

УДК 621.432.3

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА НАПОЛНЕНИЯ ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ДОЗАРЯДКИ

С. Н. АТАНОВ<sup>1</sup>, Р. Д. ЕНИКЕЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Atanov.SN@net.UGATU.SU, <sup>2</sup>rust\_en@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 16.12.2016

**Аннотация.** В развитие теории газообмена двигателей внутреннего сгорания Б. П. Рудого экспериментально исследован новый метод дозарядки. Метод обеспечивает интенсифицированную дозарядку с помощью волны сжатия, которая генерируется в процессе выхлопа. С этой целью двигатель включает в себя настроенные трубы впуска, выпуска и дополнительную трубу для передачи волны между ними, с двумя дополнительными обратными клапанами, установленными на входе воздуха в газо-воздушный тракт. Сравнительные испытания проводились на испытательном стенде с двигателем. Показано, что крутящий момент двигателя увеличивается на 9,8%.

**Ключевые слова:** четырехтактный двигатель внутреннего сгорания, коэффициент наполнения, выпуск, выхлоп, дозарядка, волна, настройка, впуск, волновой обменник давления.

### ВВЕДЕНИЕ

Поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС) до сих пор являются одним из основных источников механической энергии. Наиболее широко распространены ДВС без агрегатов наддува. Эффективность ДВС во многом определяется газообменом. Качество газообмена ДВС, в том числе поршневой части комбинированного двигателя, определяется коэффициентом наполнения. Для оценки эффективности газообмена и ДВС в целом применяют и другие удельные показатели: среднее эффективное давление и литровой момент.

В статье рассматриваются результаты экспериментальной проверки гипотезы о возможности повышения максимального коэффициента наполнения четырехтактного ДВС с индивидуальными для каждой рабочей камеры настроенными каналами впуска и выпуска посредством интенсификации дозарядки за счет использования волны сжатия, генерируемой в процессе выпуска.

### СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Первые патенты, относящиеся к использованию эффектов колебания давления в газозоообменном тракте (ГВТ) для газообмена авиационных пульсирующих воздушно-реактивных

двигателей Ш. де Луврье и А. П. Телешова появились в 1867 г. [1, с. 34–39; 2, с. 11–12]. Первые эксперименты, показавшие значительное повышение наполнения ДВС за счет организации интенсивных колебаний давления в выпускном тракте ДВС для обеспечения продувки проведены Аткинсоном и Кросслеем в 1893 г., а результаты исследований колебаний давления в системе впуска поршневого компрессора для дозарядки напечатаны в журналах «Glucauf» и «VDJ» в 1904 г. [3, с. 7].

Максимальный коэффициент наполнения в четырехтактных ДВС получен (в середине прошлого века) на двигателе NSU и составляет 1,3 [4, с. 75]. Такой высокий коэффициент наполнения получен на относительно конструктивно несложном ГВТ, содержащем индивидуальные для каждого цилиндра впускные и выпускные трубы. Для этого проведено около 60 000 опытов для согласования (настройки) проходных сечений и длин каналов впуска и выпуска, фаз газораспределения с рабочим объемом и частотой вращения [3, с. 55].

В 60–70-х годах прошлого века Б. П. Рудым [3] разработана теория газообмена ДВС, в которой на основе механики сплошной среды, анализа известных и собственных экспериментальных и теоретических работ построена модель газообмена в ГВТ и объяснен ее механизм, как

конечно-волновой. Существенное повышение наполнения объяснено возникновением, движением, преобразованием (отражением) в настроенной части ГВТ и воздействием на рабочую камеру отраженных, уединенных (по терминологии Б. С. Стечкина) волн конечной амплитуды (сжатия и разрежения). Отраженные волны в ГВТ ДВС изменяют давление перед органами газообмена и обеспечивают продувку и дозарядку рабочей камеры. Совмещенная графическая схема анализа ГВТ приведена в [5, с. 45].

Б. П. Рудым разработаны математические модели и с коллегами созданы программа расчетов газообмена ДВС на ЭВМ [6] и система имитационного моделирования «Альбея» [7]; А. А. Черноусовым эта система модернизирована в программу «HorsepowerLab 1D» [8].

