

А.А. Бабич, С.А. Громов, А.М. Левтеров

РАСЧЁТНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ПОРШНЯ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

В работе приведены основные этапы и результаты математического моделирования теплового состояния поршня транспортного дизеля 6Ч15/15. В качестве исследуемого режима рассматривается режим номинальной мощности. Задача решается с использованием метода конечных элементов в трёхмерной стационарной постановке. Анализ условий работы поршня и совершенствование его конструкции с использованием расчётных методов является важным и перспективным аспектом в процессе конструирования и доводки ДВС.

Введение

Повышение надёжности дизеля направлено в первую очередь, на улучшение условий работы деталей камеры сгорания (КС), а именно, наиболее теплонапряженных элементов – поршней, клапанов и головок цилиндров.

Оценка условий работы поршня дизельного двигателя позволяет в дальнейшем совершенствовать его конструкцию, оценивать параметры термонапряженного состояния деталей цилиндропоршневой группы, а по ним – и возможность увеличения цилиндровой мощности, выбирать рациональные размеры наиболее нагруженных деталей.

Экспериментальные исследования теплового состояния поршня на работающем двигателе сопряжены с определёнными сложностями, связанными, в первую очередь, с передачей сигнала от термодатчиков к регистрирующим приборам. Для таких измерений используют прерывистые токосъемные устройства, непрерывные токосъемные устройства, а также беспроводные системы передачи информации [1,2]. Также нашел свое применение метод измерения температур деталей на основе использования кристаллических измерителей максимальной температуры (ИМТК) [3,4]. Реже находят применение и другие методы [1], которые аналогично ИМТК позволяют установить температурное состояние детали в исследуемой зоне лишь однократно, на одном режиме работы двигателя.

Использование метода конечных элементов (МКЭ) позволяет проводить сравнительные численные исследования теплового состояния поршня с достаточной точностью, при этом в пределах исследуемого уровня форсирования двигателя, при доводке конструкции поршня, можно свести экспериментальные исследования к минимуму [4,5].

Анализ публикаций

Расчётной оценке теплового и теплонапряженного состояния поршня посвящено значительное количество работ [2,4-6]. В этих работах тепловое состояние поршня рассматривается в трёх-

мерной постановке с использованием МКЭ. При описании задачи теплопроводности авторы, пользуясь полученными ранее экспериментальными данными либо результатами литературного обзора, задают на теплообменной поверхности граничные условия (ГУ) [7,8]. Применительно к поршню наиболее часто используются ГУ третьего рода.

Теплообменная поверхность поршня разбивается на определённое количество участков (подобластей) на которых ГУ задаются в зависимости от наличия экспериментальных данных термометрирования поршня, особенностей внутрицилиндровых процессов, конструктивных особенностей поршня. Наибольшую трудность при этом представляет задача назначения ГУ по поверхности камеры сгорания. Основные аспекты ее решения представлены в [2,6,9].

Количество подобластей задания ГУ по поверхностям поршня в среднем варьируется от 14 до 24. При этом, согласно данным работ [5,6,10-12], такой подход позволяет добиться хорошего согласования расчётных и экспериментальных показателей, а погрешность в описании температурного поля поршня в среднем не превышает 5-12%.

В работе [13] показано, что при исследовании термических напряжений в теле поршня необходимое количество подобластей ГУ может быть увеличено вдвое. В работе [14] достигнута погрешность при описании температурного поля поршня до 3% и менее. Однако, согласно современной концепции проектирования поршней, особенно при осуществлении их доводки, погрешность расчетов в 5-12% считается допустимой и, соответственно, допустимо применение ГУ по данным двигателей аналогов [4].

Использование МКЭ, реализованного в современных программных комплексах, например, таких как Salome, позволяет генерировать геометрию поршня и расчётную сетку с минимальным участием пользователя, что позволяет значительно сократить время, необходимое для описания задачи и проведения расчётов.

Таким образом, анализ условий работы поршня и совершенствование его конструкции с использованием расчётных методов является важным и перспективным аспектом в процессе конструирования и доводки поршневых двигателей внутреннего сгорания.

Цель и постановка задачи

Цель работы – расчётная оценка теплового состояния поршня при работе дизеля на режиме номинальной мощности.

