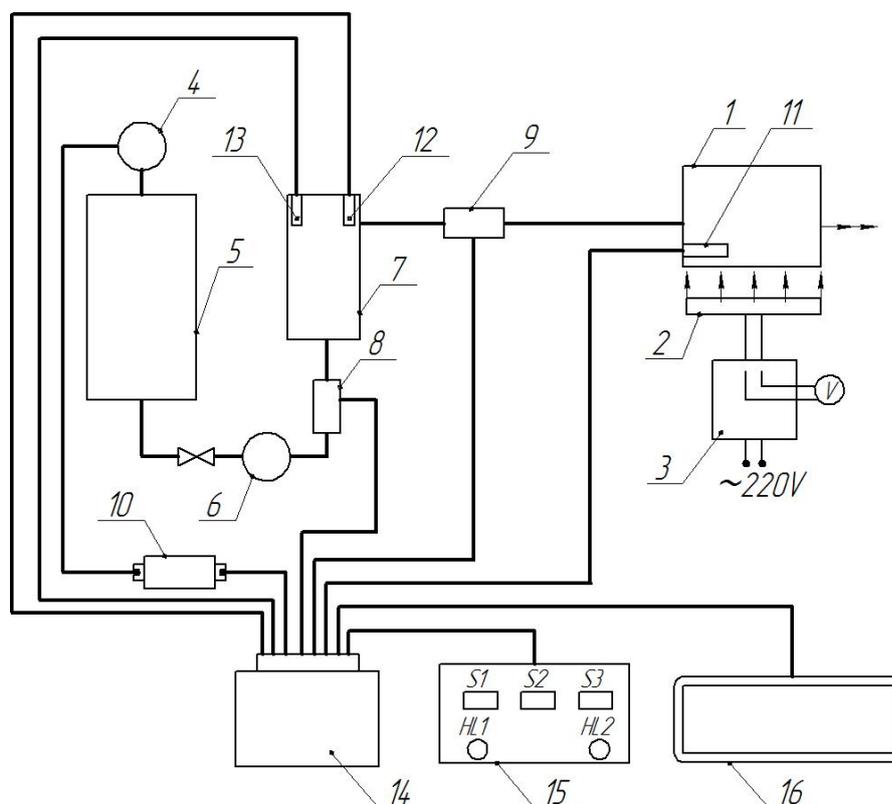


Рисунок 1 - Структурная схема системы автоматического регулирования ЛО клапанного узла: 1- головка цилиндров; 2 - электропечь; 3 - трансформатор; 4 - компрессор; 5 - ресивер; 6 - расходомер РГ- 40; 7 - расширительный бачок; 8 - запорный электромагнитный клапан; 9 - регулятор подачи воздуха; 10 - реле компрессора; 11 - термопара; 12 - датчик температуры воздуха; 13 - датчик давления; 14 - блок управления; 15 - панель управления; 16 - дисплей.

Существует возможность при нахождении РПВ в открытом состоянии выполнить принудительное его закрытие по нажатию кнопки S2 в схеме управления. После нажатия произойдет закрытие и удержание в таком положении в течение 30 секунд, после чего возобновится алгоритм проверки температуры. Если температура, измеряемая термопарой, не превышает заданной, то возможно открытие регулятора по нажатию кнопки S1. При этом нахождение в открытом состоянии ограничено 30-тью секундами. Если в это время нажать кнопку ручного закрытия S2

регулятор закривається з можливістю відкрити його одразу. В протилежному випадку після истечения 30-ти секунд произойдет закрытие на 30 секунд.

Кнопка S3 позволяет выполнять настройку хода регулятора подачи воздуха. Для перехода к настройке нужно нажать кнопку S3 и удерживать ее до окончания настройки. Настройка выполняется относительно полностью закрытого состояния, поэтому если регулятор будет открыт в момент нажатия кнопки S3, то произойдет его закрытие. О переходе в режим настройки свидетельствует одновременное включение светодиодов HL1 и HL2. После перехода к настройке кнопки S1 и S2 при разовом нажатии смещают запорный орган РПВ на один шаг в сторону открытия или закрытия соответственно. При удержании кнопок S1 или S2 происходит добавление шага в соответствующем направлении приблизительно каждые 0,25 секунды. При этом каждый шаг отмечается коротким зажиганием светодиода, соответствующего направлению движения. После установки необходимого положения регулятора кнопка S3 отпускается. Происходит выход из режима настройки. Данные о заданном смещении записываются в энергонезависимую память, для использования при последующих запусках. Такая настройка необходима при регулировке герметичного прилегания клапана 8 после установки РПВ.

На жидкокристаллическом дисплее 16 возможно отображение информации о давлении воздуха и температуре воздуха в расширительном бачке 7, температуре седла выпускного клапана (т. 5, см. рис.2), а также времени до закрытия (возможности повторного открытия) РПВ.

