

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВПУСКНОЙ СИСТЕМЫ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Жолобов Л. А., Суворов Е. А.

ФГБОУ ВПО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», Нижний Новгород, Россия (603107, Нижний Новгород, пр.Гагарина, 97), e-mail: jolobovlev@yandex.ru; suvorov_ea_nino@rambler.ru.

В статье рассматривается оценка влияния дроссельного узла на равномерность наполнения цилиндров. Для оценки влияния создана и опробована установка для аэродинамической продувки систем впуска ДВС, разработана универсальная методика исследования систем впуска ДВС, позволяющая оценить аэродинамическое сопротивление не только отдельных элементов, но всей впускной системы ДВС в целом. Разработана автоматизированная методика обработки результатов испытаний. Предложены рекомендации по модернизации штатной системы впуска, позволяющие уменьшить длину зоны высокой турбулентности, возникающую при прохождении воздушным потоком дроссельной заслонки, тем самым исключить появление неравномерности при наполнении цилиндров свежим зарядом. Проведена аэродинамическая продувка штатной и модернизированной систем впуска ДВС и дан сравнительный анализ данных, полученных при испытаниях. В результате установлено, что штатная настроенная впускная система не является оптимальной с точки зрения равномерного распределения воздушного потока по цилиндрам ДВС. Дроссельная заслонка является конструктивным элементом, в значительной мере влияющим не только на аэродинамическое сопротивление впускной системы в целом, но и на работу каждого впускного патрубка в отдельности. Применение модернизированной впускной системы обеспечивает более равномерное распределение воздушного потока по цилиндрам, а также снижает негативное влияние дроссельной заслонки на работу системы впуска.

Ключевые слова: впускная система, впускные трубопроводы, наполнение цилиндров, поток воздуха, дополнительный патрубок.

AERODYNAMIC PROBES OF INLET SYSTEM OF THE GASOLINE ENGINE

Jolobov L. A., Suvorov E. A.

«Nizhniy Novgorod State agricultural academy», Nizhni Novgorod, Russia (603107, Nizhni Novgorod, Gagarin's avenue, 97), e-mail: jolobovlev@yandex.ru; suvorov_ea_nino@rambler.ru.

In a paper the estimation influence of a throttle node on uniformity of filling of barrels is considered. For an influence estimation installation for an aerodynamic blowdown of systems of admission intake ДВС is created and tested, the multiple-purpose technique of probe of systems of admission intake DVS is developed, allowing to evaluate aerodynamic resistance not only separate elements, but all inlet system DVS as a whole. The automatized technique of handling of results of trials is developed. Recommendations about modernising of regular system of the admission intake are offered, allowing to diminish length of a zone of high turbulence arising at transiting by a throttle valve air flow, thereby to eliminate non-uniformity occurrence at filling of barrels by a fresh charge. The aerodynamic blowdown of the regular and modernised systems of admission intake ДВС is spent and the comparative assaying of the data received is given at trials. It is as a result fixed that the regular adjusted inlet system is not optimum from the point of view of an air flow equal distribution on barrels DVS. The Throttle valve is a structural component appreciably influencing not only on aerodynamic resistance of inlet system as a whole, but also on operation of each inlet connection separately. Application of the modernised inlet system ensures more an air flow equal distribution on barrels, and also reduces negative influence of a throttle valve on operation of system of an admission intake.

Keywords: inlet system, inlet pipe ducts, filling of barrels, air flow, additional fitting pipe.

Регулирование нагрузки в двигателях с искровым зажиганием осуществляется изменением качества топливо-воздушного заряда путем дросселирования потока свежего заряда, поступающего в цилиндр двигателя, т.е. увеличением гидравлического сопротивления во впускном тракте двигателя, оцениваемого разницей между атмосферным давлением P_0 и средним давлением в цилиндре $P_{ц}$.

