

**РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ
ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА
ТОПЛИВОВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА НА
АНТИДЕТОНАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДВИГАТЕЛЯ**

А. В. Капустин¹, Б. А. Жоробеков², В. Л. Чумаков³,

А. В. Бижаев³

¹ ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», г. Великий Новгород, Российская Федерация

² Ошский технологический университет имени М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан

³ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** На основе расчетного моделирования рабочего цикла поршневого бензинового двигателя прогнозируется влияние интенсивности теплообмена топливовоздушного заряда на антидетонационные характеристики и КПД двигателя. Расчеты и их экспериментальная проверка на серийном двигателе ВАЗ-2108 показывают, что наибольшее влияние на улучшение детонационных характеристик двигателя оказывает интенсификация теплообмена в процессе сжатия.*

***Ключевые слова:** расчетное моделирование; эксперименты; рабочий цикл; теплообмен; детонация.*

**COMPUTATIONAL STUDIES OF HEAT TRANSFER
INTENSITY INFLUENCE OF FUEL-AIR CHARGE ON
ANTI-KNOTTING ENGINE CHARACTERISTICS**

A. V. Kapustin^a, B. A. Zhorobekov^b, V. L. Chumakov^c,

A. V. Bizahaev^c

^a Novgorod State University named after Yaroslav the Wise, Veliky Novgorod, Russian Federation

^b Osh Technological University named after Academician M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan

^c Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. *Based on computational modeling of the operating cycle of a piston gasoline engine, the influence of the intensity of heat exchange of the fuel-air charge on the anti-knock characteristics and engine efficiency is predicted. Calculations and their experimental verification on the production VAZ-2108 engine show that the greatest influence on improving the engine's detonation characteristics is exerted by the intensification of heat transfer during the compression process.*

Keywords: *computational modeling, experiments, operating cycle, heat transfer, detonation.*

Современные бензиновые двигатели внутреннего сгорания (ДВС) работают на бензинах с высоким октановым числом (ОЧ). Самовоспламенение последних порций заряда в ДВС для таких бензинов протекает по высокотемпературному механизму, который чувствителен к изменению температур, а, следовательно, к изменению условий теплообмена в ДВС.

В реальном двигателе управление тепловыми потоками в двигателе затруднительно, но при проектировании нового двигателя можно за счет тех или иных конструктивных решений повлиять на условия теплообмена. Например, увеличение площади вытеснителей повысит охлаждение последних порций заряда, а применение материалов с более высоким коэффициентом теплопроводности повлияет на теплоотвод от всего заряда. Дифференцированное охлаждение отдельных поверхностей может привести к изменению теплообмена в отдельные периоды цикла. Поэтому представляет интерес количественная оценка влияния на детонацию различных мероприятий по изменению условий теплообмена. В данной работе выполнена такая оценка расчетным методом.

Расчеты момента детонации выполнялись по методике, изложенной в [1], а особенности моделирования рабочего цикла двигателя представлены в [2]. При этом расчет самовоспламенения последних порций заряда выполнялся по двум эмпирическим формулам, полученным разными методами. В первом случае по формулам Воинова и Скорodelова, полученным при исследовании самовоспламенения эталонных смесей в установках адиабатного сжатия. Во втором случае по формуле Дауда и Эйза, полученной при исследовании детонации на поршневых ДВС.

Методика расчетных исследований предполагала в качестве объекта исследований выбор двигателя ВАЗ-2108, с

соответствующими конструктивными параметрами – диаметром цилиндра, ходом поршня, отношением радиуса кривошипа к длине шатуна, площадью поверхности камеры сгорания и другим. В качестве основного режима работы выбрана частота вращения 2000 об/мин, полное открытие дроссельной заслонки с коэффициентом наполнения $\eta_v = 0,84$. Угол зажигания – оптимальный по мощности на всех режимах работы. Расчеты выполнены для стехиометрического состава смеси – коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1$. На основании обработки индикаторных диаграмм, по статистическим данным, длительность горения принята от момента отрыва линии сгорания от линии сжатия до максимума температуры цикла $\phi T = 50$ °ПКВ (градусов поворота коленчатого вала). Средние температуры поверхностей камеры сгорания (головки, днища поршня, стенок цилиндра) в основном варианте расчета приняты равными 450 К.