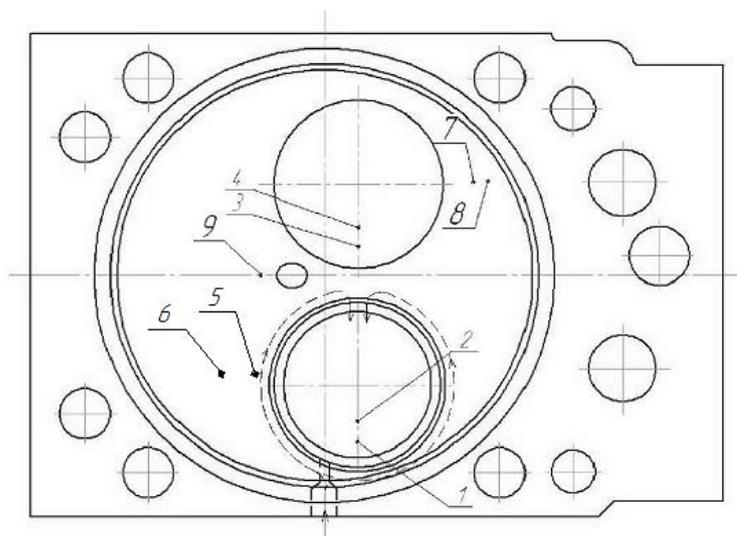


Рисунок 2- Схема размещения термопар на ГЦ

Система управления выполнена на базе микроконтроллера ATMega16 фирмы Atmel, который работает с тактовой частотой 8 МГц. Напряжение внешнего источника +12В стабилизируется микросхемой LM1815 на уровне +5В для питания всех узлов схемы.

В качестве первичного преобразователя температуры используется термопара хромель-алюмель, термо-эдс которой усиливается операционным усилителем. Операционный усилитель рассчитан на измерение температуры до 1000<sup>0</sup>С. Калибровка измерительной цепи температуры производилась по показаниям контрольной термопары промышленного мультиметра VC9805A+ с функцией измерения

температуры. Обе термопары помещались в поток горячего воздуха, создаваемого в сопле термофена паяльной станции. Зависимость напряжения на выходе усилителя сигнала термопары от температуры снималась для значений от 50 до 450<sup>0</sup>С через каждые 50<sup>0</sup>С. Приняв линейную зависимость параметров, для данного участка было получено аналитическое выражение, по которому можно найти измеряемую температуру для любого значения напряжения во всем диапазоне измерений. Усиленный сигнал подается на вход внутреннего аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера. АЦП настроен на работу в 10-ти битном режиме. В качестве опорного напряжения используется +5В, которое поступает на соответствующий вход микроконтроллера от стабилизатора напряжения. С помощью микроконтроллера, по записанному в памяти выражению определяется температура, как функция от регистрируемого на входе АЦП напряжения. Таким образом, точность измерения температуры, обеспечиваемая каналом АЦП, на уровне  $\pm 1$  <sup>0</sup>С, а с учетом погрешностей в калибровке не более  $\pm 2,5$  <sup>0</sup>С.

Микроконтроллер, выполняет программу из внутренней Flash-памяти. На линиях выходного порта, в зависимости от показаний термопары, выставляются сигналы управления регулятором подачи воздуха, который полностью открывает или закрывает канал продувки. В качестве регулятора 9 использовался промышленный регулятор холостого хода, устанавливаемый в системах комплексного управления двигателями семейства ВАЗ (рис.3). Этот элемент выполнен на основе шагового



Рисунок 3 – Регулятор подачи воздуха

электродвигателя, дискретное вращение вала которого через передачу винт-гайка преобразуется в поступательное движение запорного наконечника. Для обеспечения логики работы шагового электродвигателя использовалась схема контроллера на микросхемах L297, и L298. Микросхема L297 содержит логику формирования временных последовательностей и позволяет управлять пуском или остановкой шагового электродвигателя, направлением и скоростью вращения его вала. Микросхема L298 представляет собой мощный сдвоенный H-мост и выполняет функцию формирователя выходного управляющего сигнала необходимой мощности для шагового электродвигателя.

Жидкокристаллический дисплей в прототипе системы управления не применяется. Вся необходимая исследовательская информация с частотой 5 раз в секунду передается через линии последовательного обмена UART микроконтроллера и преобразователь интерфейсов на базе MCP2200 на порт USB ноутбука. Каждая

посылка включает в себя текущее время (до миллисекунд), напряжение на выходе с усилителя сигнала термопары, измеряемую температуру и состояние регулятора подачи воздуха (0 – закрыт, 1 – открыт). Эти данные для последующей обработки записывались на жесткий диск компьютера в виде текстового файла.