Эта разница незначительна на полных нагрузках из-за отсутствия большого гидравлического сопротивления и составляет величину менее 1 % среднего индикаторного давления P_i . С уменьшением нагрузки гидравлическое сопротивление возрастает. Поэтому доля насосных потерь на средних нагрузках достигает 5 %, а на малых нагрузках от 15 до 20 %.

В результате аэродинамические потери на дросселирование ухудшают эксплуатационную экономичность двигателя в среднем на 15–20 % [5].

При этом наблюдается ухудшение равномерности распределения воздушного потока по цилиндрам, а точнее снижение количества воздуха, поступающего в один из цилиндров двигателя.

Количество воздуха, поступающего в двигатель внутреннего сгорания, зависит от режима работы двигателя. Одним из элементов, регулирующих поступление воздуха в двигателе внутреннего сгорания, является дроссельная заслонка, угол открытия которой и частота вращения коленчатого вала определяют количество воздуха поступившего в цилиндры. Однако большую часть времени заслонка открыта не полностью, а частично, что приводит к нарушению течения воздушного потока при входе во впускной коллектор. Это отрицательно сказывается на наполнении цилиндров воздухом. В связи с этим наиболее актуальной проблемой доводки впускной системы является организация движения потока воздуха во впускной системе при различных углах открытия заслонки и ее расположения.

Для оценки влияния дросселирования на равномерность распределения воздушного потока настроенной впускной системы была создана исследовательская установка (рис.1), которая состоит из: вентилятора, ресивера, впускного коллектора, дроссельной заслонки, датчика массового расхода воздуха (ДМРВ), щита с U-образными манометрами, зондов статического и полного давлений, компьютера.

При проведении испытаний исследуемой впускной системы во впускном коллекторе, на входе и выходе впускных патрубков, а также в ресивере были установлены зонды для измерения давления общим количеством 28 штук. (Места установки зондов обозначены на рис. 1.) Зонды при помощи гибких трубок герметично соединены с U-образными манометрами, закрепленными на стенде. При помощи U-образных

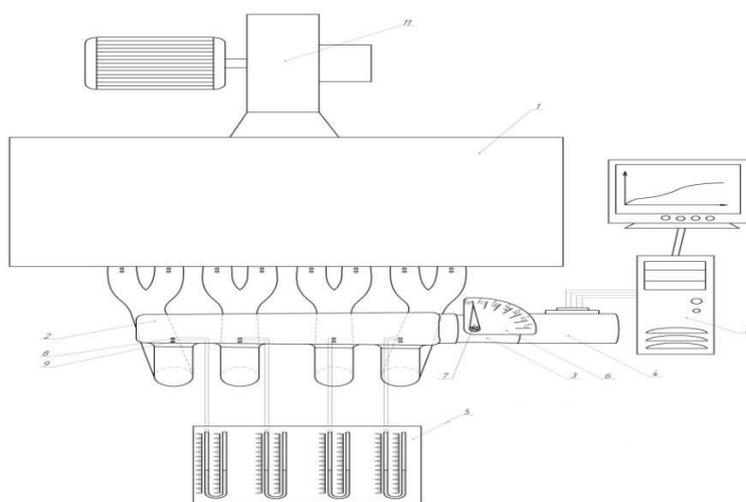


Рис. 1. Схема установки: 1 – ресивер, 2 – коллектор, 3 – дополнительный патрубок, 4 – ДМРВ, 5 – щит с U – образными манометрами, 6 – лимб, 7 – стрелка, 8 – зонд полного давления, 9 – зонд статического давления, 10 – компьютер, 11 – вентилятор

манометров производился замер разрежения в интересующих нас точках впускной системы. Замеры давлений в местах установки зондов производились при изменении угла открытия дроссельной заслонки в диапазоне от 45° до 90°. Контроль угла открытия дроссельной заслонки производился при помощи дополнительно установленной системы, состоящей из лимба и стрелки.

Для определения расхода воздуха, проходящего через впускную систему перед дроссельной заслонкой, был установлен датчик массового расхода воздуха. Датчик массового расхода воздуха через аналоговый цифровой преобразователь (АЦП) был подключен к компьютеру. Это не только позволило постоянно контролировать расход воздуха, проходящего через установку, но и получать данные с датчика в электронном виде, что в дальнейшем облегчило обработку полученных данных.