Б. П. Рудым выявлена оптимальная схема ГВТ ДВС, в которой вспомогательные элементы ГВТ (фильтры, глушители и т.д.) сообщаются с настроенной частью через ресиверы. Настроенная часть представляет собой индивидуальные для каждой рабочей камеры настроенные каналы впуска и выпуска, выходящие в соответствующие общие ресиверы. Согласно теории, при выпуске газов в выпускном канале формируется волна сжатия, движущаяся к открытому в окружающую среду или ресивер концу выпускной трубы. На конце выпускного канала (трубы), волна сжатия отражается волной разрежения. Эта волна разрежения, при возвращении к рабочей камере, снижает давление в канале перед выпускным клапаном и обеспечивает продувку. При всасывании свежего заряда в рабочую камеру ДВС из впускного канала в нем перед клапаном формируется волна разрежения. Эта волна распространяется по впускной трубе и отражается от открытого в окружающую среду или ресивер конца волной сжатия. Она возвращается и дозаряжает рабочую камеру ДВС в конце процесса впуска. Настройка (подбор геометрии) элементов ГВТ, а именно площадей поперечных сечений и длин впускных и выпускных каналов, фаз газораспределения и время-сечений клапанов (окон), позволяет использовать располагаемую работу газов (свежего заряда или продуктов сгорания) в рабочей камере ДВС на определенной частоте циклов.

Б. П. Рудым получена формула предельного коэффициента наполнения для оптимальной схемы ГВТ [3, стр. 64–65]. Фактически эта формула представляет собой произведение двух коэффициентов, каждый из которых больше единицы. Один – геометрический коэффициент объема

$$\varepsilon/(\varepsilon-1),$$

где  $\varepsilon$  – степень сжатия.

Геометрический коэффициент объема показывает во сколько раз рабочая камера ДВС больше ее рабочего объема. Этот коэффициент определяет предельную возможность увеличения наполнения за счет полной продувки камеры сгорания. Другой – коэффициент дозарядки, равный 1,33, показывает увеличение массы воздуха в рабочей камере в результате прихода отраженной волны сжатия. Волна сжатия оказывает сложное воздействие на процесс дозарядки, но определяющее воздействие оказывают повышение давления и плотности воздуха перед клапаном.

Более века предпринимаются попытки использовать повышенное давление выпуска для дозарядки рабочей камеры с помощью волновых обменников давления. Волновой обменник давления типа «Comprex» содержит ротор с каналами [9, с. 125–137]. Его недостатки – объемные впускной и выпускной коллекторы, приводные детали. Волновые обменники не реализуются на ДВС с одной рабочей камерой и нет данных о повышении ими коэффициента наполнения.

В настоящее время в наиболее распространенных и технически совершенных «атмосферных» (без агрегатов наддува) автомобильных многоцилиндровых ДВС для форсирования используют настроенные ГВТ. Наиболее сложные ГВТ имеют регулируемые элементы, обеспечивающие многоступенчатое [10, с. 38–46] или плавное изменение пути волны, а также изменение площадей поперечных сечений впускных каналов, фаз газораспределения, законов открытия клапанов при изменении частоты вращения [11, с. 112–114]. Регулирующие механизмы и системы на впуске расширяют диапазон высокого коэффициента наполнения по частоте вращения коленчатого вала.

На выпуске многоцилиндрового ДВС используют различные схемы ГВТ, в которых индивидуальные выпускные патрубки объединяются одним или несколькими коллекторами и сообщаются с выпускным ресивером. Прямой выпуск газов из индивидуальных патрубков в атмосферу используется только в некоторых гоночных ДВС, в которых нет ограничений по шуму.

Применение каталитических нейтрализаторов отработавших газов усложняет компоновку выпускных систем. Короткие выпускные патрубки группы цилиндров часто сообщаются с общим катализатором, соединенным с ресивером общей трубой. Объединение выпускных каналов уменьшает материалоемкость и потребное подкапотное пространство, но снижает эф-

фективность продувки. Усиливается вредное взаимовлияние процессов выпуска рабочих камер.

Согласно теории газообмена ДВС, максимальный коэффициент наполнения для всех этих разветвленных и регулируемых систем не может превысить теоретический предельный.

Настроенные системы впуска используют также в ДВС с турбонаддувом. Это уменьшает «эффект турбоямы» и количество переключения передач, повышает приемистость [11, с. 460–461], но при этом коэффициент наполнения не превышает предельного.

