

УДК 621.43

И.В. ПАРСАДАНОВ, Д.В. МЕШКОВ, А.А. ПРОХОРЕНКО*Национальный технический университет «ХПИ», Украина***КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ДАВЛЕНИЯ
В ЦИЛИНДРЕ ДВС ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИМ ДАТЧИКОМ**

В статье рассмотрена методика расчета погрешности измерения давления пьезокерамическим датчиком в цилиндре ДВС. Проведено расчетное исследование влияния некоторых исходных данных расчета на погрешность измерения давления, даны рекомендации по выбору оптимальных значений исходных параметров для корректного расчета величины компенсации погрешности.

давление, пьезокерамический датчик, цилиндр ДВС

Пьезокерамические датчики давления получили широкое распространение при исследовании процессов происходящих в цилиндре двигателя внутреннего сгорания и топливной системе высокого давления дизелей. В последних моделях производителей AVL, Doctor, DrewMarine и Premet исследовательских и диагностических комплексов используются именно пьезокерамические датчики давления [1 – 3]. Принцип действия датчика основан на использовании обратного пьезоэлектрического эффекта, когда при силовом воздействии на пьезоэлемент на его торцах появляется электрический заряд, по величине которого можно судить о силе воздействия [4, 5].

Недостатком пьезокерамических датчиков является невозможность регистрации постоянного давления, что обусловлено быстрым разрядом емкости датчика, приводящего к резкому снижению уровня выходного напряжения. Следовательно, при регистрации значений давления можно получить лишь относительную характеристику выходного сигнала. При обработке результатов, полученных при помощи пьезокерамических датчиков, требуется применение специальных методов пересчета относительного изменения давления в его абсолютное значение.

Характеристики различных датчиков давления, даже одного производителя, могут существенно отличаться друг от друга. Также свойства датчика изменяются со временем. Указанные причины требуют применения специальных методов компенсации

погрешности давления, т.к. неправильное определение массива давления может привести к неверному определению индикаторных показателей двигателя и некорректной интерпретации результатов исследования.

Существуют методики определения величины погрешности измерения давления [6], основанные на уравнении политропы. Расчет значения погрешности производится минимум по двум значениям давления во время процесса сжатия, когда впускные клапаны уже закрыты, но процесс впрыскивания топлива еще не начал.

Целью исследования является выбор и обоснование оптимальных значений исходных параметров расчета для наиболее корректного вычисления значений погрешности индицирования при использовании программного комплекса DieselAnalyse™.

В качестве исходных данных были использованы результаты индицирования дизеля 4ЧН 12/14 на трех режимах работы, при частоте вращения коленчатого вала 1500 мин⁻¹ и мощности 28,3, 53,5 и 81,3 кВт. При исследованиях, проведенных на кафедре ДВС НТУ «ХПИ» с применением универсального исследовательского комплекса [7], использовался пьезокерамический датчик давления 8QP505с производства фирмы AVL (Австрия). При расчетах использовано программное обеспечение, разработанное на кафедре ДВС DieselAnalyse™ и программный пакет компьютерной математики и моделирования

Matlab. Расчет погрешности и значения среднеквадратичного отклонения произведен по 125 последовательным рабочим циклам указанных режимов.

Формула для определения погрешности регистрации давления ΔP , после преобразования уравнения политропы:

$$\Delta P = \left(P_{изм_2} - P_{изм_1} \cdot (V_1/V_2)^n \right) / \left(1 - (V_1/V_2)^n \right),$$
 где $P_{изм_1}$ и $P_{изм_2}$ – значения давления в цилиндре при углах поворота коленчатого вала φ_1 и φ_2 ; V_1 и V_2 – значения текущего объема цилиндра при φ_1 и φ_2 ; n – показатель политропы сжатия.

Значение показателя политропы сжатия может принимать значение от 1,33 до 1,4. В расчете принимается значение n равным 1,37, т.к. объем цилиндра является закрытой системой (клапаны закрыты, впрыскивания топлива нет, утечки газа из цилиндра пренебрежительно малы).