Данные замеров давления в зависимости от расхода воздуха и угла поворота дроссельной заслонки были сведены в таблицу (см. табл.).

Таблица

Давление на выходе из впускных патрубков в зависимости от расхода воздуха и угла поворота дроссельной заслонки

Угол поворота дроссельной заслонки	45 Градусов	V _T , кг/ч	Давление в месте установки зонда, Па							
			1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
		114	-3071,3	-3098,3	-3556,3	-3556,3	-3340,7	-3421,6	-3475,4	-3583,2
128,25	-3071,3	-3152,1	-3879,6	-3960,4	-3825,7	-3933,4	-3691	-3825,7		
142,5	-3286,8	-3313,8	-4337,6	-4445,3	-4283,7	-4418,4	-4364,5	-4580		
156,75	-3502,4	-3556,3	-4953,9	-4768,6	-4768,6	-4903,3	-4903,3	-5080,2		
171	-3691	-3744,8	-5282,4	-5383,5	-5105,5	-5231,9	-5231,9	-5484,6		
185,29	-3717,9	-3825,7	-5611	-5712,1	-5181,3	-5257,2	-5535,2	-5762,7		
199,5	-4095,1	-4095,1	-5914,3	-5787,9	-5358,3	-5282,4	-5813,2	-6141,8		

	60 Градусов	V_T , кг/ч	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
		114	-3071,3	-3098,3	-2667,2	-2775	-2640,3	-2640,3	-2694,1	-2667,2
		128,25	-3098,3	-3152,1	-2936,6	-2936,6	-2775	-2775	-2882,7	-2828,8
		142,5	-3286,8	-3286,8	-3071,3	-3152,1	-2936,6	-2882,7	-2828,8	-3259,9
		156,75	-3502,4	-3556,3	-3286,8	-3367,7	-3152,1	-3125,2	-3259,9	-3259,9
		171	-3017,4	-3017,4	-3475,4	-3637,1	-3313,8	-3206	-3367,7	-3421,6
		185,29	-3206	-3206	-3744,8	-3906,5	-3448,5	-3340,7	-3475,4	-3394,6
		199,5	-3233	-3286,8	-3771,8	-3933,4	-3556,3	-3421,6	-3691	-3664
	75 Градусов	V_T , кг/ч	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
		114	-2694,1	-2694,1	-2505,5	-2613,3	-2505,5	-2505,5	-2559,4	-2478,6
		128,25	-2882,7	-2909,7	-2613,3	-2694,1	-2586,4	-2559,4	-2667,2	-2559,4
		142,5	-3071,3	-3125,2	-2828,8	-2801,9	-2667,2	-2586,4	-2855,8	-2667,2
		156,75	-3152,1	-3152,1	-2828,8	-2828,8	-2694,1	-2667,2	-2909,7	-2694,1
		171	-3017,4	-3017,4	-3017,4	-3286,8	-2882,7	-2694,1	-3017,4	-2855,8
		185,29	-3179,1	-3179,1	-3259,9	-3556,3	-2963,5	-2828,8	-3152,1	-2882,7
		199,5	-3286,8	-3421,6	-3259,9	-3691	-3044,4	-2882,7	-3233	-2963,5
	90 Градусов	V_T , кг/ч	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
		114	-2478,6	-2532,5	-1634,4	-2478,6	-1362	-2559,4	-1906,8	-2559,4
		128,25	-2640,3	-2667,2	-2478,6	-2559,4	-1634,4	-2613,3	-2478,6	-2667,2
		142,5	-2694,1	-2694,1	-2559,4	-2667,2	-2179,3	-2775	-2559,4	-2801,9
		156,75	-2882,7	-2882,7	-2640,3	-2694,1	-2478,6	-2828,8	-2613,3	-2936,6
		171	-2882,7	-2936,6	-2667,2	-2990,5	-2613,3	-2909,7	-2667,2	-3017,4
		185,29	-3017,4	-3017,4	-2694,1	-3017,4	-2667,2	-2936,6	-2694,1	-3098,3
		199,5	-3017,4	-3152,1	-2828,8	-3286,8	-2721,1	-2936,6	-2694,1	-3206

По полученным данным были построены зависимости давления от расхода воздуха, при разных углах поворота дроссельной заслонки для четырех цилиндров двигателя (рис. 2).

