

**А.В.Васильев, А.М.Ларцев, Е.А.Федянов**

**Оценка теплового состояния головки цилиндра  
двигателя воздушного охлаждения при его форсировании**

*Волгоградский государственный технический университет*

**A.V.Vasilyev, A.M.Lartsev, E.A.Fedyanov**

**Estimation of the cylinder head thermal state  
of the air cooling engine when it is crossing**

*Volgograd state technical University*

*Для транспортной, строительной и вспомогательной техники, работающей в районах с экстремальными климатическими условиями, а также в отдаленных районах, в которые затруднена доставка необходимых для этой техники эксплуатационных материалов, определенные преимущества имеют дизельные двигатели воздушного охлаждения. Вместе с тем, дизельные двигатели воздушного охлаждения в силу конструктивных особенностей имеют более низкие значения среднего эффективного давления, чем дизели такой же размерности с жидкостным охлаждением. В связи с этим весьма важной и актуальной для двигателестроения является задача форсирования дизелей воздушного охлаждения и создания их модификаций, имеющих предельно возможный уровень форсирования при условии выполнения всех нормативных требований по надежности и экологическим показателям. Предложен метод оценки изменения теплового состояния головки цилиндра дизеля воздушного охлаждения, основанный на использовании данных испытаний и термометрирования дизеля с исходным уровнем форсирования. Метод позволяет установить возможные пределы форсирования при различных регулировках дизеля. Эффективность метода подтверждена примерами расчетов для тракторного дизеля 8ЧВН15/16 на различных уровнях форсирования.*

*For transport, construction and auxiliary equipment operating in areas with extreme climatic conditions and in remote areas, which hampered shipping is required for this equipment operational materials, certain advantages are diesel engine air-cooled. . However, diesel air-cooled engine because of design features have lower values of the average effective pressure than diesels of the same dimension with liquid cooling. In connection with this very important and relevant for propulsion engineering is the task of forcing air cooling diesel engines and their modifications, with the maximum possible level of force subject to the fulfilment of all regulatory requirements for reliability and environmental performance. The proposed method for estimating the thermal state of the cylinder head of a diesel engine air cooling based on use of test data and termometry diesel with the original level of forcing. Method allows you to set the limits of the possible crossing with various adjustments diesel. The effectiveness of the method is confirmed by examples of calculations for tractor diesel 8ЧВН15/16 at different levels of forcing.*

*Ключевые слова: двигатель воздушного охлаждения, форсирование, головка цилиндров, тепловое состояние, метод оценки.*

*Keywords: engine air-cooled, the crossing, cylinder head, thermal state, estimation method.*

Дизели воздушного охлаждения имеет, как правило, более низкие значения среднего эффективного давления, чем дизели жидкостного охлаждения той же размерности. Это обусловлено, во-первых, меньшей жесткостью корпусных деталей дизелей с воздушным охлаждением и, во-вторых, сложностью поддержания в допустимых пределах температур деталей их цилиндропоршневой группы при повышении мощности.

Наиболее теплонапряженными элементами в конструкции дизеля воздушного охлаждения являются, как показывает опыт испытаний и эксплу-

атации дизеля 8ЧВН 15/16, головки цилиндров. В головке цилиндров двигателя воздушного охлаждения сложно обеспечить подвод охлаждающего воздуха в их наиболее теплонапряженные зоны, в частности в зону межклапанной перемычки. Кроме того, во внутренних каналах головки для охлаждающего воздуха невозможно, вследствие конструктивных ограничений, выполнить развитые поверхности теплоотвода. Меньшая интенсивность теплоотдачи в воздух по сравнению с теплоотдачей в капельную жидкость приводят не только к росту средней температуры головки в целом, но и к увеличению интервала изменения температуры и температурных градиентов в теле головки при изменении режима работы двигателя, а также при его форсировании.

При форсировании дизеля наддувом возникает вопрос о возможных пределах повышения давления наддува и требуемой глубине охлаждения наддувочного воздуха, при которых температуры головки цилиндров не превышают допустимых пределов [1]. Ответ на этот вопрос можно получить на основе расчета температурного поля в головке цилиндров с использованием соответствующих пакетов прикладных программ [2, 3]. Однако для оценки возможных пределов форсирования конкретной модели дизеля надежность результатов таких расчетов может быть неудовлетворительной, так как в большинстве случаев трудно определить с достаточной точностью граничные условия. В силу сказанного в производственных условиях чаще всего приходится прибегать к термометрированию.