В работе ставились такие задачи:

- провести литературный обзор по методам математического моделирования теплового состояния поршня дизеля;
- синтезировать расчётную область и расчётную сетку для моделирования теплового состояния поршня дизеля 6Ч 15/15;
- с использованием расчётных методов оценить температурное поле поршня дизеля на режиме номинальной мощности;
- сделать выводы и рекомендации по улучшению условий работы поршня транспортного дизеля.

Основные результаты работы сводятся к следующему. Объект исследования – тепловое состояние поршня транспортного дизеля 6Ч15/15. Краткая техническая характеристика дизеля представлена в таблице 1.

Таблица 1. Краткая техническая характеристика дизеля

№№	Показатель	Значение	Размерность
1	Эффективная мощность	220	кВт
2	Число цилиндров	6	-
3	Диаметр цилиндра	150	мм
4	Ход поршня	150	мм
5	Удельный эффективный расход топлива	238	г/кВт ч
6	Частота вращения коленчатого вала, соответствующая режиму номинальной мощности	2600	мин ⁻¹
7	Степень сжатия	15,8	-
8	Литровая мощность	13,75	кВт/л

Для моделирования теплового состояния поршня на его теплообменной поверхности, с учетом рекомендаций работ [5,6,10-12] были выделены 19 подобластей, на которых задавались ГУ 3-го

рода. Схема задания ГУ приведена на рис. 1., а их значения представлены в таблице 2.

Далее был проведен расчет теплового состояния поршня транспортного дизеля в трехмерной стационарной постановке.

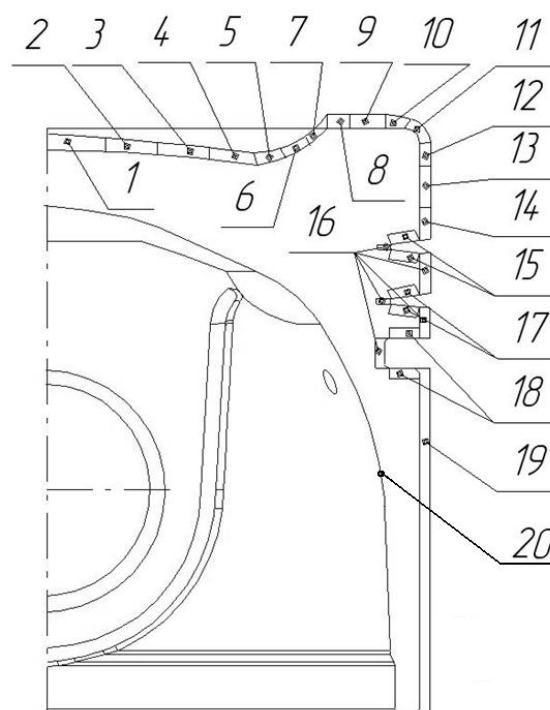


Рис. 1. Схема задания ГУ 3-го рода

Таблица 2. Значения ГУ 3-го рода

№№	α	t
	Вт/м ² К	°С
1	300	970
2	450	970
3	500	970
4	520	970
5	550	970
6	570	970
7	580	970
8	450	950
9	400	950
10	300	800
11	250	700
12	200	600
13	200	500
14	200	400
15	16000	220
16	200	250
17	12000	200
18	3000	160
19	500	150
20	300	120

Расчетная сетка, описывающая конфигурацию поршня, представлена на рисунке 2.

Результаты расчета представлены на рис. 3. Максимальная температура поршня 330°C получена в центральной части огневого днища поршня (на рис. 3. не показана). Температура по радиусу огневого днища изменяется от 315°C в центральной части до 285°C – в зоне боковой поверхности головки поршня (рис. 3). На рис. 3.а показано расчётное температурное поле поршня в плоскости, лежащей вдоль оси поршневого пальца. Температура в области боковой поверхности головки поршня изменяется от 275°C до 260°C по её высоте (рис. 3. а).

В зоне первого компрессионного кольца температура достигает 235°C, в области второго – 225°C, а в зоне маслосъемного кольца – 210°C (рис. 3.а).