Расчетная формула величины погрешности:

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{P_{изм_i} - P_{изм_i} \cdot (V_i/V_{i+N})^n}{1 - (V_i/V_{i+N})^n},$$

где ΔP_{Σ} – суммарное значение погрешности рабочего цикла; N – число пар значений для расчета погрешности. Ниже приведены результаты исследования влияния на ΔP : начального значения области φ_1 и φ_2 , количества точек значений давления $\Delta\varphi$ и показателя политропы сжатия n . Система обозначений представлена на рис. 1.

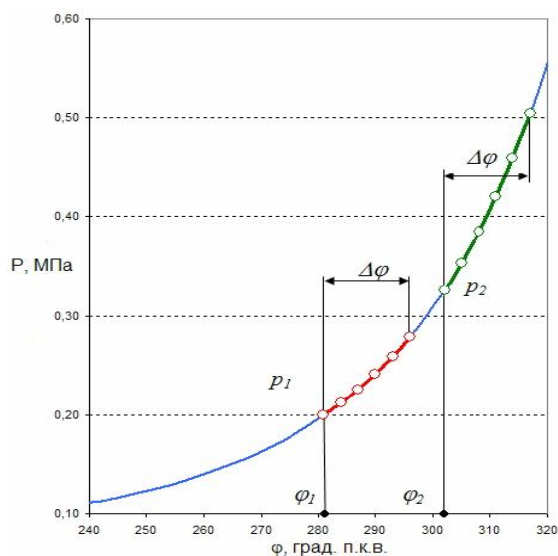


Рис. 1. Обозначение исходных данных для расчета ΔP

Начальное значение области расчета должно быть выбрано в той части индикаторной диаграммы, где приращение давления значительно. В случае двигателя 4ЧН 12/14 эта область ограничена значениями угла поворота коленчатого вала: от 234 до $\sim 330^\circ$ п.к.в., но область пригодная для расчета значительно уже. В качестве базовых значений для расчета погрешности приняты $\varphi_1 = 260^\circ$, $\varphi_2 = 290^\circ$ и $\Delta\varphi = 20$. Для исследований был выбран ряд значений от 240 до 310° п.к.в. при неизменном значении $\Delta\varphi$, равным 20. В качестве критерия использовано значение среднеквадратичного отклонения значений погрешности Δ . Расчет выполнен с интервалом в 1 град. п.к.в. Результаты расчета представлены в табл. 1 и на рис. 2.

В результате исследований установлено, что при смещении расчетных окон в направлении ВМТ погрешность имеет тенденцию уменьшаться. Важно отметить также то, что при увеличении нагрузки происходит увеличение значений погрешности. В районе областей $\varphi_1 = 280^\circ$, $\varphi_2 = 300^\circ$ п.к.в. значения среднеквадратичного отклонения Δ достигают минимального значения на всех режимах работы двигателя, следовательно, данную область следует принять как базовую для расчетов при обработке экспериментальных индикаторных диаграмм. Очевидно при выборе расчетных окон для другого типа двигателя следует стремиться к тому, чтобы значения углов φ_1 и φ_2 были расположены по возможности ближе к ВМТ, а расстояние между ними было минимальным.

Количество пар значений давления $\Delta\varphi$ изменялось в пределах от 1 до 20. Исследование было проведено при постоянных значениях углов φ_1 и φ_2 , которые равны 280° и 300° п.к.в. соответственно. Определение оптимального числа пар значений необходимо для того чтобы, с одной стороны, получить достоверное значение погрешности ΔP , с другой стороны уменьшить время машинного счета при обработке экспериментальных данных. Критерием оценки выбора количества пар значения давления также является среднеквадратичное отклонение Δ . Результаты расчетов представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Таблица 1