Интенсивность теплообмена по заряду задавалась коэффициентом теплоотдачи α_t , который, в свою очередь, рассчитывался по эмпирической формуле Вошни [2] для каждой отдельной зоны как сгоревшего, так и несгоревшего заряда. Изменение условий теплоотдачи от всего заряда в процессе горения моделировалось введением в исходные данные программы условного множителя – коэффициента $K\alpha$. При оценке изменения теплоотдачи только от несгоревших зон, расчетный коэффициент теплоотдачи α_t для этих зон умножался на $K\alpha_n$. В качестве топлива принят изооктан. Оценочными параметрами исследования приняты коэффициент активного тепловыделения в конце сгорания ξ_a , допустимая по детонации степень сжатия ϵ , и индикаторный КПД рабочего цикла η_i . Результаты этих расчетов приведены на рисунке 1.

Из рисунка 1 следует, что повышение интенсивности теплоотдачи позволяет уменьшить вероятность детонации и увеличить степень сжатия, но оказывает сложное влияние на индикаторный КПД цикла в зависимости от сгоревшего или несгоревшего заряда. При увеличении теплоотдачи в целом от всего заряда в процессе сгорания КПД цикла снижается несмотря на увеличение допустимой по детонации степени сжатия. Одновременно снижается и коэффициент активного тепловыделения в конце сгорания ξ_a . В случае увеличения теплоотдачи от несгоревшего заряда растет как допустимая степень сжатия, так и КПД цикла, хотя этот рост незначителен, а тепловыделение остается также неизменным.

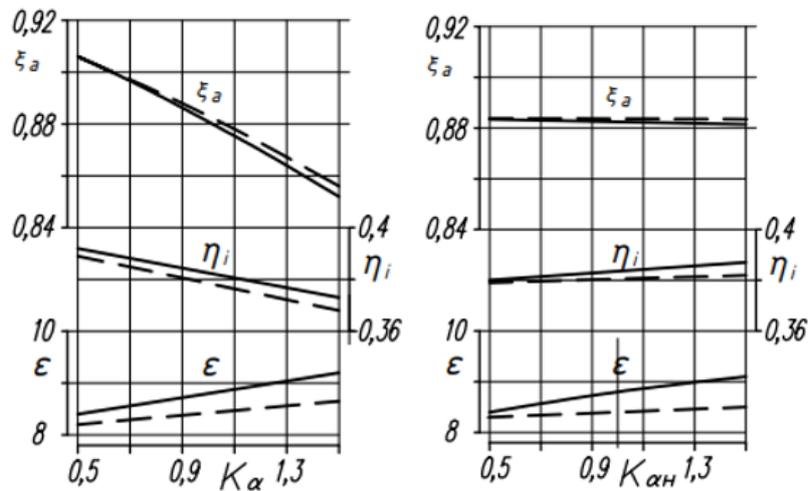


Рисунок 1 – Влияние изменения теплообмена при сгорании на допустимую по условиям детонации степень сжатия (топливо – изооктан):

————— – расчет по формулам Воинова и Скороделова,
 - - - - - – расчет по формуле Дауда и Ейза

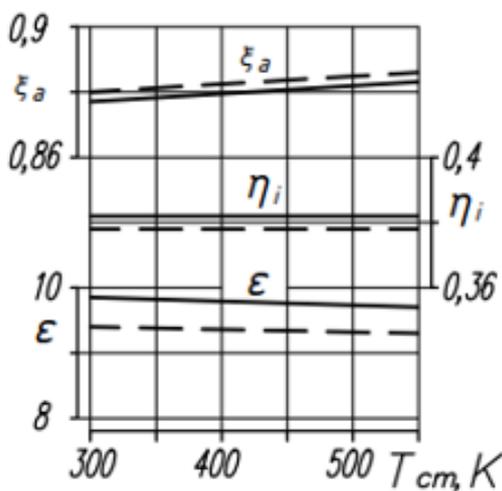


Рисунок 2 – Влияние температуры стенок камеры сгорания на допустимую степень сжатия, индикаторный КПД и коэффициент активного тепловыделения конца сгорания

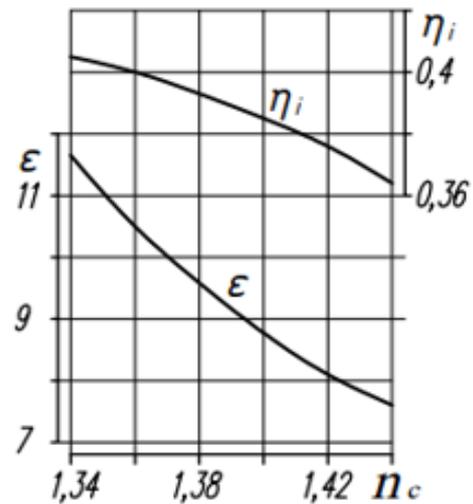


Рисунок 3 – Влияние коэффициента политропы сжатия на допустимую по детонации степень сжатия и КПД двигателя

На рисунке 2 показано влияние средней температуры стенок, определяющих зону сгорания, на детонацию (все обозначения соответствуют рисунку 1). Видно, что изменение температуры

стенок в 2 раза практически почти не оказывают влияния на показатели цикла и в расчетах можно принимать осредненную температуру стенок примерно равной 450 К.