Б. П. Рудой отмечал: «часто полную продувку можно осуществить, не используя всех возможностей выпускной системы» [3, с. 62]. Т.е. можно использовать возможности выпускной системы, не ухудшая продувку. Основываясь на этом положении теории газообмена ДВС разработана гипотеза о путях повышения коэффициента наполнения четырехтактного двигателя. Предложены и исследованы схемы ГВТ с использованием волны сжатия, генерируемой в процессе выпуска для дозарядки [12–15]. Вычислительные эксперименты на имитационных моделях показали принципиальную возможность повышения коэффициента наполнения выше предельного при дополнительной дозарядке через выпускное окно [12]. Исследован также метод повышения коэффициента наполнения использованием интенсифицированной дозарядки рабочей камеры волной сжатия, генерируемой в процессе выпуска [13, 15]. Для этого случая ГВТ дополнительно к индивидуальным настроенным впускной и выпускной трубам содержит волнообменную трубу, в которую поступает часть волны сжатия, генерируемой в процессе выпуска, затем эта волна поступает во впускную трубу для дозарядки рабочей камеры. В начале и конце холодной части волнообменной трубы она сообщается с двумя впускными ресиверами с обратными клапанами. Таким образом, этот вариант ГВТ представляет собой разновидность волнового обменника давления с интенсификацией дозарядки рабочей камеры волной сжатия, генерируемой в процессе выпуска. Согласно проведенным расчетам, представленным в статье [15], повышение коэффициента наполнения бензинового двухклапанного стационарного ДВС с ГВТ, обеспечивающим интенсифицированную дозарядку, относительно этого же ДВС с ГВТ с настроенными впускной и выпускной трубами составило 11,1 %, а повышение среднего индикаторного давления и индикаторного момента – 7,41 %.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Данная статья является продолжением работы [15], в которой описаны результаты расчетов. В данной работе возможность интенсификации волновой дозарядки четырехтактного двигателя внутреннего сгорания волной сжатия, генерируемой в процессе выпуска, проверена экспериментально.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для экспериментов был использован одноцилиндровый двухклапанный бензиновый двигатель с вариантами ГВТ, для имитационных моделей которого ранее выполнены расчеты [15].

Факт повышения коэффициента наполнения рабочей камеры ДВС с интенсифицированной дозарядкой относительно ДВС с настроенными трубами впуска и выпуска предложено установить качественно, измеряя и сопоставляя крутящие моменты. Причиной такого подхода является то, что коэффициент наполнения в эксперименте для ГВТ с интенсифицированной дозарядкой измерить невозможно, т.к. часть используемого для наполнения воздуха поступает во впускную трубу, минуя основной впускной ресивер. На входе такого ресивера обычно устанавливают расходомер воздуха.

На впуск ДВС дополнительно поступает воздух через дополнительный впускной ресивер. Установка второго расходомера также не даст результата, т.к. воздух из дополнительного ресивера идет не только на наполнение рабочей камеры, но и на продувку дополнительной волнообменной трубы и частично покидает ее через выпускную трубу.

Для определения крутящих моментов ДВС с вариантами ГВТ в условиях значительного увеличения наполнения снимают регулировочную характеристику по составу смеси (расходу топлива). Далее при этих значениях часового расхода топлива снимают скоростные характеристики ДВС с этими же вариантами ГВТ.

Для выявления источника дозарядки впускной канал вблизи впускного клапана индицируют.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка содержит:

– стационарный четырехтактный бензиновый двухклапанный двигатель «УМЗ-341» [16], который дополнительно оснащен: автомобильной системой распределенного впрыска во впускной трубопровод с электрическим топливным насосом, фильтром, рампой, электроуправ-

ляемой форсункой «EV14 Long BOSH» с блоком управления подачей топлива, обеспечивающим изменение длительности импульсов подачи на частоте 100 Гц (рис. 1);