Предварительно проверка работоспособности системы выполнялась с использованием кипящих жидкостей. Так, в качестве температур срабатывания системы ЛО были заданы 150 °С на открытие РПВ и 100 °С на его закрытие. После включения устройства термопара помещалась в нагретое до 150 °С масло (результат измерения по контрольному термометру). Анализ передаваемых микропроцессорной системой данных показал, что зарегистрировано плавное нарастание напряжения на выходе усилителя, и открытие РПВ произошло вовремя (температура выше 150 °С), однако установившееся показание температуры испытываемого устройства составило 153,7 °С. После этого термопару поместили в кипящую воду с температурой 99,2 °С (по контрольному прибору), регистрируемая испытываемым устройством температура понизилась до 101,2 °С. Это не привело к закрытию клапана. Как только вода немного остыла, и термопарой была зарегистрирована температура менее 100 °С, произошло закрытие РПВ. В результате такой проверки было установлено, что погрешность измерений находится в пределах  $\pm 2,5\%$ , а алгоритм работы микропроцессорной системы выполняется без ошибок.

Следующим этапом проверки работоспособности системы был собственно безмоторный эксперимент на стенде. Давление воздуха на входе в ГЦ поддерживалось в ручном режиме на уровне 0,18 – 0,2 МПа. Производился нагрев ГЦ до рабочих температур, в программу управления вносились верхняя и нижняя граничные температуры, при достижении которых срабатывал РПВ. На рис. 4 приведен график изменения температуры в точке 5 головки от момента включения подачи воздуха

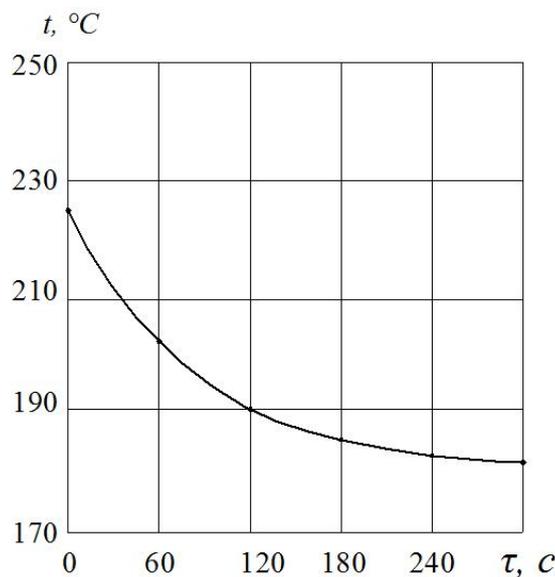


Рисунок 4 – Изменение температуры в контрольной точке 5 при подаче охладителя

регулятором и его выключения, построенный на основе информации, поступившей на жесткий диск ПК в виде текстового файла.

### Выводы

В результате проведенного экспериментального исследования на безмоторном стенде необходимо отметить:

- эксперимент показал возможность автоматического управления системой ЛО клапанного узла;
- разработанная САПТС клапанного узла подтвердила свою надежность в условиях безмоторного эксперимента;
- полученные результаты будут использованы при подготовке моторного эксперимента, в котором в качестве задающего параметра планируется использовать температуру отработавших газов, а также контролировать и задавать давление охлаждающего воздуха на входе в ГЦ двигателя.

**Список литературы:** 1. Результаты экспериментального исследования теплового состояния седла выпускного клапана в условиях локального охлаждения / А. В. Тринев, П. Д. Гончар, А. Н. Авраменко // Вестник науки и техники. Вып. 1 (20) 2005. с. 21 – 27. 2. Исследование условий локального воздушного охлаждения днища головки цилиндров с использованием безмоторного стенда / А. В. Тринев, А. Н. Авраменко, С. В. Обозный, В. И. Вахрушев // Двигатели внутреннего сгорания. 2007. №1 с. 31 – 38. 3. Оценка эффективности локального охлаждения головки цилиндров двигателя КамАЗ в безмоторном эксперименте / А. В. Тринев, В. Т. Коваленко, С. В. Обозный, А. Н. Клименко // Двигатели внутреннего сгорания. 2011. №2. с. 19 – 24. 4. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього сгорання: Серія підручників у 6 томах. т. 3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ / за ред. проф. А. П. Марченко та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. – Харків: Прапор, 2004. – 344с.

*Поступила в редколлегию 15.11.2012*

УДК 621.43.016

**Разработка системы автоматического регулирования теплового состояния клапанного узла автотракторного дизеля / А. В. Тринёв, Д. Г. Сивых, С. В. Обозный, Е. В. Синявский, О. Ю. Пилипенко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012. – № 60 (966). – С. 90–97. – Бібліогр.: 4 назв.**

Підвищення надійності деталей клапанного вузла і зони міжклапанної перетинки головки циліндрів форсованих автотракторних дизелів досягається за рахунок запровадження автоматизованої системи локального повітряного охолодження сідла выпускного клапана.

**Ключові слова:** клапан, регулювання, охолодження, сідло, мікроконтролер.

Improving the reliability of parts and the valve assembly area between the valve bridges, cylinder head uprated automotive diesel engines is achieved through the introduction of an automated system of local air cooling saddle valve.

**Key words:** valve, regulation, cooling, saddles, microcontroller.