Температурное поле поршня в плоскости, перпендикулярной оси поршневого пальца, приведено на рис. 3.б. Окружная неравномерность температурного поля поршня в среднем составляет 5 – 12 °С, что связано с особенностями конструкции поршня и головки цилиндров.

По высоте юбки поршня температура изменяется от 195 до 165 °С (рис. 3.б).

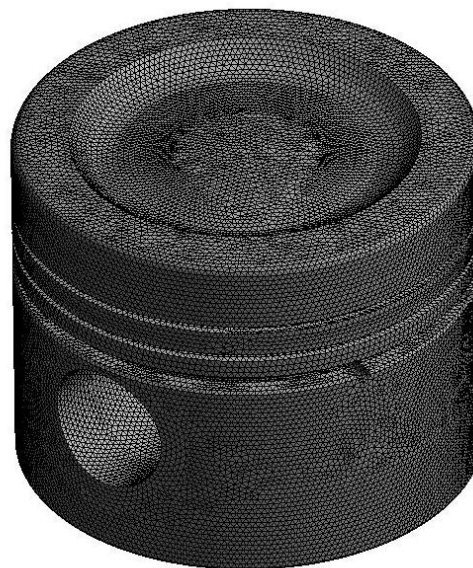


Рис. 2. Расчетная сетка (1110804 конечных элементов и 1583303 узловые точки)

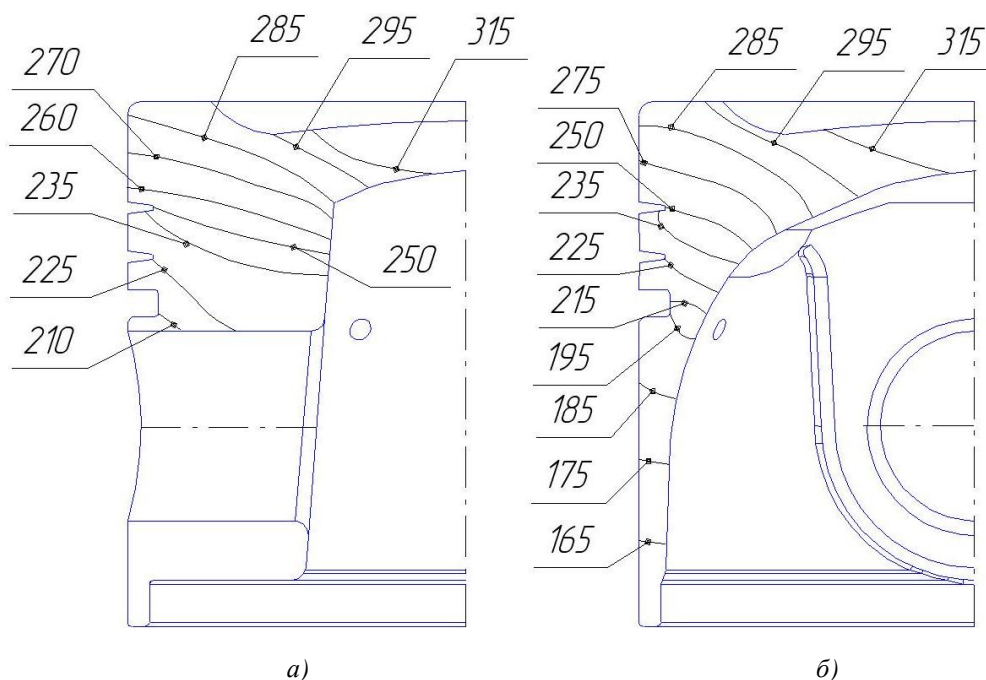


Рис. 3. Температурное поле поршня, °С:
 а – меридиональное сечение по оси поршневого пальца;
 б – меридиональное сечение, перпендикулярное оси поршневого пальца

Анализ рисунков 3 а и 3 б показывает, что для существующего уровня форсирования двигателя (13,75 кВт/л) на режиме номинальной мощности температура поршня в наиболее нагретых зонах не превышает допустимых значений для алюминиево-

го сплава АК, а расчетные температуры в зоне первого компрессионного кольца незначительно превышают 220 °С, и при использовании современных моторных масел обеспечивается надежная работа

поршневых колец и соблюдаются нормальные условия смазки.