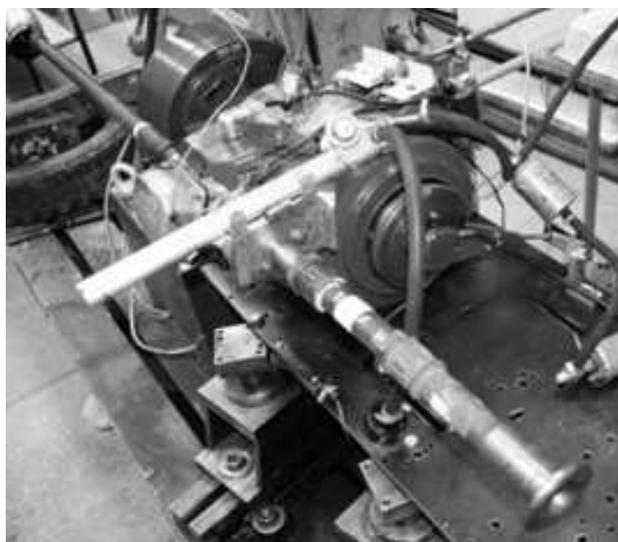


Рис. 1. ДВС с ГВТ по варианту 1 на стенде

– два варианта ГВТ: вариант 1 – настроенные трубы впуска и выпуска (рис. 1) и вариант 2 – с дополнительной, к настроенным впускной и выпускной трубам, волнообменной настроенной трубой с двумя обратными впускными клапанами, установленными перед соответствующими небольшими впускными ресиверами (рис. 2);

– индикатор австрийской фирмы «AVL List GmbH» с датчиком «GU21D», измеряющим давление во впускной трубе вблизи впускного клапана, датчиком положения коленчатого вала «Angleencoder 365C-set-multiplier», усилителем электрических аналоговых сигналов «MicroIFEM», аналогово-цифровым преобразователем «Indimodul 621», ноутбуком и программным обеспечением «IndiComv2.0» (рис. 3, 4);



Рис. 2. ДВС с ГВТ по варианту 2

– нагрузочный индукторный стенд (тормоз) «AVL-20» (рис. 1, 2), автоматически поддерживающий частоту вращения, задаваемую на пульте (рис. 3, 4);

– цифровой фотоаппарат «Canon 350D».

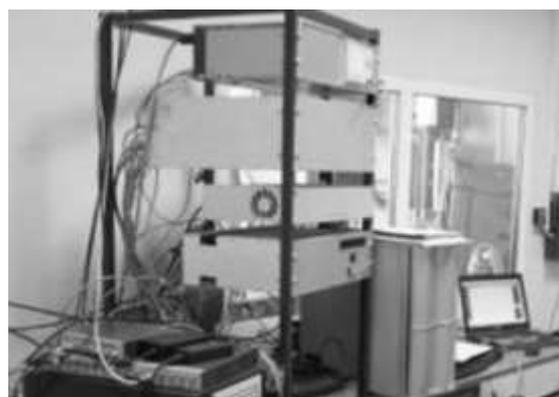


Рис. 3. Оборудование индикатора и тормоза



Рис. 4. Пульт экспериментальной установки

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Регулировочные характеристики по составу смеси при полностью открытой дроссельной заслонке показывают превышение максимального крутящего момента ДВС с ГВТ с интенсифицированной дозарядкой по варианту 2 над крутящим моментом ДВС с ГВТ с настроенными трубами впуска и выпуска по варианту 1 (рис. 5). Значит и коэффициент наполнения в ДВС с ГВТ по варианту 2 выше. Фактически регулировалась часовая подача топлива путем изменения продолжительности впрыска. Большие значения положения ручки управления подачей топлива соответствуют большей продолжительности открытого состояния форсунки и большей подаче топлива. На этой же диаграмме (рис. 5) видно, что подача топлива при максимальном значении крутящего момента ДВС с ГВТ по варианту 2 (положение ручки подачи топлива 4) больше, чем при максимальном значении крутящего момента ДВС с ГВТ по варианту 1 (положение ручки подачи топлива 2). Это свидетельствует о большем коэффициенте наполнения в ДВС с ГВТ по варианту 2.