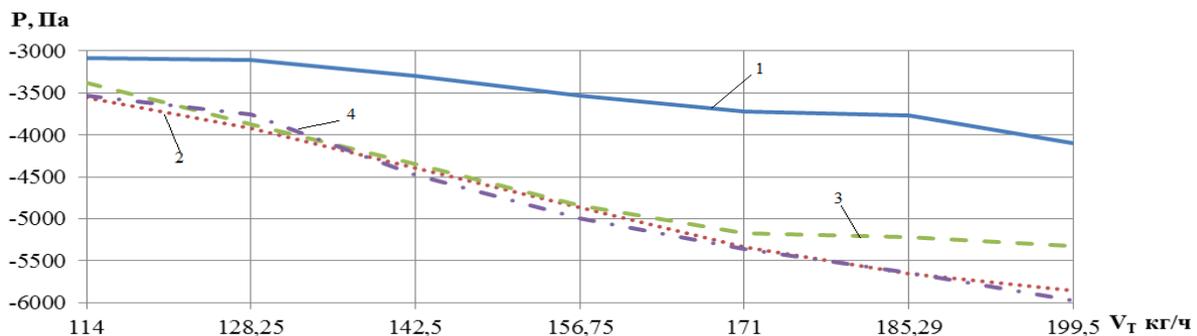


Рис. 2. Зависимость давления воздуха в системе от расхода при угле поворота дроссельной заслонки 45 градусов (цифрами обозначены номера цилиндров)

Продувка системы впуска показала, что распределение воздуха по впускным трубопроводам ресивера не равномерно. На графике (рис. 2) видно, что разрежение в зоне впускного патрубка первого цилиндра не стабильно и значительно отличается от разрежения остальных патрубков. При угле открытия дроссельной заслонки 45° разрежение в зоне впускного патрубка первого цилиндра значительно ниже, чем у остальных впускных

патрубков. Таким образом, количество воздуха, которое может попасть в первый цилиндр при работе ДВС, будет значительно ниже, чем у других цилиндров. При угле открытия дроссельной заслонки 60° и увеличении расхода воздуха с 156,75 кг/ч до 171 кг/ч график, построенный по данным разряжения в зоне впускного патрубка первого цилиндра, имеет излом. Т.е. при увеличении расхода воздуха, проходящего через впускную систему, разряжение во впускном патрубке первого цилиндра резко падает. Подобное изменение разряжения при этом же изменении расхода наблюдается и при угле открытия дроссельной заслонки 75° .

Анализ графиков, построенных по данным аэродинамической продувки впускной системы, показал, что цилиндры ДВС находятся в не одинаковых условиях. Настроенная впускная система ДВС не обеспечивает равномерного распределения воздушного потока, поступающего в цилиндры двигателя. Выявлена значительная разница между разряжением во впускном патрубке первого цилиндра и разряжением во впускных патрубках остальных цилиндров. Эта разница разряжений во впускных патрубках меняется при изменении положения дроссельной заслонки, а также при изменении расхода воздуха, проходящего через впускную систему.

После анализа и полученных в его ходе выводов было сделано предположение, что разница разряжений в зоне первого впускного патрубка относительно остальных патрубков возникает в связи с неравномерным течением потока воздуха, вызываемого положением дроссельной заслонки.

Для подтверждения сделанного предположения было проведено компьютерное моделирование при помощи программы «Flowvision». Результаты, полученные в ходе компьютерного моделирования, подтвердили правильность сделанного предположения.