Нами предлагается метод оценки изменения теплового состояния головки цилиндров дизеля воздушного охлаждения, позволяющий ограничиться экспериментальным определением температур на огневом днище головки цилиндров только на исходном уровне форсирования. В основе метода лежит достаточно очевидное утверждение о том, что термические сопротивления теплопроводности собственно головки цилиндров и теплоотдачи в окружающую среду остаются при форсировании двигателя прак-

тически неизменными. Таким образом, при форсировании температурное поле в головки меняется только в результате изменения теплового потока в днище головки и термического сопротивления теплоотдачи на поверхностях камеры сгорания.

Тепловой поток, передаваемый от рабочего тела в цилиндре к охлаждающему воздуху, можно выразить следующим образом [4]:

$$Q_W = \frac{T - T_0}{\frac{1}{\alpha_k \cdot F_d} + R_\lambda + R_{\alpha 0}}, \quad (1)$$

где:  $T$  – средняя за период теплообмена температура газа в камере сгорания;  $T_0$  – температура охлаждающего воздуха;  $\alpha_k$  – среднее на расчетном диапазоне индикаторной диаграммы значение коэффициента теплоотдачи от газа в днище головки цилиндра;  $F_d$  – площадь тепловоспринимающей поверхностей днища головки цилиндра;  $R_\lambda$  – термическое сопротивление теплопроводности тела головки цилиндра;  $R_{\alpha 0}$  – термическое сопротивление теплоотдачи от поверхности головки цилиндра в охлаждающий воздух.

Величину теплового потока  $Q_W$ , передаваемого от рабочего тела в цилиндре в охлаждающий воздух, для исходного уровня форсирования находим по формуле Ньютона-Рихмана, записанной для процесса теплоотдачи на поверхности огневого днища головки. При этом среднюю температуру газа  $T$  в цилиндре определяем путем обработки результатов индцирования, а среднее по поверхности огневого днища головки значение температуры  $T_{дгц}$  находим как средневзвешенную величину измеренных на указанной поверхности температур. Расчет ведем, связывая с каждой точкой измерения площадь некоторого участка поверхности огневого

днища головки. Значение коэффициента  $\alpha_k$  конвективной теплоотдачи вычисляем по модифицированной формуле Вошни [5]:

$$\alpha_k = 127,93 \frac{p^{0.8}}{T^{-0.53} \cdot D^{-0.2}} (C_1 \cdot c_m + B)^{0.8}, \quad (2)$$

где:  $p$ ,  $T$  – температура и давление в цилиндре;  $D$  – диаметр цилиндра;  $C_1$ ,  $B$  – коэффициенты, определяемые параметрами воздушного заряда на впуске и параметрами цилиндропоршневой группы;  $c_m$  – средняя скорость поршня. Возможность применения формулы Вошни для дизелей воздушного охлаждения большой размерности была предварительно подтверждена применением ее для определения полного тепловыделения по данным индицирования.

Зная на исходном уровне форсирования тепловой поток  $Q_w$ , температуру  $T$  газов в цилиндре и значение коэффициента  $\alpha_k$  конвективной теплоотдачи, из формулы (1) находим сумму термических сопротивлений  $R_{ex} = R_\lambda + R_{\alpha 0}$ .

Для оценки теплового состояния головки цилиндра на новом уровне форсирования необходимо знать, какие значения при этом примут  $T$  и  $\alpha_k$ . Эти значения могут быть найдены путем моделирования рабочего цикла двигателя. Для двигателя 8ЧВН15/16, на котором проверялась эффективность рассматриваемого метода, параметры рабочего тела в цилиндре при различных уровнях наддува могут быть с достаточной точностью найдены с помощью математической модели, разработанной в ВолгГТУ [6, 7] профессором Васильевым А.В. Рассчитывая с помощью математической модели на новом заданном уровне форсирования параметры двигателя и индикаторную диаграмму, определяем значение  $T$ , затем на основе расчетной индикаторной диаграммы вычисляем по формуле Вошни  $\alpha_k$  и далее по формуле (1) находим  $Q_w$ . Имея для нового уровня форсирования расчет-

ные значения  $Q_W$ ,  $\alpha_k$  и  $T$ , вычисляем по формуле Ньютона-Рихмана новое значение  $T_{\text{дгц}}$ . В соответствии с распределением площади огневого днища головки по зонам измерения температур обратным пересчетом находим прогнозные значения температур в этих зонах.