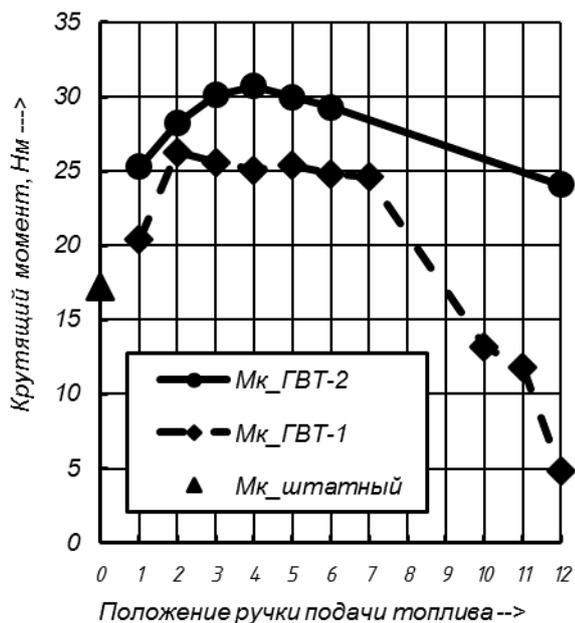


Рис. 5. Регулировочные характеристики по составу смеси ДВС с ГВТ по вариантам 1 и 2

Скоростные характеристики (рис. 6) показывают превышение крутящего момента ДВС с ГВТ с интенсифицированной дозарядкой по варианту 2 над крутящим моментом ДВС с ГВТ по варианту 1. Максимальный крутящий момент ДВС с ГВТ по варианту 2 получен на частоте вращения 3700 об/мин, которая несущественно превышает расчетную - всего на 2,8 %. Крутящие моменты ДВС с настроенными ГВТ существенно превышают и паспортное значение  $M_{к\_штат}$ , и заводскую характеристику  $M_{к\_заводской}$ .

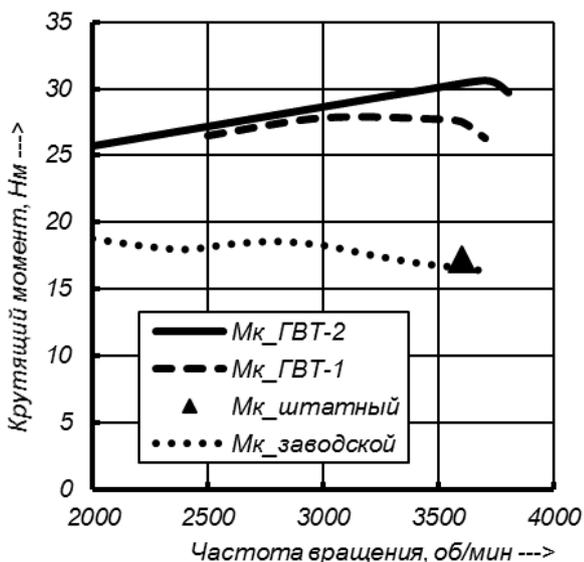


Рис. 6. Скоростные характеристики ДВС с ГВТ по вариантам 1 и 2

Наибольший зарегистрированный крутящий момент ДВС с ГВТ с интенсифицированной дозарядкой по варианту 2 составил 30,6 Нм. Это

соответствует литровому моменту 91,8 Нм/л, среднему эффективному давлению 1,15 МПа (рис. 7). Превышение крутящего момента, литрового момента и среднего эффективного давления ДВС с ГВТ по варианту 2 относительно крутящего момента ДВС с ГВТ с настроенными трубами впуска и выпуска по варианту 1 составило 8,90 %, а относительно ДВС со штатным ГВТ (его литровой момент равен 51,6 Нм/л) составило 77,9 %. Эти же параметры ДВС с ГВТ с интенсифицированной дозарядкой по варианту 2 превышают известные значения для двухклапанных автомобильных двигателей от 1 до 19 % [17, стр. 26; 18].

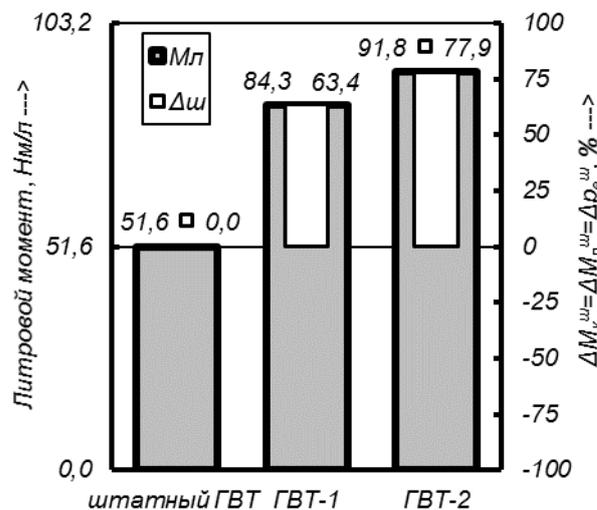
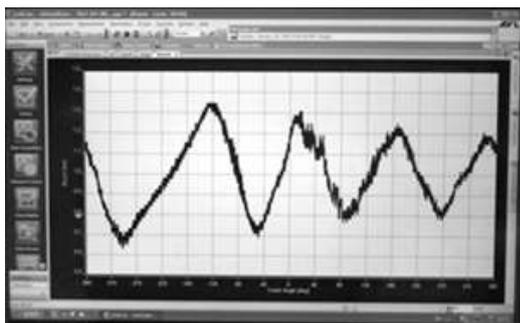


