

УДК: 623.1/7

DOI: 10.53816/23061456\_2022\_5-6\_149

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЕЖЕГО ЗАРЯДА ВОЗДУХА  
НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ  
В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ТАНКОВОГО ДИЗЕЛЯ**

**ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE TEMPERATURE OF THE FRESH  
AIR CHARGE ON THE INDICATORS OF WORKING PROCESSES  
IN THE COMBUSTION CHAMBER OF A TANK DIESEL ENGINE**

*Д-р техн. наук Д.В. Шабалин, канд. пед. наук П.Е. Кобзарь, И.А. Фомин*

*D.Sc. D.V. Shabalin, Ph.D. P.E. Kobzar, I.A. Fomin*

*Филиал ВА МТО им. А.В. Хрулева (г. Омск)*

В статье приводятся результаты расчетно-теоретического исследования по оценке влияния температуры наддувочного воздуха (температуры начала сжатия) на индикаторные и другие показатели, характеризующие эффективность протекания рабочего цикла танкового дизельного двигателя типа В-92С2. В результате проведенного исследования установлены закономерности влияния снижения температуры начала сжатия на показатели рабочих процессов в камере сгорания. Выявлено, что снижение температуры начала сжатия практически не влияет на показатели турбулентности на такте сжатия и слабо влияет на этапе горения топлива. Показано, что уменьшение температуры начала сжатия ниже 350 К является нецелесообразным, т.к. при этом повышается нестабильность процессов горения топлива, увеличивается скорость тепловыделения на начальном этапе горения, что может негативно отразиться на динамических нагрузках двигателя.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, рабочий цикл, индикаторные характеристики, начало сжатия, камера сгорания, охлаждение наддувочного воздуха, надежность, бронетанковое вооружение.

The article presents the results of a computational and theoretical study to assess the effect of the charge air temperature (the temperature of the beginning of compression) on indicator and other indicators characterizing the efficiency of the working cycle of a tank diesel engine of type В-92С2. As a result of the conducted research, the regularities of the influence of a decrease in the temperature of the beginning of compression on the indicators of working processes in the combustion chamber have been established. It was revealed that the decrease in the temperature of the beginning of compression practically does not affect the turbulence indicators at the compression stroke and has little effect at the stage of gorenje fuel. It is shown that a decrease in the compression gorenje gorenje below 350 K is impractical, because at the same time the instability of the fuel combustion processes increases, the rate of heat release increases at the initial stage of combustion, which can negatively affect the dynamic loads of the engine.

**Keywords:** diesel engine, operating cycle, indicator characteristics, start of compression, combustion chamber, charge air cooling, reliability, armored weapons.

Проблема регулирования температуры заряда воздуха комбинированных дизелей изучается давно и довольно успешно [1, 2, 3]. Вместе с тем, проблема изучена недостаточно и требует разрешения целого ряда частных задач, главной из которых считается определение рациональных значений температуры наддувочного воздуха, обеспечивающих улучшение протекания рабочего цикла двигателя при допустимом уровне ограничивающих параметров, в числе которых следует учитывать как показатели динамичности цикла, так и тепловую напряженность деталей двигателя. Решению указанной проблемы и посвящена данная статья.

Согласно работам Р.З. Кавтарадзе [4] и Д.О. Онищенко [5], при оценке влияния вносимых в конструкцию двигателя изменений на показатели тепловой нагруженности его деталей, желательно учитывать локальное распределение температур в объёме камеры сгорания (КС). На рис. 1 показаны индикаторные диаграммы максимальной локальной температуры газов в КС при различной температуре начала сжатия.

Из рисунка видно, что при снижении температуры начала сжатия  $T_a$  с 530 К до 400 К и до 300 К, максимальные температуры уменьшаются на 96 К и 175 К, соответственно, что будет способствовать снижению температурных напряжений деталей, образующихся КС, возникающих вследствие градиента локальных температур.

Из этого же рис. 1 видно, что максимальная локальная температура газов при  $T_a = 275$  К не превышает 798 К, в то время как для надежного

воспламенения топливоздушная смесь её температура должна быть не ниже 815 К, согласно формуле В.В. Шишкова [6], полученной на основе многочисленных экспериментов с двигателями типа 12ЧН15/18:

$$\ln(T_{ign}) = \frac{1}{20,27} \cdot (139,1 - \ln(T_f) + 1,908 \cdot \ln(n) - \ln(\tau)), \quad (1)$$

где  $T_f$  — температура топлива;  $\tau$  — время от начала прокрутки.