С помощью математической модели [6, 7] проведена серия расчетов по дизелю 8ЧВН15/16 для широкого диапазона мощностей на трех уровнях охлаждения наддувочного воздуха в ОНВ:  $\Delta T=35^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $105^\circ$ , а по разработанному методу оценки изменения теплового состояния головки цилиндра для различных уровней форсирования выполнен расчет средневзвешенных температур днища головки цилиндра  $T_{\text{дгц}}$  и температур днища в контрольных точках  $T_i$ . (Рис.1, 2).

Эффективность предложенного метода была проверена на основе результатов испытаний [8] форсированных вариантов дизеля 8ЧВН15/16. Испытания проводились на моторном стенде и заключались в определении эффективных показателей дизеля и термометрировании головки цилиндра в контрольных точках (Рис.2) на режиме номинальной мощности. Экспериментальные и расчетные значения температур соответствующие Рис.1 приведены в Табл.1.

Значения максимальных и минимальных температур днища головки цилиндров, найденные экспериментально и расчетным путем для различных уровней форсирования нанесены на график (Рис.3).

Сравнение результатов расчетного определения значений температур днища головки с экспериментальными данными свидетельствует об их хорошем соответствии. Практически полное совпадение экспериментальных

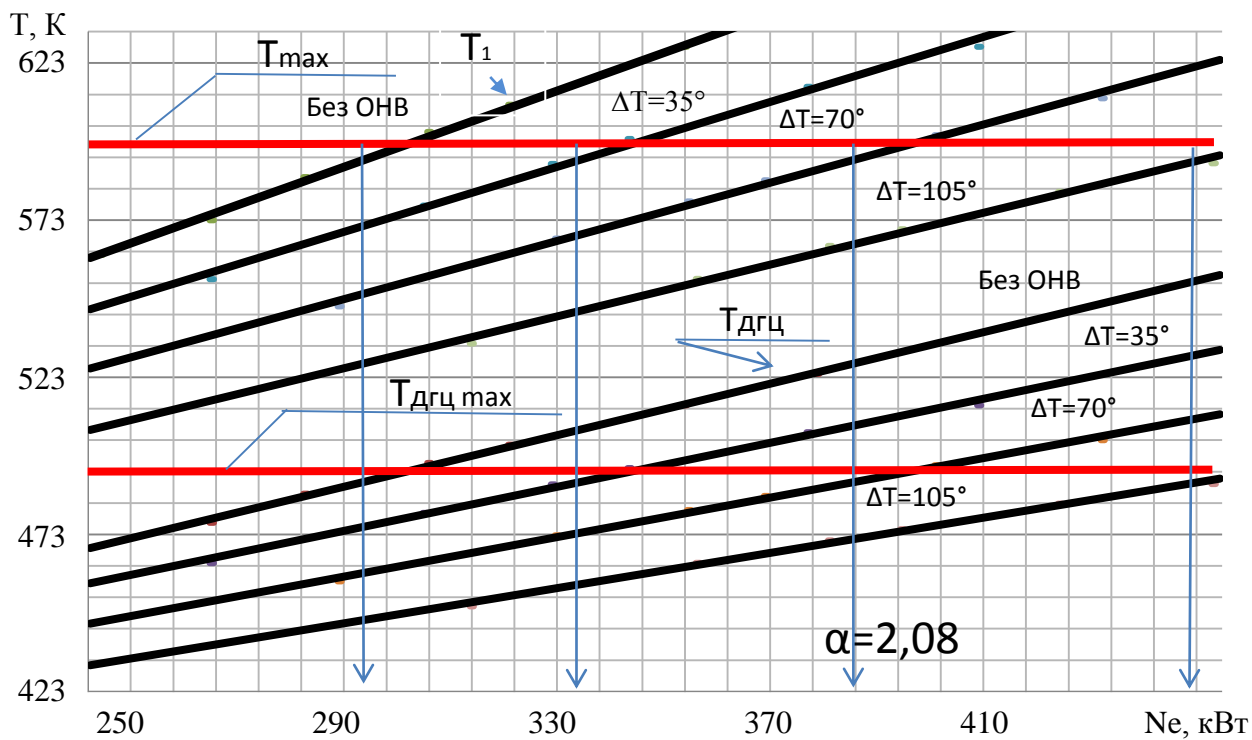


Рис.1. Расчетные значения средневзвешенных и максимальных температур днища головки цилиндра дизеля 8ЧВН15/16 в зависимости от уровня форсирования

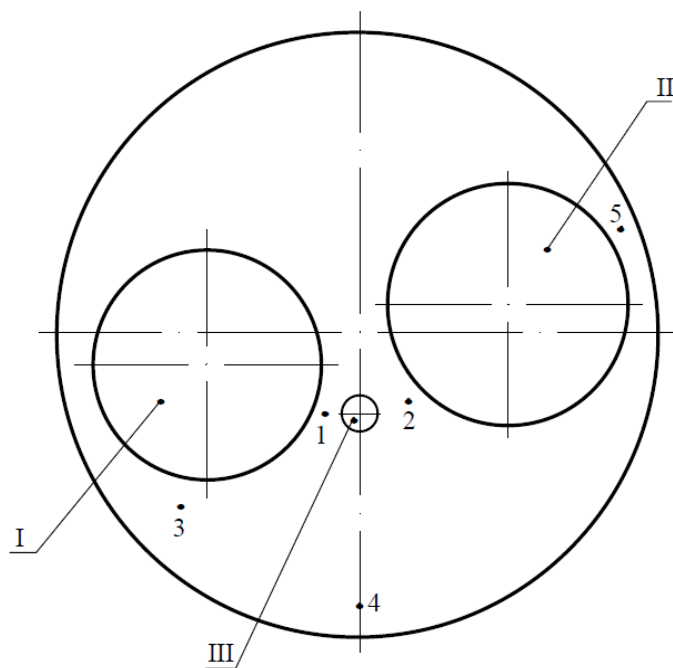


Рис.2. Расположение термодпар на днище головки цилиндра: I, II – впускной, выпускной клапана, III – отверстие под форсунку, 1...5 – термодпары

Таблица 1

## Результаты термометрирования головки цилиндра

Модель ДВС	Режим испытаний		Температура ( $T_i - 273$ )К головки ци- линдра в $i^{oi}$ точке				
	Ne, кВт	n, мин <sup>-1</sup>	1	2	3	4	5
B-400	315	1700	297*	194	210	205	136
			305**	179	218	214	128
B-450	332	1700	306	198	218	213	138
			317	185	226	222	132
B-450	334	1750	305	196	215	211	136
			318	186	227	223	133
B-470	346	1700	316	203	226	220	140
			323	189	231	226	135
B-470	343	1750	318	203	224	219	140
			320	187	228	224	133
B-470	344	1800	318	203	224	220	141
			320	187	228	224	133
B-500	370	1750	334	211	234	228	146
			337	197	240	235	141
B-500	376	1800	340	218	240	234	154
			341	159	243	239	154

\* – строка экспериментальных данных;