Выводы

В результате проведенного расчетного исследования можно отметить следующее:

- из литературного обзора следует, что использование метода конечных элементов в сочетании с рекомендуемыми ГУ третьего рода, является допустимым способом оценки теплового состояния поршня на начальных стадиях его проектирования и, что более важно, при доводке существующих конструкций;

- разработанная расчетная область и сетка позволили корректно описать в трехмерной постановке сложную конструкцию поршня транспортного дизеля;

- в результате расчетного исследования установлено, что температурное поле головки поршня при работе дизеля 6Ч 15/15 на режиме номинальной мощности имеет незначительную окружную неравномерность (порядка 5-12 °С), а максимальная температура поршня в наиболее нагретых зонах не превышает допустимые значения для используемого алюминиевого сплава;

- имеются резервы для увеличения литровой мощности дизеля 6Ч 15/15 по критерию температур поршня. В случае превышения допустимых значений температур поршня её можно снизить применением масляного охлаждения.

Дальнейшее направление работ связано с поиском резервов совершенствования конструкции на основе анализа многовариантных расчетов при корректном применении части представленной геометрической модели и увеличении размеров конечных элементов в различных зонах поршня без потери точности результатов.

Список литературы:

1. Стефановский Б.С. Испытания двигателей внутреннего сгорания / Стефановский Б.С., Скобцов Е.А., Корси Е.К. и др. – М.: Машиностроение, 1972 – 368 с. 2. Абрамчук Ф.И. Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности [Текст]: монография / Ф.И. Абрамчук, А.П. Марченко, Н.Ф. Разлейцев [и др.]; под общ. ред. А.Ф. Шеховцова. – К.: Техника, 1992. – 272 с. 3. Об измерениях температуры поверхности материалов, нагреваемых потоком плазмы [Электронный ресурс] / В.И. Власов, Г.Н., Залогин, Б.А., Землянский и др. // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. – 2008. – №7. – Режим доступа: www.chemphys.edu.ru/pdf/2008-08-11-001.pdf. 4. Исследование температурного поля поршня / А.В. Белогуб, Ю.А. Гусев, А.А. Зотов, А.Г. Щербина // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць. – Харків: ХАІ; Миколаїв: Вид-во МФ НаУКМА, 2002. – Вып. 31. Двигуни та енергоустановки. – С. 120-123. 5. Программный ком-

плекс для моделирования внутрицилиндровых процессов ДВС / Ф.И. Абрамчук, А.Н. Авраменко / Двигатели внутреннего сгорания – 2010. – № 2. – С. 7–1. 6. Пильов В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалості міцності / В.О. Пильов. – Харків: Видавничий центр НТУ “ХПІ”, 2001. – 332 с. 7. Петриченко Р.М. Элементы системы автоматизированного проектирования ДВС: Алгоритмы прикладных программ / Р.М. Петриченко, С.А. Батулин, Ю.Н. Исаков и др. / Под общ. ред. Р.М. Петриченко. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 328 с. 8. Кавтарадзе Р.З. Локальний теплообмін в поршневих двигателях /Кавтарадзе Р.З. – М.: МГТУ ім. Н.Э.Баумана, 2007. – 472 с. 9. Mollenhauer K. Handbook of Diesel Engines / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010. – 636 p. 10. Обеспечение достоверности и информативности расчетов напряженно-деформированного состояния деталей транспортных поршневых двигателей [Текст] / А.И. Яманин, Ю.В. Голубев, С.М. Шилов, С.Н. Болдырев // Двигателестроение. – 2003. – Вып. 3. – С. 22 – 24. 11. Влияние конфигурации камер сгорания на напряженно-деформированное состояние поршней быстроходных тракторных и комбайновых дизелей [Текст] / А.Ф. Шеховцов, П.П. Гонторовский, Ф.И. Абрамчук, А.М. Левтеров // Двигатели внутреннего сгорания. – 1987. Вып. 45. – С. 49 – 55. 12. Влияние вставки под первое поршневое кольцо на напряженно-деформированное состояние поршней быстроходных тракторных и комбайновых дизелей [Текст] / А.Ф. Шеховцов, П.П. Гонторовский, Ф.И. Абрамчук, А.М. Левтеров // Двигатели внутреннего сгорания. – 1987. – Вып. 46. – С. 3-10. 13. Моделювання нестаціонарного високочастотного температурного стану поршня ДВЗ з теплоізоляванню поверхню камери згоряння / А.П. Марченко, В.В. Пылев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – № 2. – С. 41-47. 14. Оценка теплонапряженности поршня с учётом его конструктивных особенностей в зоне кромки камеры сгорания / В.А. Пылёв, Р. Ариан, // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. №2. – С.47-52.