Ситуация усугубляется тем, что при испарении топлива имеет место локальное охлаждение топливоздушная смеси (рис. 2) практически до температуры впрыскиваемого топлива. Более детально изменение локальных температур газов в КС в момент впрыска топлива при  $T_a = 530$  К и  $T_a = 300$  К показано на рис. 3.

Рассмотрим более подробно влияние снижения температуры начала сжатия на показатели рабочих процессов в КС. Динамика испарения топлива до момента его воспламенения, при снижении  $T_a$ , практически не изменяется, рис. 4. Дальнейший характер динамики зависит от периода задержки воспламенения (ПЗВ). Аналогично изменяется средний (по Заутеру) диаметр капель топлива, рис. 5.

На рис. 6 показана усреднённая по объёму КС удельная кинетическая энергия турбулентности газов при различной температуре начала сжатия. Её снижение с 60 до 10 м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup> в ходе сжатия очевидно обусловлено уменьшением объёма КС.

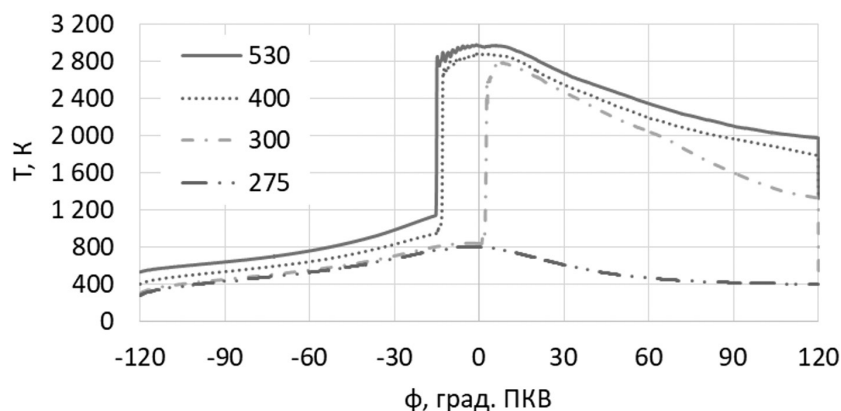


Рис. 1. Индикаторные диаграммы максимальной локальной температуры газов в КС ( $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , максимальная цикловая подача топлива) при различной температуре начала сжатия

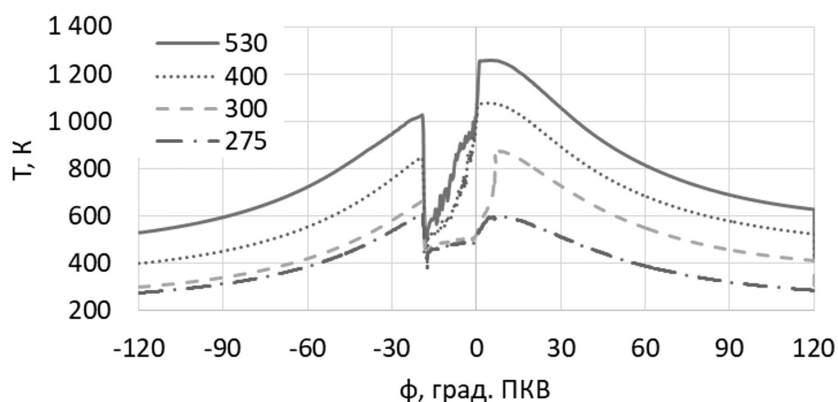
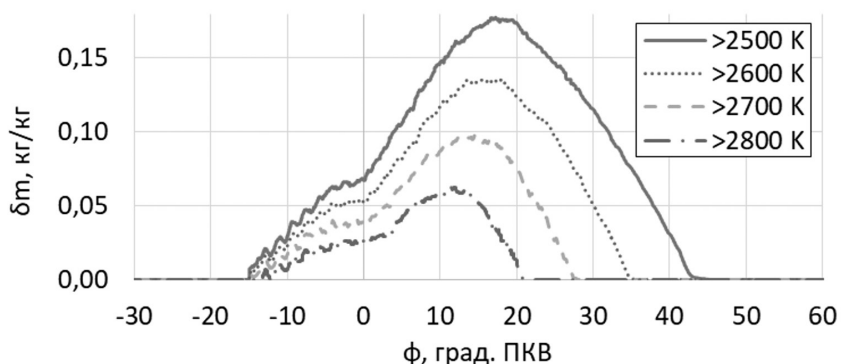
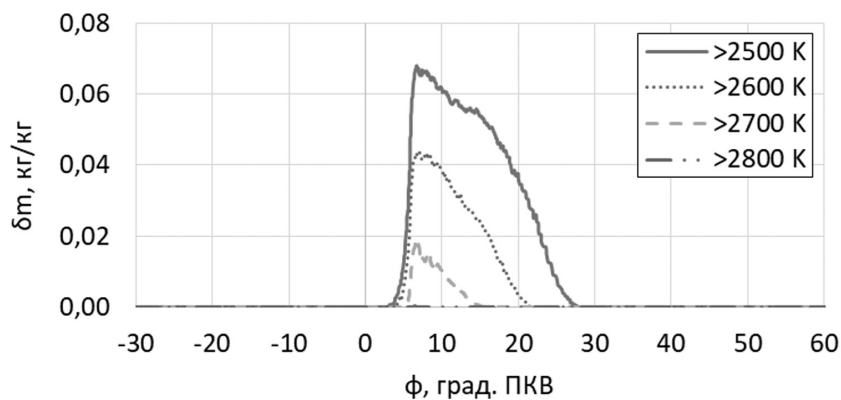