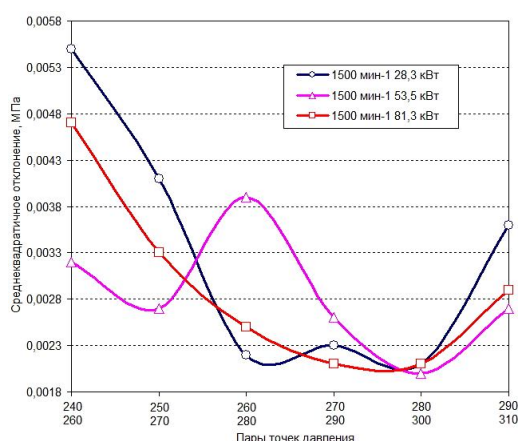
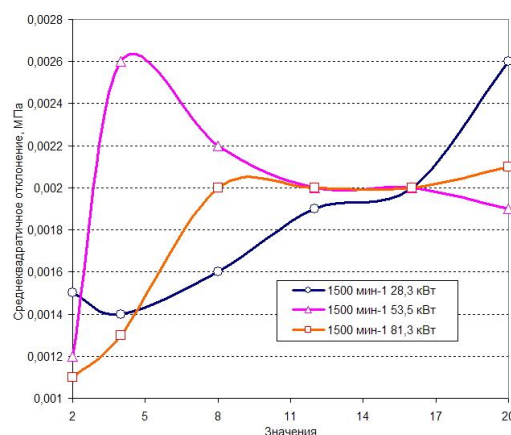
Результаты расчета погрешности при смещении расчетных окон

Режим Пары значений		1500 мин ⁻¹ , 28,3 кВт		1500 мин ⁻¹ , 53,5 кВт		1500 мин ⁻¹ , 81,3 кВт	
		ΔP , МПа	Δ , МПа	ΔP , МПа	Δ , МПа	ΔP , МПа	Δ , МПа
1.	240...260	-0,2381	0,0055	-0,2984	0,0032	-0,3849	0,0047
2.	250...270	-0,2308	0,0041	-0,2950	0,0027	-0,3792	0,0033
3.	260...280	-0,2265	0,0022	-0,2904	0,0039	-0,3751	0,0025
4.	270...290	-0,2265	0,0023	-0,2867	0,0026	-0,3726	0,0021
5.	280...300	-0,2265	0,0021	-0,2853	0,0020	-0,3708	0,0021
6.	290...310	-0,2222	0,0036	-0,2826	0,0027	-0,3681	0,0029

Таблица 2

Результаты расчета погрешности при изменении $\Delta\varphi$

Режим $\Delta\varphi$		1500 мин ⁻¹ , 28,3 кВт		1500 мин ⁻¹ , 53,5 кВт		1500 мин ⁻¹ , 81,3 кВт	
		ΔP , МПа	Δ , МПа	ΔP , МПа	Δ , МПа	ΔP , МПа	Δ , МПа
1.	2	-0,2286	0,0015	-0,2840	0,0012	-0,3712	0,0011
2.	4	-0,2287	0,0014	-0,2855	0,0026	-0,3715	0,0013
3.	8	-0,2281	0,0016	-0,2861	0,0022	-0,3721	0,0020
4.	12	-0,2274	0,0019	-0,2859	0,0020	-0,3715	0,0020
5.	16	-0,2268	0,0020	-0,2855	0,0020	-0,3711	0,0020
6.	20	-0,2262	0,0026	-0,2852	0,0019	-0,3707	0,0021

Рис. 2. Зависимость Δ от углов φ_1 и φ_2 Рис. 3. Зависимость Δ от $\Delta\varphi$

В соответствии с рис. 3 минимальное значение Δ находится при 2-х значениях давления, но производить расчет погрешности рабочего цикла всего по двум значениям давления некорректно, т.к. велика вероятность ошибочного расчета величины ΔP . В районе 12...16 расчетных точек наблюдается участок стабилизации значений среднееквadraticного отклонения для всех режимов работы двигателя. Следовательно, для правильного расчета значения погрешности рабочего цикла необходимо принимать $\Delta\varphi = 14$.

Влияние показателя политропы сжатия. В расчете обоснован выбор значения $n = 1,37$. В двигате-

лях внутреннего сгорания показатель политропы может принимать значения от $n = 1,35$ до $n = 1,4$ [8].

Расчет значений среднееквadraticного отклонения при изменении значений n от 1,35 до 1,4 представлено в табл. 3 и на рис. 4.