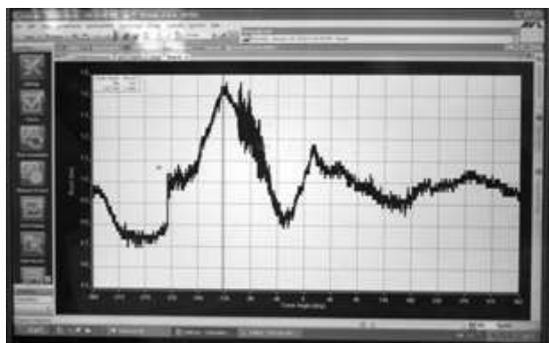
Рис. 7. Сравнение моментов ДВС с различными ГВТ

Сняты индикаторные диаграммы изменения давления во впускной трубе вблизи впускного клапана в течение цикла на ДВС с ГВТ по варианту 1 (рис. 8) и по варианту 2 (рис. 9). Построена диаграмма с совмещением этих давлений на одном поле диаграммы (рис. 10). Эти диаграммы показывают лучшие условия для волновой дозарядки рабочей камеры ДВС в период впуска в ГВТ с интенсифицированной дозарядкой волной сжатия, генерируемой в процессе выпуска по варианту 2, относительно ДВС с ГВТ по варианту 1. Так, в ГВТ по варианту 2 возникает скачок давления перед впускным клапаном, составляющий 20 кПа (рис. 9). Значение этого скачка давления равно значению скачка давления, полученному при расчетах [15]. Наличие скачка давления в экспериментах подтверждает проход к впускному клапану и рабочей камере ДВС более интенсивной волны сжатия, генерируемой в процессе выпуска. На этих же диаграммах видно, что в ДВС с ГВТ по варианту 2 зарегистрировано большее на 12 кПа максимальное давление вблизи впускного клапана. При расчетах максимальные давления вблизи

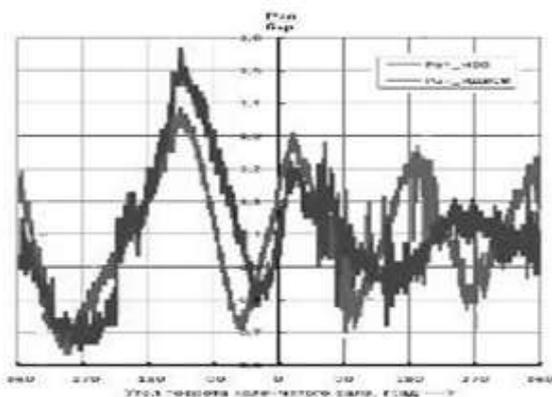
впускного клапана для этих же вариантов ГВТ также различались. Это тоже подтверждает, что в ГВТ с интенсифицированной дозарядкой по варианту 2 к впускному окну, при его закрытии, подходит волна сжатия, генерируемая в процессе выпуска. Приход более интенсивной волны сжатия и повышение давления во впускной трубе вблизи впускного клапана в ДВС с ГВТ с интенсифицированной дозарядкой по варианту 2 создает условия для повышения коэффициента наполнения и крутящего момента относительно ДВС с ГВТ по варианту 1.