Рис. 2. Индикаторные диаграммы минимальной локальной температуры газов в КС ( $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , максимальная цикловая подача топлива) при различной температуре начала сжатия



а



б

Рис. 3. Массовая доля газов в КС с температурой, превышающей указанную (в легенде),  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , максимальная цикловая подача топлива: а —  $T_a = 530 \text{ K}$ ; б —  $T_a = 300 \text{ K}$

В целом можно констатировать, что температура начала сжатия напрямую не влияет на турбулентность потоков, а влияет опосредованно, через скорость реакции окисления топлива.

Интегральная по объёму КС зависимость квадратного корня из скорости турбулентных флуктуаций (от которого зависит скорость турбулентного пламени) от температуры начала сжатия показана на рис. 7. Можно отметить: а) при

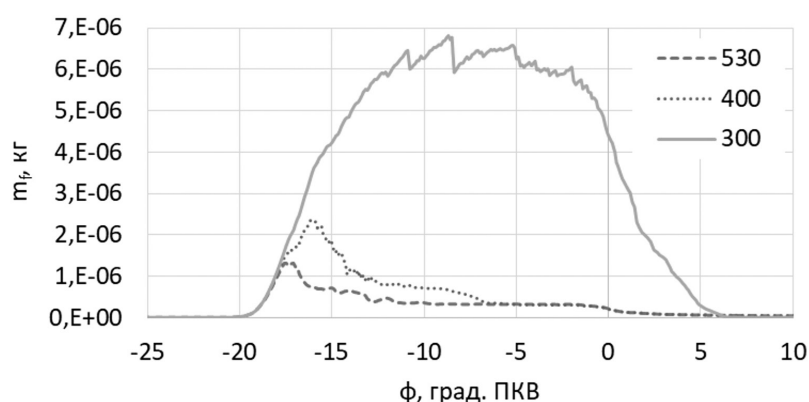


Рис. 4. Зависимость изменения массы жидкого топлива в КС от температуры начала сжатия,  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , максимальная цикловая подача топлива

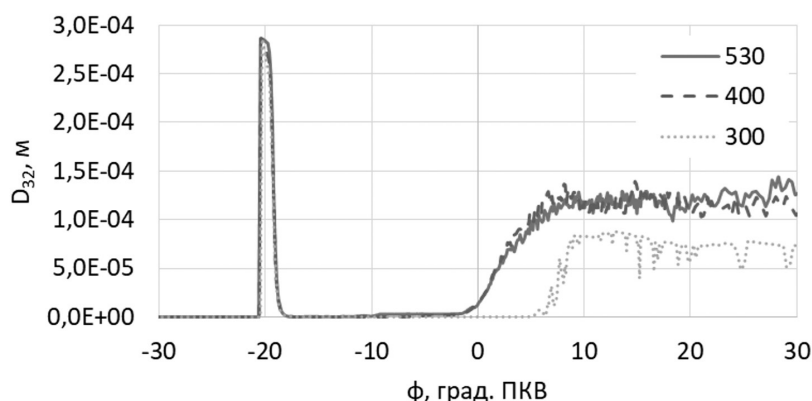


Рис. 5. Зависимость изменения среднего (по Заутеру) диаметра капель жидкого топлива в КС от температуры начала сжатия,  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , максимальная цикловая подача топлива