\*\* – строка данных, определенных по Рис.1



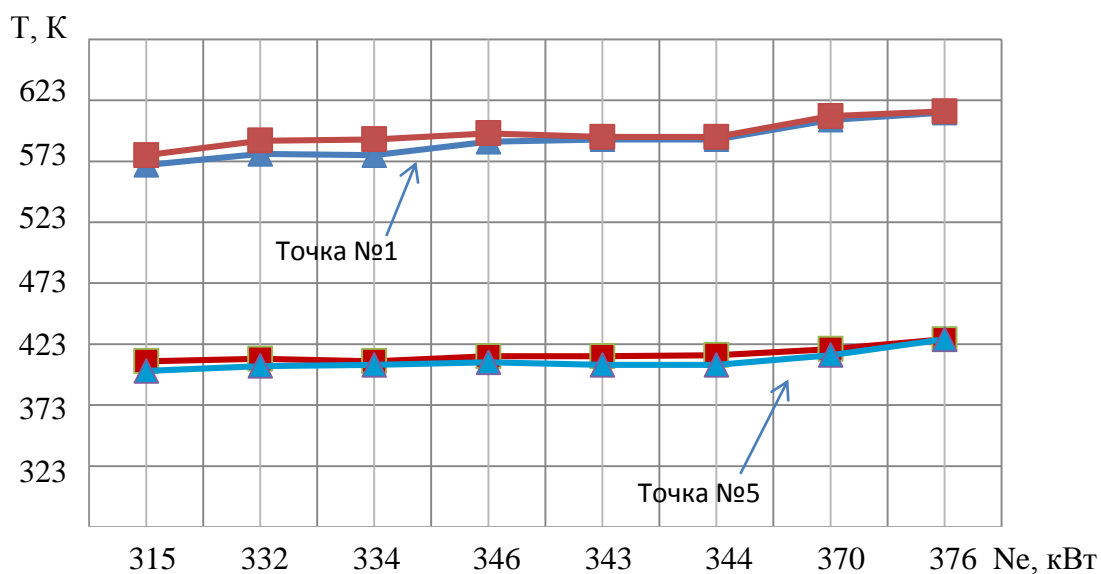


Рис.3. Значения экспериментальных ▲ и расчетных ■ температур на днище головки цилиндра в контрольных точках №1 и 5 в зависимости от уровня форсирования

и расчетных значений температур в экстремальных точках №1 и №5, где диапазон абсолютной погрешности находится в интервале 0 до 3,5%. Несколько выше разница между экспериментом и расчетом по точке №2: различия доходят до 7,5%. Это можно объяснить тем, что точка №2, находясь в достаточно высокотемпературной зоне, в большей степени зависит от температуры поступающего воздуха. В остальных точках абсолютная погрешность находится в районе 5%.

Таким образом, предлагаемый метод правильно прогнозирует изменение теплового состояния головки цилиндров при форсировании дизеля воздушного охлаждения наддувом и может быть использован в инженерной практике для оценки возможных пределов форсирования таких дизелей, выбора регулировок топливоподачи и параметров охладителя наддувочного воздуха.

## Литература

- [1] Ларцев, А.М. *Оценка эффективных показателей двигателя воздушного охлаждения В-400 при его форсировании* / А. М. Ларцев // Двигателестроение. – 2014.– №1. – С.26-29.
- [2] Nomura, T. *Development of Temperature Estimation Method of Whole Engine Considering Heat Balance under Vehicle Running Conditions* / T. Nomura, K. Matsushita, Y. Fujii, H. Fujiwara // SAE International Journal of Engines. – 2014. – Vol. 8, is. 1. – P. 120–134.
- [3] *Methodology for the estimation of cylinder inner surface temperature in an air-cooled engine* / E. C. Trujillo, F. J. Jiménez-Espadafor, J. A. B. Villanueva, M. T. García // Applied Thermal Engineering. – 2011. – Vol. 31, is. 8–9. – P. 1474–1481.
- [4] Злотин, Г.Н. *Теплотехника* / Г.Н. Злотин, Е.А. Федянов; ВолгГТУ – Волгоград, 2005. – 339 с.
- [5] Кавтарадзе, Р. З. *Локальный теплообмен в поршневых двигателях* / Р. З. Кавтарадзе. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 472 с.
- [6] Васильев, А. В. *Повышение эффективности дизеля совершенствованием газораспределения* / А. В. Васильев, Е.А. Григорьев, Е.А. Дивинский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2000, № 6. – С. 20 - 22.
- [7] Васильев, А.В. *Исследование рабочего процесса дизеля 8ЧВН15/16 с силовой газовой турбиной* / А. В. Васильев, Е.А. Дивинский // Двигателестроение. – 2004, № 2. – С. 15 - 17.
- [8] Ларцев, А.М. *Особенности форсирования наддувом дизелей воздушного охлаждения большой размерности: монография* / А.М.Ларцев; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 163 с.