Bibliography (transliterated):

1. Stefanovskii B.S., Skobtsov E.A., Korsi E.K. et. all, (1972), Tests of engines of internal combustion: monograph [Ispytaniya dvigatelei vnutrennego sgoraniya], Mashinostroenie, Moscow, 368 p. 2. Abramchuk F.I., A. Marchenko, N. Razleycev et. all, pod obshh. red. Shehovcova A.F. (1992), Modern diesel engines: fuel efficiency and long-term strength: monograph [Sovremennyye dizeli: povyshenie toplivnoy jekonomichnosti i dlitel'noj prochnosti: monogr], Technic, Kiev, 272 p. 3. Vlasov, V.I., Zalogin, G.N., Zemlyanskii, B.A., i dr. (2008), About measurements of temperature of a surface of the materials which are heated up with a stream of plasma, Physical and chemical cinetics in gas dynamics [Ob izmereniyakh temperatury poverkhnosti materialov, nagrevaemykh potokom plazmy, Fiziko-khimicheskaya kinetika v gazovoi dinamike], Vol. 7. – Rezhim dostupu: www.chemphys.edu.ru/pdf/2008-08-11-001.pdf. 4. Belogub, A.V., Gusev, Yu.A., Zotov, A.A., Shcherbina, A.G. (2002), Research of a temperature field of the piston, Aerospace technics and technology [Issledovanie temperaturnogo polya porshnya, Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnologiya: Zb. nauk. Prats], Kharkiv KhAI; Mikolaiv: Vid-vo MF NaUKMA, Vol. 31. Dvigumi ta energoustanovki. – pp. 120-123. 5. Abramchuk, F.I., Avramenko, A.N. (2010), Program complex for modelling intracylinder processes ICE, Internal combustion engine, [Programmyi kompleks dlya modelirovaniya vnutrisilindrovyykh protsessov DVS, Dvigateli vnutrennego sgoraniya], Vol. 2, pp. 7 - 12. 6. Pylyov V.O. (2001), Automatic designing of pistons of high-speed diesel engines with the set level of long durability: monograph [Avtomatyzovane proektuvannya porshniv shvydkokhidnykh dyzeliv iz zadanim rivnem tryv-

aloyi mitsnosti], Vydavnychyy tsentr NTU "KhPI", Kharkiv, 332 p.7. Petrichenko, R.M., Baturin, S.A., Isakov, Yu.N. et. all, pod obshh. red Petrichenko, (1990), Elements of system of automated designing ICE: Algorithms of applied programs [Elementy sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya DVS: Algoritmy prikladnykh programm], Mashinostroenie, Leningr. – 328 p. 8. Kavtaradze R.Z. (2007), Local heat exchange in piston engines [Lokal'nyi teploobmen v porshnevnykh dvigatelyakh], MGTU im. N.E.Baumana, Moscow – 472 p. 9. Mollenhauer K. Handbook of Diesel Engines / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010. – 636 p., DOI:10.1007/978-3-540-89083-6 10. Jamanin, A.I., Golubev, Ju.V., Shilov, S.M... et. all, (2003), Ensuring the reliability and informativeness of calculation of stress-strain state of the transport parts of piston engines, Enginebuilding, [Obespechenie dostovernosti i informativnosti raschetov naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya detalej transportnykh porshnevnykh dvigatelej, Dvigatestroenie], Vol. 3, pp. 22 – 24. 11. Shehovcov, A.F., Gontorovskij, P.P., Abramchuk, F.I., Levterov, A.M. (1987), The impact on the configuration of the combustion chambers stress-strain state condition of the pistons of high-speed diesel tractor and combine, Internal combustion engine, [Vlijanie konfiguracii kamer sgoraniya na naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie porshnej