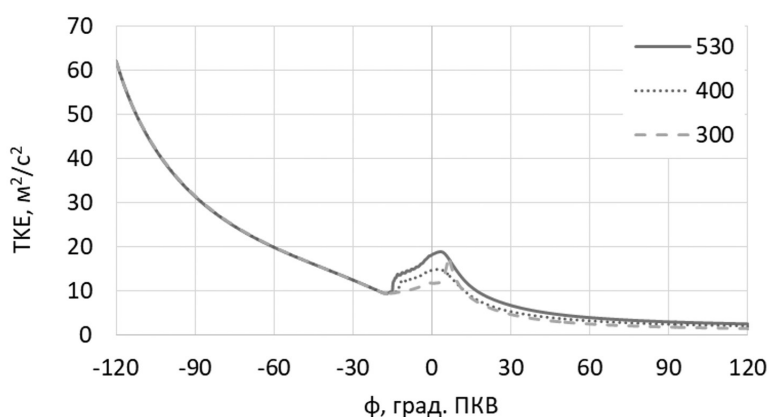


Рис. 6. Удельная кинетическая энергия турбулентности газов в КС ( $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , максимальная цикловая подача топлива) при различной температуре начала сжатия

температуре ниже 350 К процесс горения становится нестабильным; б) при температуре выше 250 К  $u'$  линейно уменьшается со снижением температуры, соответственно линейно уменьшается скорость фронта турбулентного пламени.

Со снижением  $T_a$  динамика тепловыделения становится интенсивнее, что способствует повышению степени изохорности и, соответственно, экономичности рабочего процесса, но с другой стороны, влечет рост динамических нагрузок на

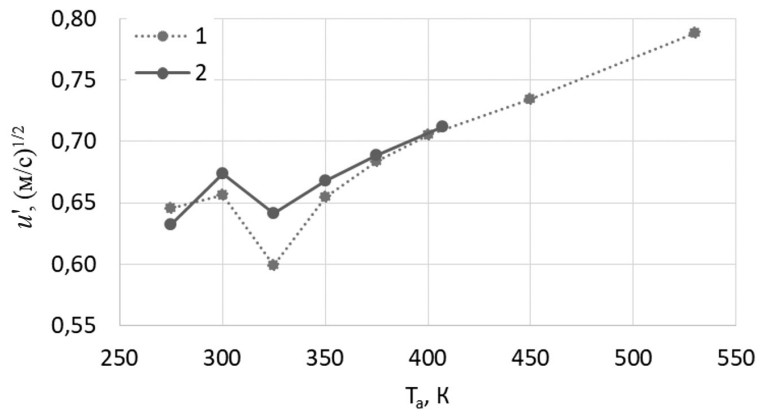


Рис. 7. Зависимость квадратного корня из скорости турбулентных флуктуаций в КС от температуры начала сжатия при максимальной цикловой подаче топлива: 1 —  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 —  $1400 \text{ мин}^{-1}$

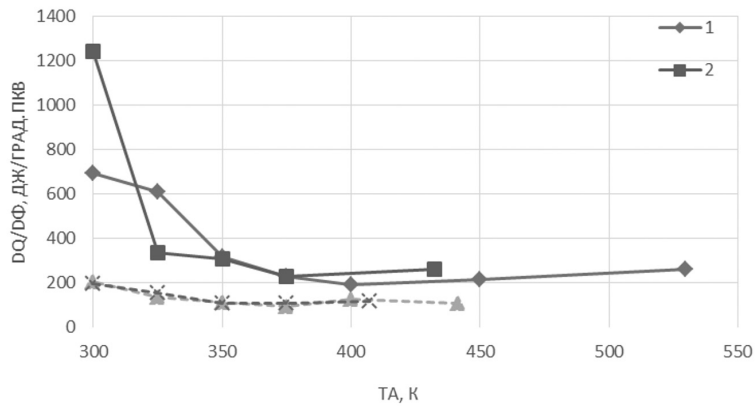


Рис. 8. Зависимость скорости тепловыделения от температуры начала сжатия: 1 —  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 —  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ ; — — — 100 % и - - - - 50 % цикловой подачи от максимальной