Таким образом, было определено, что дроссельная заслонка является дополнительным сопротивлением движению воздушного потока при дросселировании, что существенно сказывается на равномерности наполнения двигателя, особенно первого цилиндра, что существенно ухудшает работу двигателя, особенно на частичных и средних нагрузках.

Для снижения турбулентности течения воздуха за дроссельной заслонкой и тем самым снижения влияния заслонки было предложено модернизировать впускную систему и установить дополнительный патрубок, внутренним диаметром равным диаметру дроссельной заслонки и длиной $L = 200$ мм. Схема установки представлена на рис. 3.

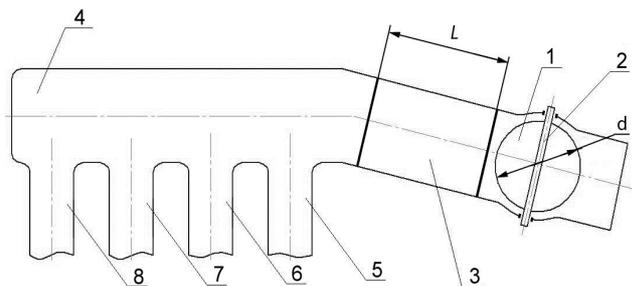


Рис. 3. Схема модернизированной впускной системы: 1 – дроссельная заслонка; 2 – привод дроссельной заслонки; 3 – дополнительный патрубок; 4 – ресивер; 5,6,7,8 – впускные патрубки

Модернизированная система работает следующим образом.

Воздушный поток поступает во впускной коллектор двигателя внутреннего сгорания, проходя через дроссельное устройство с заслонкой 1, установленной в нужное положение приводом 2 и через дополнительный патрубок 3, ресивер 4 и патрубки 5,6,7 и 8, распределяющие газовый поток по цилиндрам, попадает в цилиндры двигателя. Внутренний диаметр дополнительного патрубка, равный диаметру дроссельной заслонки,

исключает возможность появления дополнительного аэродинамического сопротивления на пути потока за дроссельной заслонкой и, как следствие, не приводит к дополнительной турбулизации потока. Длина дополнительного патрубка $L = 200$ мм, выбрана из условия обеспечения уменьшения длины зоны высокой турбулентности при прохождении воздушным потоком дроссельной заслонки.

Для подтверждения правильности выбора именно такой длины патрубка было проведено компьютерное моделирование при помощи программы «Flowvision».

Полученные результаты подтвердили, что такая длина патрубка при данных габаритных размерах системы обеспечивает снижение турбулентности режима течения воздуха на всех режимах проводимой аэродинамической продувки.

Была проведена продувка модернизированной впускной системы и вычислено среднее значение давления для каждого цилиндра штатной и модернизированной впускной систем. Результат вычисления представлен в таблице (см. табл.).

Таблица

Среднее давление на выходе из впускных патрубков штатной и модернизированной впускных систем