**Рис. 8.** Давление вблизи впускного клапана ДВС с ГВТ по варианту 1:  
по оси абсцисс – диапазон углов от минус 360 до плюс 360 град. ПКВ;  
по оси ординат – диапазон давлений от 0,05 до 0,15 МПа



**Рис. 9.** Давление вблизи впускного клапана ДВС с ГВТ по варианту 2



**Рис. 10.** Сравнение давлений вблизи впускного клапана ДВС с ГВТ по вариантам 1 и 2

## ВЫВОД

Экспериментально подтверждена возможность повышения коэффициента наполнения за счет интенсификации дозарядки рабочей камеры четырехтактного двигателя внутреннего сгорания через впускной клапан волной сжатия, генерируемой в процессе выпуска.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Соболев Д. А.** Рождение самолета: Первые проекты и конструкции. М.: Машиностроение, 1988. 208 с. [D. A. Sobolev, *The birth of aircraft: first drafts and designs*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1988.]
2. **Шаров Б. В.** История конструкций самолетов в СССР до 1938 года. 3-е изд., исправл. М.: Машиностроение, 1986. 752 с. [B. V. Sharov, *History of aircraft construction in the USSR until 1938*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1986.]
3. **Рудой Б. П.** Теория газообмена ДВС: учеб. пособие. Уфа: УАИ, 1978. 109 с. [B. P. Rudoi, *Theory of I.C.E. gas exchange*, (in Russian). Ufa: UAI, 1978.]
4. **Бекман В. В.** Гоночные мотоциклы. 4-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. 271 с., ил. [V. V. Bekman, *Racing motorcycles. 4-edition*, (in Russian). Leningrad: Mashinostroenie, 1983.]
5. **Загайко С. А., Атанов С. Н.** Основы конструирования двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2014. 184 с. [S. A. Zagaiko, S. N. Atanov, *Fundamentals of design of internal combustion engines*, (in Russian). Ufa: UGATU, 2014.]
6. **Рудой Б. П., Березин С. Р.** Расчет на ЭВМ показателей газообмена ДВС: учеб. пособие. Уфа: УАИ, 1979. 101 с. [B. P. Rudoi, S. R. Berezin, *Calculation on the computer of gas-exchange ICE parameters*, (in Russian). Ufa: UAI, 1979.]
7. **Горбачев В. Г. и др.** Система имитационного моделирования «Альбея» (ядро). Руководство пользователя. Руководство программиста: учеб. пособие. Уфа: УГАТУ, 1995. 112 с. [V. G. Gorbachev et al., *Simulation system «Albeya» (nucleus). User guide. Programmer's guide*, (in Russian). Ufa: UGATU, 1995.]
8. **Черноусов А. А.** Свид. об офиц. рег. прог. для ЭВМ 2010613235 РФ. Horsepower Lab 1D / Черноусов А. А.; зарег. 2010.05.17. [A. A. Chernousov, *Certificate of official. reg. prog. computer 2010613235 RU. Horsepower Lab 1D*; A. A. Chernousov (RU); reg. 2010.05.17.]
9. **Ханк Г.** Турбодвигатели и компрессоры: справочное пособие. Перевод с нем. М.: Астрель: АСТ, 2007. 351 с. [G. Hank, *Turbo- und Kompressormotoren*, (in Russian). Moscow: Astrel: AST. 2007. ((in German). Stuttgart: Motorbuch Verlag, 1999.)]
10. **Сонкин В. И.** Регулируемый клапанный привод автомобильного двигателя. М.: Машиностроение, 2015. 124 с. [V. I. Sonkin, *Variable valve drive an automobile engine*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 2015.]
11. **Машиностроение.** Энциклопедия. Двигатели внутреннего сгорания. Т. IV-14 /Л. В. Грехов и др.: под общ. ред. А. А. Александрова и Н. А. Иващенко. М.: Машиностроение, 2013. 784 с. [*Mechanical Engineering. Encyclopedia. Internal combustion engines T. IV-14*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 2015.]

12. **Атанов С. Н.** Метод увеличения коэффициента наполнения 4-тактного ДВС // Вестник УГАТУ. 2009. Т. 12, № 2 (31). С. 59–61. [S. N. Atanov, *Method of increasing of the charging efficiency of 4-stroke internal combustion engine*, (in Russian) in *Vestnik UGATU*, 2009, vol. 12, no. 2 (31), pp. 59-61.]

13. **Способ** распределения рабочих тел волнового обменника давления и устройство для его осуществления: пат. 2066002 Рос. Федерация / С. Н. Атанов, Б. П. Рудой; № 5026188/06; заявл. 10.02.1992; опубл. 27.08.1996. [*Method of distribution of working media of wave pressure exchanger and device for realization of this method: pat.* 2066002 RU / S. N. Atanov, B. P. Rudoi; № 5026188/06; app. 10.02.1992; pub. 27.08.1996.]