На рисунке 3 представлено влияние условий теплообмена в процессе сжатия на расчетные показатели рабочего цикла. В качестве основного изменяемого фактора принят средний показатель политропы сжатия, рассчитанный от нижней мертвой точки до момента начала видимого сгорания nc (т.е. оцениваемого по точке отрыва линии сгорания от линии сжатия на индикаторных диаграммах). Расчеты на рисунке 3 представлены для изооктана с оценкой самовоспламенения топлива по формулам Воинова и Скороделова. Расчеты с оценкой самовоспламенения по формулам Дауда и Ейза показывают близкие результаты.

Расчетное моделирование рабочего цикла показывает, что охлаждение заряда в процессе сжатия, задаваемое показателем политропы сжатия, оказывает сильное влияние на детонацию (рисунок 3).

Для экспериментальной проверки расчетных данных были проведены опыты с охлаждением днища поршня маслом на выделенном цилиндре двигателя ВАЗ-2108 с экспериментальной головкой цилиндров со степенью сжатия $\varepsilon = 9,52$. Выделенный, 4-й цилиндр, имел отдельную впускную систему с отдельным карбюратором. Детонационная стойкость бензина не позволяла выйти на оптимальный угол опережения зажигания. Поэтому показатели ДВС снимались при угле начала детонации (меньше оптимального угла), который определялся по осциллографу при индицировании двигателя.

Результаты индицирования осредненных циклов с охлаждением днища поршня и без охлаждения приведены на рисунке 4, из которого видно, что охлаждение днища поршня приводит к заметному увеличению давлений цикла по условиям детонации.

Улучшение детонационных характеристик двигателя, находит свое подтверждение в характере изменения значений политропы сжатия для двигателя, работающего с охлаждением и без охлаждения днища поршня маслом (рисунок 5).

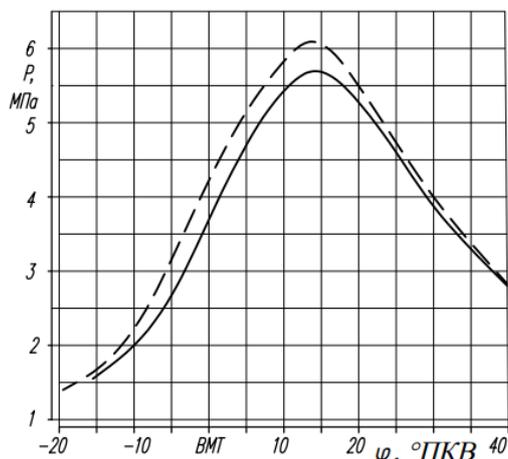


Рисунок 4 – Индикаторные диаграммы без охлаждения и с охлаждением днища поршня маслом:

———— без охлаждения; — — — с охлаждением днища поршня маслом

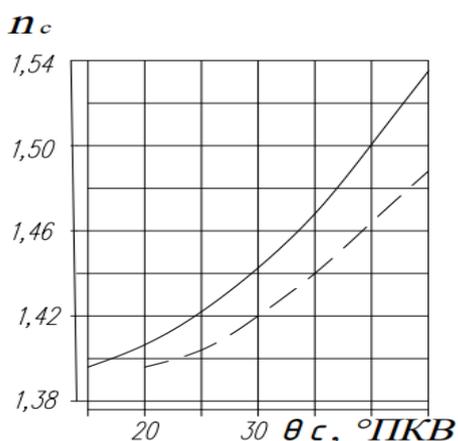


Рисунок 5 – Средние показатели политроп процесса от начала сжатия (НМТ) до угла θ_c :