Угол поворота дроссельной заслонки	45 Градусов	Вт, кг/ч	Среднее давление впускных патрубков, Па							
			1 ^й цилиндр		2 ^й цилиндр		2 ^й цилиндр		3 ^й цилиндр	
			Штатная система	Модерн. Система	Штатная система	Модерн. Система	Штатная система	Модерн. Система	Штатная система	Модерн. Система
45 Градусов	114	-3084,8	-3583,20	-3556,30	-3340,75	-3381,15	-3340,70	-3529,30	-3327,30	
	128,25	-3111,7	-3825,65	-3920,00	-3677,50	-3879,55	-3569,75	-3758,35	-3704,45	
	142,5	-3300,3	-458,80	-4391,45	-3987,35	-351,05	-3920,00	-4472,25	-4095,10	
	156,75	-3529,35	-4485,70	-4861,25	-499,20	-4835,95	-4229,80	-4991,75	-4283,70	
	171	-3717,9	-4755,15	-5332,95	-4782,05	-5168,70	-4445,30	-5358,25	-4884,85	
	185,29	-3771,8	-4979,10	-5661,55	-5105,50	-5219,25	-4701,25	-538,95	-5092,85	
	199,5	-4095,1	-5105,50	-5851,10	-5408,80	-5320,35	-5219,25	-5977,50	-5446,75	
60 Градусов	114	-3084,80	-2667,20	-2721,10	-2613,30	-2640,30	-2586,40	-2680,65	-2613,30	
	128,25	-3125,20	-2855,75	-2936,60	-2680,65	-2775,00	-2734,55	-2855,75	-2774,95	
	142,5	-3286,80	-3017,40	-3111,70	-2936,60	-2909,65	-2788,45	-3044,35	-2936,65	
	156,75	-3529,35	-3179,05	-3327,25	-3017,45	-3138,65	-2990,50	-3259,90	-3003,95	
	171	-3017,40	-3246,45	-3556,25	-3206,00	-3259,90	-3057,80	-339,65	-3232,95	
	185,29	-3206,00	-3502,40	-3825,65	-3327,25	-3394,60	-3192,55	-3435,00	-3327,25	
	199,5	-3259,90	-3593,20	-3852,60	-3435,00	-3488,95	-3233,00	-3677,50	-3462,00	
75 Градусов	114	-2694,10	-2505,55	-2559,40	-2093,45	-2505,50	-2342,40	-2519,00	-2110,40	
	128,25	-2896,20	-2586,40	-2653,70	-2545,95	-2572,90	-2532,50	-2613,30	-2572,90	
	142,5	-3098,25	-2653,70	-2815,35	-2653,70	-2626,80	-2613,30	-2761,50	-2707,60	
	156,75	-3152,10	-2855,75	-2828,80	-2774,95	-2680,65	-2694,10	-2801,90	-2774,95	
	171	-3017,40	-2855,75	-3152,10	-2896,20	-2788,40	-2761,50	-2936,60	-2882,70	
	185,29	-3179,10	-3003,95	-3408,10	-2950,05	-2896,15	-2815,35	-3017,40	-3003,95	
	199,5	-3354,20	-3111,75	-3475,45	-3084,75	-2963,55	-2936,60	-3098,25	-3098,25	
90 Градусов	114	-2505,55	-2478,60	-2056,50	-1947,25	-1960,70	-2083,45	-2233,10	-197,25	
	128,25	-2653,75	-2505,55	-2519,00	-2137,35	-2123,85	-2382,85	-2572,90	-2287,00	
	142,5	-2694,10	-2599,80	-2613,30	-2586,35	-2477,15	-2599,80	-2680,65	-2477,15	
	156,75	-2882,70	-2694,10	-2667,20	-2721,05	-2653,70	-2653,75	-2774,95	-2694,15	
	171	-2909,65	-2653,70	-2828,85	-2801,90	-2761,50	-2748,00	-2842,30	-2842,30	
	185,29	-3017,40	-2788,40	-2855,75	-2882,70	-2801,90	-2788,40	-2896,20	-2882,75	
	199,5	-3084,75	-4385,85	-3057,80	-2950,05	-2828,85	-2869,25	-2950,05	-2950,05	

По данным продувки штатной и модернизированной впускных систем были построены зависимости давления воздуха от угла поворота дроссельной заслонки при различных расходах воздуха для четырех цилиндров двигателя (рис. 4,5).