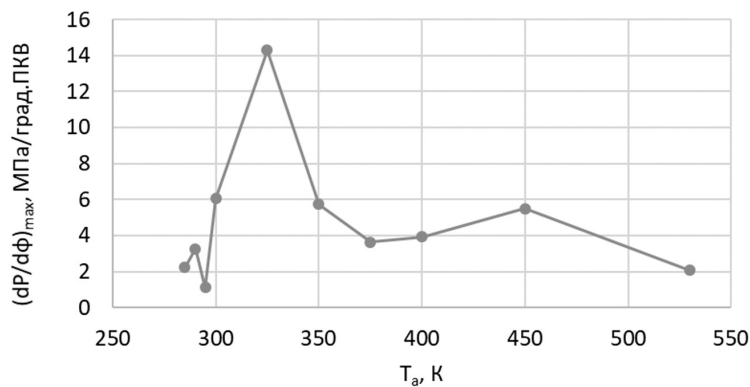


Рис. 9. Зависимость скорости изменения индикаторного давления газов в КС от температуры начала сжатия,  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , максимальная цикловая подача топлива

детали двигателя. Существенный рост динамики тепловыделения наблюдается при температуре сжатия ниже 350 К, рис. 8.

На рис. 9 приведена зависимость скорости изменения индикаторного давления газов в КС от температуры начала сжатия для режима мак-

симальной мощности. Невозможно сформулировать какую-либо однозначную зависимость этих параметров вследствие сложности газодинамических процессов в КС. Форма графика на рис. 10 подтверждает предположение о неустойчивости процесса горения.

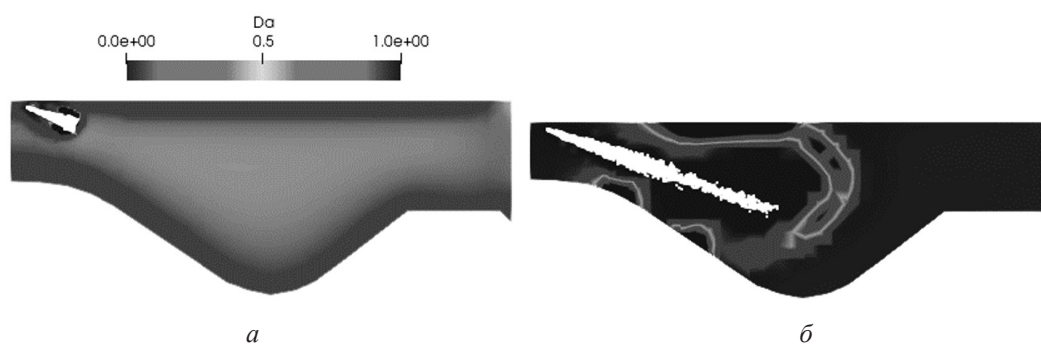


Рис. 10. Число Дамкёлера: а —  $\varphi = 9$  град. ПКВ до ВМТ; б —  $\varphi = 5$  град. ПКВ до ВМТ

На рис. 10 показана величина числа Дамкёлера в объёме КС. Ожидаемо, что наиболее интенсивно физико-химические процессы идут в зоне пламени. При снижении температуры сжатия  $Da$  уменьшается так как средняя скорость химических реакций увеличивается. При  $Da < 0,5$  скорость реакции определяется химической кинетикой (согласно уравнению С. Аррениуса), при  $Da > 0,5$  — процессами турбулентного смешения [7], при  $Da > 1$  тепловыделение реакции превышает теплотери из её зоны [8].

Основной вклад в турбулизацию фронта пламени вносят процессы взаимодействия струи топлива с окружающими воздушными массами, в зоне пограничного слоя возникают наибольшие сдвиговые напряжения, приводящие к генерации турбулентных пульсаций [9]. Далее область турбулизованного течения, распространяется к оси струи и захватывает, вследствие действия вязких сил, примыкающие к ней воздушные массы. Интенсивная турбулентность вызывает не только искривление, но и дробление фронта ламинарного пламени на отдельные участки [10].

### Вывод

Таким образом, в ходе расчетного исследования установлены закономерности влияния снижения температуры начала сжатия на показатели рабочих процессов в КС. Выявлено, что снижение  $T_a$  практически не влияет на показатели турбулентности на такте сжатия и слабо влияет на этапе горения топлива. Показано, что уменьшение  $T_a$  ниже 350 К является нецелесообразным, т.к. при этом, во-первых, повышается неустойчивость процессов горения топлива, во-вторых, существенно (в 3...4 раза) увеличивается скорость тепловыделения на начальном

этапе горения, что может негативно отразиться на динамических нагрузках на детали кривошипно-шатунного механизма. (КШМ).