———— без охлаждения
— — — с охлаждением днища поршня маслом

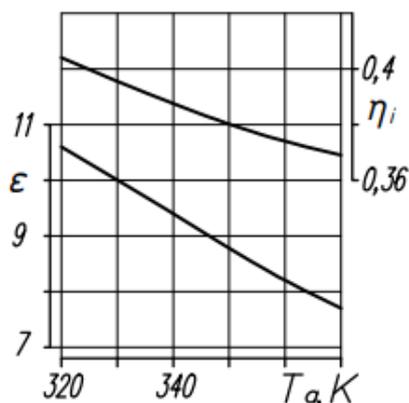


Рисунок 6 – Влияние температуры конца наполнения на показатели цикла по условиям детонации (расчеты по формулам Воинова и Скороделова)

Средний показатель политроп сжатия определялся по давлениям индикаторных диаграмм от начала сжатия до угла θ_c , отсчитываемого от ВМТ против вращения вала двигателя. Из рисунка 5 следует, что охлаждение днища поршня приводит к заметному уменьшению показателя политропы сжатия. Это подтверждает справедливость математических моделей рабочего цикла двигателя и прогнозирования режимов детонации.

Условия теплообмена можно изменить различными методами, например, в процессе впуска, что вызовет изменения температуры в конце наполнения – T_a . Поэтому были выполнены также расчеты влияния этой температуры на показатели цикла по началу детонации. Результаты расчетов по формулам Воинова и Скороделова представлены на рисунке 6. Видно, что изменение температуры в конце наполнения оказывает тоже достаточно сильное влияние на детонацию. Хотя, для существенного влияния на условия детонации, реальный диапазон изменения температуры T_a должен быть достаточно большим, что трудно реализуемо на практике.

Таким образом, наиболее сильное влияние на детонации оказывают условия теплообмена в процессе наполнения и в процессе сжатия. Причем, практичнее искать способы эффективного охлаждения смеси при сжатии. Изменения условий охлаждения в процессе сгорания не дают положительного эффекта по улучшению антидетонационных свойств двигателей.

Выводы

1. Интенсификация теплообмена заряда с окружающей средой оказывает существенное влияние на детонационные характеристики двигателя. Увеличение коэффициента теплоотдачи в процессе сгорания повышает допустимую по условиям детонации степень сжатия, но при этом индикаторный КПД двигателя не увеличивается.

2. Изменение интенсивности охлаждения стенок камеры сгорания в диапазоне от 350 до 550 К оказывает несущественное влияние на показатели рабочего цикла и двигателя.

3. Наиболее сильное влияние на возникновение детонации оказывает интенсификация теплообмена заряда в процессе сжатия. Например, уменьшение среднего показателя политропы сжатия от 1,42 до 1,38 позволяет увеличить допустимую степень сжатия более чем на 1,5 ед. и повысить индикаторный КПД почти на 0,02. Это наиболее практичный способ повышения антидетонационных свойств двигателя за счет изменения условий теплообмена в ДВС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Математическое моделирование детонации в двигателях с искровым зажиганием / А. В. Капустин, В. Л. Чумаков, С. Н. Девянин, Б. А. Жоробеков // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 4. – С. 43-51.

2. Капустин, А. В. Математическая модель рабочего цикла двигателя с искровым зажиганием / А. В. Капустин, С. В. Смирнов, В. Л. Чумаков // В сборнике: Чтения академика В. Н. Болтинского. – 2021. – С. 86-95.

Об авторах:

Капустин Александр Васильевич, доцент кафедры энергетике и транспорта ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого» (173003, Российская Федерация, г. Великий Новгород, Большая Санкт-Петербургская ул., 41), кандидат технических наук, доцент, aleksandr.kapustin@novsu.ru.

Жоробеков Болотбек Астаевич, кандидат технических наук, доцент, Ошский технологический университет имени Академика М. М. Адышева (Кыргызстан, г. Ош, ул. Исанова, д.81).

Чумаков Валерий Леонидович, профессор кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук, профессор, valery.chumakov@gmail.com.

Бижаев Антон Владиславович, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук, доцент.

About the authors:

Alexander V. Kapustin, associate professor of the Department of Energy and Transport, Yaroslav the Wise Novgorod State University (173003, Russian Federation, Veliky Novgorod, Bolshaya St. Petersburg st., 41), Cand.Sc. (Engineering), associate professor, aleksandr.kapustin@novsu.ru.

Bolotbek A. Zhorobekov, associate professor, Osh Technological University named after Academician M.M. Adyshev (Kyrgyzstan, Osh, Isanova str., 81) Cand.Sc. (Engineering).

Valery L. Chumakov, professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Cand.Sc. (Engineering), professor, valery.chumakov@gmail.com.

Anton V. Bizhaev, associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Cand.Sc. (Engineering).