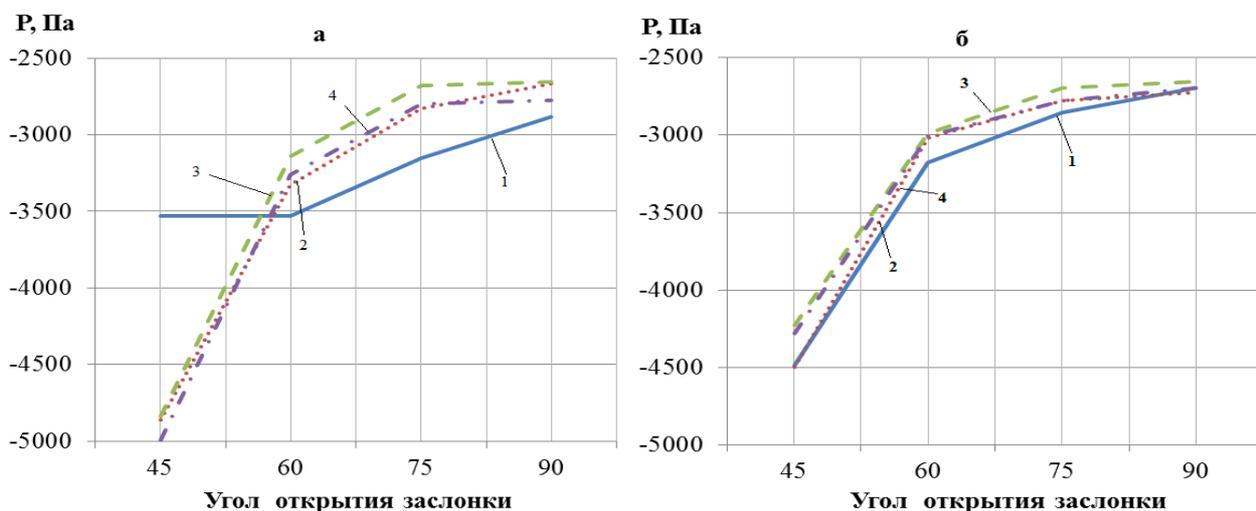


Рис. 4. Зависимость давления воздуха в (а) штатной и (б) модернизированной впускных системах от угла поворота дроссельной заслонки при расходе воздуха 156,75 кг/ч (цифрами обозначены номера цилиндров)

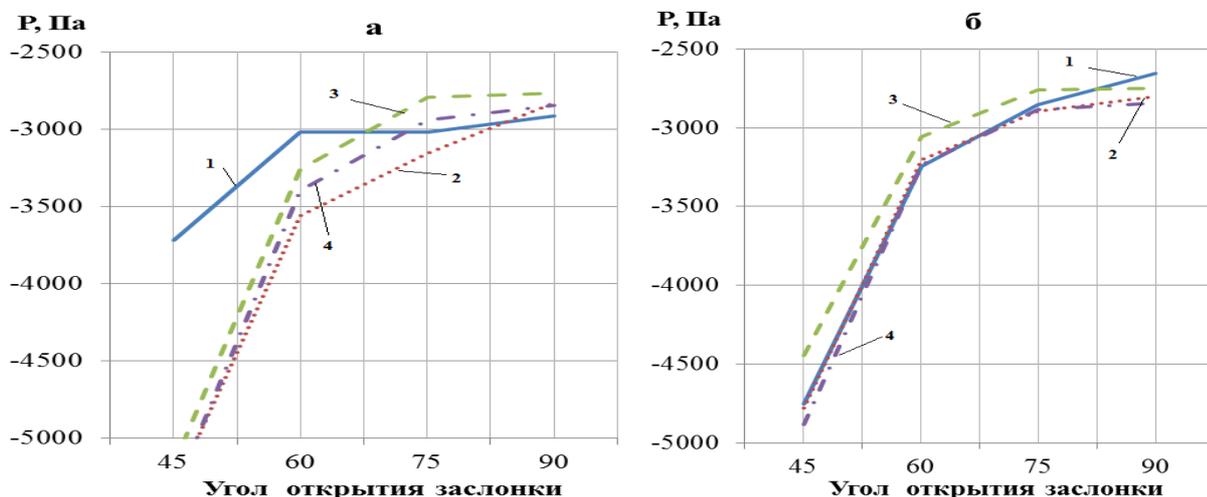


Рис. 5. Зависимость давления воздуха в (а) штатной и (б) модернизированной впускных системах от угла поворота дроссельной заслонки при расходе воздуха 171 кг/ч (цифрами обозначены номера цилиндров)