bystrohodnykh traktornykh i kombajnovykh dizelej, Dvigateli vnutrennego sgoraniya], Vol. 45, pp. 49 – 55. 12. Shehovcov, A.F., Gontorovskij, P.P., Abramchuk, F.I., Levterov, A.M. (1987), Influence of inserting a first piston ring on the stress-strain state of the piston-speed tractor and combine diesels, Internal combustion engine, [Vlijanie vstavki pod pervoe porshnevoe kol'co na naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie porshnej bystrohodnykh traktornykh i kombajnovykh dizelej, Dvigateli vnutrennego sgoraniya], Vol.46, pp. 3 – 10. 13. Marchenko, A.P., Pylyov, V.V. (2015), A design of the non-stationary high-frequency temperature state of piston of ICE is with the heat-insulated surface of combustion chamber, Internal combustion engine, [Modelyuvannya nestatsionarnoho vysokochastotnoho temperaturnoho stanu porshnya DVZ z teploizol'ovanoju poverkhneyu kamery z-horyannya, Dvigateli vnutrennego sgoraniya], Vol 2. – pp. 41-47.14. Pylyov, V.A., Arian, R. (2015), Estimation of thermal stress of the piston in view of his design features in a zone of an edge of the chamber of combustion, Internal combustion engine, [Otsenka teplonapryazhennosti porshnya s uchetom ego konstruktivnykh osobennosti v zone kromki kamery sgoraniya, Dvigateli vnutrennego sgoraniya], Vol. 2. – pp. 47-52.

Поступила в редакцию 02.06.2016 г.

Бабич Алексей Александрович – директор ГП “Житомирский бронетанковый завод” Житомир, Украина.

Громов Сергей Анатольевич – начальник инженерного центра ГП “Житомирский бронетанковый завод” Житомир, Украина.

Левтеров Антон Михайлович – канд. техн. наук, старш. научн. сотр. ИМПаш им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, e-mail: dppp@ipmach.kharkov.ua

РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПОРШНЯ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

О.О. Бабич, С.А. Громов, А.М. Левтеров

В роботі наведено основні етапи та результати математичного моделювання теплового стану поршня транспортно-го дизеля 6Ч15/15. В якості досліджуваного режиму розглядається режим номінальної потужності. Задача вирішується з використанням методу скінчених елементів в тривимірній постановці. Аналіз умов роботи поршня та удосконалення його конструкції з використанням розрахункових методів є важливим та перспективним аспектом в процесі конструювання та доводки ДВЗ.

SETTLEMENT ESTIMATION OF THE THERMAL CONDITION THE TRANSPORT DIESEL PISTON

A. Babich, S. Gromov, A. Levterov

In work the basic stages and results of mathematical modeling of a thermal condition the transport diesel piston engine 6Ч15/15 are resulted. As a researched mode the mode of rated power is considered. The problem is solved with use of a method of final elements in three-dimensional stationary statement. The analysis of operating conditions of the piston and perfection of his design with use of settlement methods is the important and perspective aspect during designing and operational development ICE.

УДК 621.43.052

DOI: 10.20998/0419-8719.2016.1.09

А.В. Тринёв, Д.Г. Сивых, В.А. Несвитайло

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА ТУРБОКОМПРЕССОРА АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Приведены результаты безмоторных экспериментов, в которых воспроизведена физическая модель системы автоматического регулирования теплового состояния подшипника турбокомпрессора ТКР-11Н, проведено численное моделирование работы системы для идентификации результатов физического моделирования. Отмечается эффективность системы локального воздушного охлаждения при работе турбокомпрессора на форсированных режимах, а также при резких сбросах нагрузки и аварийных остановках двигателя. Проведенный безмоторный эксперимент подтверждает возможность регулирования теплового состояния подшипника на критических эксплуатационных режимах.

Введение

Важнейшей проблемой при разработке и совершенствовании конструкций современных авто-

тракторных дизелей остается дальнейшее улучшение их топливной экономичности, экологических показателей при высокой надежности основных