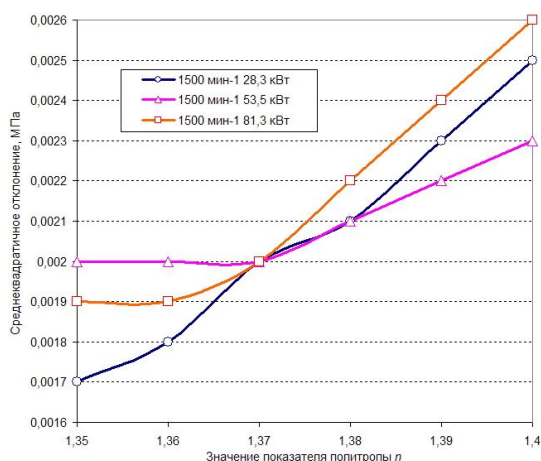
Экспериментально установлено, что существует практически линейная зависимость значения погрешности от показателя политропы. Чем больше показатель политропы, тем выше значение погрешности ($\sim 0,002$ МПа на $0,1n$) (табл. 3).

На рис. 3 показано, что при значении показателя политропы $n=1,37$ среднееквadraticное отклонение всех режимов работы двигателя одинаково.

Таблица 3

Результаты расчета погрешности при изменении n

n	Режим	1500 мин ⁻¹ , 28,3 кВт		1500 мин ⁻¹ , 53,5 кВт		1500 мин ⁻¹ , 81,3 кВт	
		ΔP , МПа	Δ , МПа	ΔP , МПа	Δ , МПа	ΔP , МПа	Δ , МПа
1.	1,35	-0,2301	0,0017	-0,2892	0,0020	-0,3757	0,0019
2.	1,36	-0,2285	0,0018	-0,2873	0,0020	-0,3734	0,0019
3.	1,37	-0,2268	0,0020	-0,2855	0,0020	-0,3711	0,0020
4.	1,38	-0,2252	0,0021	-0,2836	0,0021	-0,3689	0,0022
5.	1,39	-0,2237	0,0023	-0,2818	0,0022	-0,3667	0,0024
6.	1,40	-0,2221	0,0025	-0,2800	0,0023	-0,3645	0,0026

Рис. 4. Зависимость Δ от показателя адиабаты n

Также точность всех методов корректировки погрешности зависит от того, каким принято значение показателя политропы в начале расчета. Предполагаются одинаковый заряд и начальные условия для цилиндра, поэтому нет необходимости в задании индивидуального значения показателя политропы для каждого цикла.

При постоянной нагрузке можно принять постоянный коэффициент $n = 1,37$ от цикла к циклу, для того чтобы, снизить погрешность при неправильном принятии показателя политропы.

Выводы

С использованием данных, полученных с помощью универсального автоматизированного комплекса, проведено расчетное исследование влияния исходных параметров расчета на величину компенсации погрешности индицирования ΔP пьезокерамическим датчиком давления. Данное исследование позволило обосновать следующие значения параметров для использования в программном комплек-

се DieselAnalyse™ кафедры ДВС НТУ «ХПИ»: φ_1 и φ_2 равные соответственно 280 и 300° п.к.в.; значение $\Delta\varphi$ принять равное 14-ти; показатель политропы сжатия принимается равным 1,37.

Литература

1. Pischinger R. Indizieren am Verbrennungsmotor; Anwenderhandbuch. – Graz: TUG, 2002. – 136 s.
2. Doctor – Analysis Software, Technische Unter- richtung, Wien 2004. – S. 8.
3. Monitoring Equipment DPA Diesel performance analyzer, Provides Real-Time Operating Data for Opti- mizing Engine Efficiency – Ashland, 2005. – S. 2.
4. Измерение электрических и неэлектрических величин / Н.Н. Евтихеев и др. – М.: Энергоатомиз- дат, 1990. – 352 с.
5. Туричин А.М. Электрические измерения неэ- лектрических величин. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 690 с.
6. Brennraumdruckgeregelte Otto- und Dieselmoto- ren: neue Konzepte zur individuellen Zylinderbeeinflus- sung, Dissertation Dipl.-Ing. Norbert Müller, TU Dar- mstadt Darmstadt, Deutschland. – S. 18.
7. Универсальный автоматизированный стенд для испытаний ДВС / Марченко А.П. и др. // Вест- ник НТУ «ХПИ». – Х.: ХПИ, 2006. – 140 с.
8. Pischinger R., Klell M., Sams T., Thermodyna- mik der Verbrennungskraftmaschine. Zweite, überarbei- tete Auflage, Springer-Verlag/Wien, 2002.

Поступила в редакцию 12.06.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Пылев, На- циональный технический университет «ХПИ», Харьков.