### Литература

1. Шабалин Д.В. Анализ влияния температуры наддувочного воздуха на рабочий процесс дизельного двигателя / Д.В. Шабалин, Е.С. Терещенко: сб. науч. трудов. — Бугульма. 2011. С. 31–34.
2. Шабалин Д.В. Стабилизация температуры наддувочного воздуха: монография / Д.В. Шабалин. — Омск: ОАБИИ, 2011. 100 с.
3. Нефедов В.И. Улучшение параметров форсированных дизелей воздушного охлаждения изменением глубины охлаждения наддувочного воздуха: дисс. канд. техн. наук: 05.04.02 / Нефедов Владимир Иванович. — Челябинск. 1998. 168 с.
4. Кватарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 520 с.
5. Онищенко Д.О. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля и снижение тепловых нагрузок на его основные детали: дис. докт. техн. наук: 05.04.02 / Онищенко Дмитрий Олегович. — Москва. 2013. 234 с.
6. Шишков В.В. Улучшение показателей рабочего цикла дизеля при пуске подогревом впускного заряда: дис. канд. техн. наук: 05.04.02 / Шишков Виктор Владимирович. — Челябинск. 2000. 158 с.
7. Гришин А.М. Математическое моделирование горения газа в закрученной струе и формирования огненного смерча / А.М. Гришин, О.В. Матвиенко, Ю.А. Руди // Инженерно-физический журнал. 2009. Т. 82. № 5. С. 902–908.

8. Plee S. Relative roles of premixed and diffusion burning in diesel combustion / S. Plee, T. Ahmad // SAE Technical Paper 831733. 1983. P. 38–58.

9. Лобода Е.Л. Оценка масштабов турбулентности в пламени при диффузионном горении дизельного топлива / Е.Л. Лобода, О.В. Матвиенко, М.В. Агафонцев, В.В. Рейно // Вестник Томского государственного университета, серия «Математика и механика». 2016. № 4. С. 100–114.

10. Льюис Б. Горение, пламя и взрывы газов / Б. Льюис, Г. Эльба. — Нью-Йорк: Academic Press, 1987. 126 с.

### References

1. Shabalin D.V., Tereshchenko E.S. Analysis of Charge Air Temperature Influence on Diesel Engine Operation Process / D.V. Shabalin, E.S. Tereshchenko: Collection of Scientific Works. — Bugulma. 2011. P. 31–34.

2. Shabalin D.V. Stabilization of charge air temperature: monograph / D.V. Shabalin. — Omsk: OABII, 2011. 100 p.

3. Nefedov V.I. Improving the parameters of boosted air-cooled diesel engines by changing the depth of charge air cooling: dissertation. Cand. of Technical Sciences: 05.04.02 / Nefedov Vladimir Ivanovich. — Chelyabinsk. 1998. 168 p.

4. Kvataradze R.Z. Local heat transfer in piston engines. — M.: Publishing house of MSTU named after N.E. Bauman, 2016. 520 p.

5. Onishchenko D.O. Improving the efficient and environmental performance of a diesel engine and reducing thermal loads on its main parts: dis. doct. tech. Sciences: 05.04.02 / Onishchenko Dmitry Olegovich. — Moscow. 2013. 234 p.

6. Shishkov V.V. Improving the performance of the diesel engine operating cycle when starting by heating the inlet charge: dis. cand. tech. Sciences: 05.04.02 / Shishkov Viktor Vladimirovich. — Chelyabinsk. 2000. 158 p.

7. Grishin A.M. Mathematical modeling of gas combustion in a swirling jet and the formation of a fire tornado / A.M. Grishin, O.V. Matvienko, Yu.A. Rudy // Engineering Physics Journal. 2009. T. 82. № 5. P. 902–908.

8. Plee S. Relative roles of premixed and diffusion burning in diesel combustion / S. Plee, T. Ahmad // SAE Technical Paper 831733. 1983. P. 38–58.

9. Loboda E.L. Estimation of the scale of turbulence in the flame during the diffusion combustion of diesel fuel / E.L. Loboda, O.V. Matvienko, M.V. Agafontsev, V.V. Reino // Bulletin of Tomsk State University, series «Mathematics and Mechanics». 2016. № 4. P. 100–114.

10. Lewis B. Combustion, flames and explosions of gases / B. Lewis, G. Elbe. — New York: Academic Press, 1987. 126 p.