14. **Атанов С. Н.** Возможности повышения предельного коэффициента наполнения 4-тактного ДВС // Сб. тезисов второй научно-технической конференции молодых специалистов, посвященной годовщине образования объединения ОАО «УМПО». Уфа: УМПО, 2006. С. 31–33. [S. N. Atanov, *"Possibilities of increasing of the limit charging efficiency 4-stroke internal combustion engine"*, (in Russian) in *Proc. 2<sup>nd</sup> Scientific and technical conference of young professionals dedicated to the anniversary of the unification of "UMPO"*. Ufa: Ufa Engine Industrial Association "UMPO", 2006. pp. 31–33.]

15. **Атанов С. Н.** Исследование дозарядки четырехтактного двигателя через впускной клапан волной сжатия, генерируемой в процессе выпуска // Вестник УГАТУ. 2013. Т. 17, № 3 (54). С. 209–216. [S. N. Atanov, *"Study of additional charging four-stroke engine across the inlet valve via a compression wave, generated in the exhaust"*, (in Russian) in *Vestnik UGATU*, 2013, vol. 17, no. 3 (54), pp. 209–216.]

16. **Двигатели УМЗ-341 и УМЗ-341Э:** руководство по эксплуатации 341.00.0.0000 РЭ. Уфа: УМПО, 2008. [*Engines "UMZ-341" and "UMZ-341E": Manual 341.00.0.0000 M.* (in Russian). Ufa: Ufa Engine Industrial Association "UMPO", 2008.]

17. **Golf '98. Construction and operation.** Self-Study Programme No. 200. (VW Golf IV: Construction and operation (eng.) Описание конструкции и модели) [Электронный ресурс] / Volkswagen Technical Site (VWTS) [сайт]. URL <http://vwts.ru/page01> (дата обращения 24.10.2016).

18. **Lada Samara:** Руководство по эксплуатации автомобилей и их модификаций. Тольятти: ОАО «АвтоВАЗ», 2006. 85 с. [Lada Samara: *Operating manual cars and their modifications.* (in Russian). Tolyatti: JSC «AvtoVAZ», 2006.]

#### ОБ АВТОРАХ

**АТАНОВ Сергей Николаевич**, старший препод., зав. лаб. каф. двигателей внутреннего сгорания. Дипл. инж.-мех. (УГАТУ, 1987). Готовит дисс. о форсировании четырехтактных двигателей внутреннего сгорания дозарядкой с использованием волн сжатия, генерируемых в процессе выпуска.

**ЕНИКЕЕВ Рустэм Далилович**, проф. каф. двигателей внутреннего сгорания. Дипл. инж.-мех. (УГАТУ, 1981). Д-р техн. наук по тепловым двигателям (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. систем газообмена, перспективных рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания.

#### METADATA

**Title:** Experimental study of a new method of improving charging efficiency 4-stroke internal combustion engine by an intensification of additional charging.

**Authors:** S. N. Ananov<sup>1</sup>, R. D. Enikeev<sup>2</sup>

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>Atanov.SN@net.UGATU.SU, <sup>2</sup>rust\_en@mail.ru.

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 21, no. 1 (75), pp. 38-44, 2017. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** As a development of B. P. Rudoy's theory of gas exchange of internal combustion engines, a novel method of increasing the engine charging is experimentally investigated. The method provides the intensive charging of the cylinder by using the compression wave that is generated at the engine's exhaust. For this purpose, the engine includes the tuned intake and exhaust pipes, and the additional pipe to transmit waves there between, with two additional check valves installed at the air inlet. Comparative tests were carried out on the motor test rig. It is shown that the engine torque is increased by 9.8%.

**Key words:** four-stroke internal combustion engine, volumetric efficiency, exhaust, additional charging, wave, tuning, pressure wave exchanger.

**About authors:**

**ATANOV, Sergei Nikolaevich**, Lecturer. Dipl. mechanical engineer (UGATU, 1987).

**ENIKEEV, Rustem Dalilovich**, Prof., Dept. of Internal combustion engine. Dipl. mechanical engineer (UGATU, 1981). Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2009).