При анализе зависимостей было установлено, что установка дополнительного патрубка определенной длины с диаметром, исключающим появление дополнительного аэродинамического сопротивления, повышает равномерность распределения воздуха по цилиндрам. Как видно из графиков рис. 4,5, применение дополнительного патрубка позволило обеспечить одинаковое изменение давления, при изменении угла открытия дроссельной заслонки для всех четырех цилиндров ДВС. Таким образом, применение модернизированной впускной системы позволяет уменьшить длину зоны высокой турбулентности при прохождении воздушным потоком дроссельной заслонки, тем самым исключить появление неравномерности при наполнении цилиндров свежим зарядом, что в

конечном итоге положительно сказывается на технико-экономических и экологических показателях ДВС.

При проведении работы получены следующие результаты:

- создана и опробована установка для аэродинамической продувки систем впуска ДВС, позволяющая проводить исследования различных впускных и выпускных систем ДВС. Установка позволяет проводить исследования в широком диапазоне расходов воздуха, при различных углах открытия дроссельной заслонки. При помощи данной установки можно проводить аэродинамическую продувку не только всей впускной системы в целом, но и каждого ее элемента в отдельности;
- разработана универсальная методика исследования систем впуска ДВС, позволяющая оценить аэродинамическое сопротивление не только отдельных элементов, но всей впускной системы ДВС в целом;
- разработана автоматизированная методика обработки результатов испытаний. Методика обеспечивает получение данных экспериментов в электронном виде и проводит обработку данных при помощи компьютерных программ Word и Excel. Применение данных компьютерных программ снижает время, затрачиваемое на обработку данных, и позволяет представлять данные в удобном и наглядном виде;
- предложены рекомендации по модернизации штатной системы впуска, позволяющие уменьшить длину зоны высокой турбулентности, возникающую при прохождении воздушным потоком дроссельной заслонки, тем самым исключить появление неравномерности при наполнении цилиндров свежим зарядом;
- проведена аэродинамическая продувка штатной и модернизированной систем впуска ДВС и дан сравнительный анализ данных, полученных при испытаниях. В результате установлено, что штатная настроенная впускная система не является оптимальной с точки зрения равномерного распределения воздушного потока по цилиндрам ДВС. Дроссельная заслонка является конструктивным элементом, в значительной мере влияющим не только на аэродинамическое сопротивление впускной системы в целом, но и на работу каждого впускного патрубка в отдельности. Применение модернизированной впускной системы обеспечивает более равномерное распределение воздушного потока по цилиндрам, а также снижает негативное влияние дроссельной заслонки на работу системы впуска.

Список литературы

1. Вихерт М. М., Грудский Ю. Г. Конструирование впускных систем быстроходных дизелей. – М.: Машиностроение, 1982.

2. Драганов Б. Х., Рудык Э. Г. Исследование структуры воздушного потока в тангенциальном впускном канале дизельного двигателя // Науч. тр. УСХА. – 1987. – Вып. 54.
3. Драганов Б. Х., Круглов М. Г., Обухова В. С. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания: Монография. – К.: Вища школа, 1987.
4. Жолобов Л. А., Дыдыкин А. М., Математическое моделирование процессов газообмена ДВС: Монография. – Н.Н.: НГСХА, 2007.
5. Дыдыкин А. М., Жолобов Л. А. Газодинамические исследования ДВС методами численного моделирования // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 4. – С. 29-31.
6. Прицкер Д. М., Турьян В. А. Аэромеханика. – М.: Оборонгиз, 1960.
7. Райков И. Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1975.
8. Свиридов Ю. Б. Особенности газодинамических процессов в двигателе при дросселировании наполнения // Труды ЦНИТА. 1969. Вып. 40.

Рецензенты:

Гоц Александр Николаевич, д.т.н., профессор, кафедра тепловых двигателей и энергетических установок Владимирского государственного университета Министерства образования и науки, г. Владимир.

Кульчицкий Алексей Рэмович, д.т.н., профессор, заместитель главного конструктора ООО ВМТЗ, г. Владимир.