

## **ВЛИЯНИЕ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ НА ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ВО ВПУСКНОЙ СИСТЕМЕ ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ПРОКРУТКИ**

**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](mailto:jolobovlev@yandex.ru); [suvorov\\_ea\\_nino@rambler.ru](mailto:suvorov_ea_nino@rambler.ru).*

В статье описываются испытания штатной и модернизированной впускных систем, установленных на двигатель внутреннего сгорания. Для испытаний создана и опробована установка, позволяющая проводить исследования систем впуска ДВС в режиме прокрутки. Разработана универсальная методика исследования систем впуска ДВС, позволяющая оценить аэродинамическое сопротивление штатной и модернизированной систем ДВС. Разработана автоматизированная методика обработки результатов испытаний. Разработана специальная форма файла в программе Excel, которая выполняет автоматическое построение зависимостей давления от угла поворота коленчатого вала. Проведены испытания штатной и модернизированной систем впуска ДВС и дан сравнительный анализ данных полученных при испытаниях. Установлено, что применение модернизированной впускной системы обеспечивает более равномерное распределение воздушного потока по цилиндрам, а также снижает негативное влияние дроссельной заслонки на работу системы впуска. В результате применения модернизированной впускной системы удалось добиться равномерного распределения воздушного потока по впускным патрубкам.

Ключевые слова: впускная система, впускные трубопроводы, наполнение цилиндров, тормозной стенд, дополнительный патрубок.

## **INFLUENCE OF THROTTLING ON AIR FLOW MOVEMENT IN INLET SYSTEM OF THE ENGINE IN THE SCROLLING MODE**

**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](mailto:jolobovlev@yandex.ru); [suvorov\\_ea\\_nino@rambler.ru](mailto:suvorov_ea_nino@rambler.ru).*

In article tests of the regular and modernised inlet systems established on an internal combustion engine are described. For tests installation allowing is created and tested to conduct probes of systems of admission ДВС in a scrolling mode. The multiple-purpose technique of probe of systems of admission DVS is developed, allowing to estimate aerodynamic resistance of regular and modernised systems DVS. The automated technique of processing of results of tests is developed. The special form of a file in program Excel which carries out automatic construction of dependences of pressure from a crank angle is developed. Tests of the regular and modernised systems of admission DVS are conducted and the comparative analysis of the data received is given at tests. It is established that application of the modernised inlet system provides more an air flow equal distribution on cylinders, and also reduces negative influence of a throttle valve on work of system of an admission. As a result of application of the modernised inlet system it was possible to achieve an air flow equal distribution on inlet branch pipes.

Keywords: Inlet system, inlet pipelines, filling of cylinders, the brake stand, an additional branch pipe.

Количество воздуха, поступающее в цилиндры ДВС, определяется положением дроссельной заслонки и частотой вращения коленчатого вала. Для оценки влияния дросселирования на равномерность распределения воздушного потока впускной системы по цилиндрам создана установка для исследования систем впуска двигателя в режиме прокрутки. Необходимость проведения подобного рода исследований вызвана тем, что воздушный поток имеет ярко выраженный циклический и турбулентный характер, что оказывает значительное влияние на распределение по цилиндрам. После аэродинамической продувки системы впуска серийного двигателя было установлено, что распределение воздуха по цилиндрам происходит крайне неравномерно, и основное влияние на

неравномерность распределения воздуха оказывает дроссельный узел. Для проведения испытаний в режиме прокрутки серийный бензиновый двигатель со штатной впускной системой был установлен на тормозной стенд SAK-670.

Для контроля положения дроссельной заслонки двигатель оборудован датчиком положения, сигнал датчика поступает на компьютер стенда.

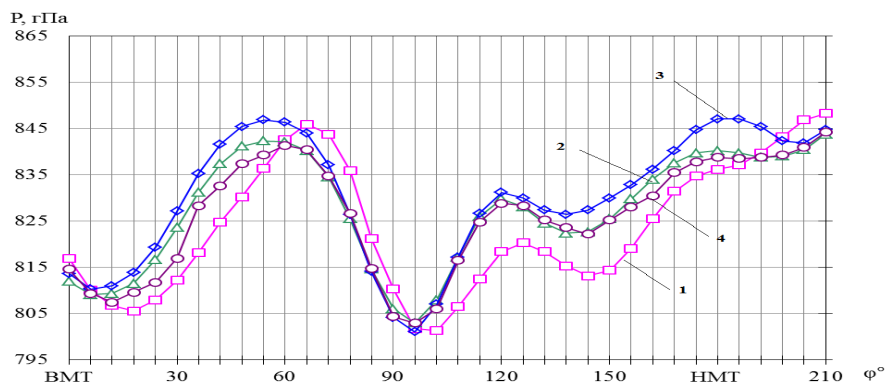
Для оценки расхода воздуха, поступающего в цилиндры, двигатель оборудован датчиком массового расхода воздуха (ДМРВ) пленочного типа. Сигнал с ДМРВ также выведен на компьютер тормозного стенда.

Двигатель оборудован специальным блоком управления с микроконтроллером TMS320F2808 фирмы TEXASINSTRUMENTS. Для получения данных в электронном виде блок управления двигателем был подключен к компьютеру тормозного стенда. Разработанный программный комплекс позволяет фиксировать большое количество параметров двигателя, таких как: мгновенный расход воздуха, абсолютное давление во впускных патрубках двигателя, частоту, положение дроссельной заслонки, температуру и т.д. Двигатель оборудован датчиком положения коленчатого вала, сигнал с которого также выведен на компьютер тормозного стенда. Данные с датчика положения также автоматически вводятся и обрабатываются программным комплексом. Датчик положения выдает сигнал один раз за один оборот коленчатого вала. Датчик фиксирует один оборот по пропущенному зубу, зубчатого колеса жестко закрепленного на коленчатом валу. Зубчатое колесо имеет 32 зуба, поэтому программный комплекс проводит фиксацию параметров работы двигателя 32 раза за один оборот коленчатого вала. Благодаря этому при фиксации данных мы имеем не просто данные, записанные при определенных условиях, а массив данных с привязкой к углу поворота коленчатого вала. После окончания эксперимента данные преобразовывались и сводились в единые файлы. Благодаря данному программному комплексу появилась возможность получать все параметры работы двигателя в электронном виде, что в дальнейшем значительно упростило процесс обработки данных.

Испытания впускной системы двигателя состояли из двух частей.

В первой части определялись исходные показатели настроенной системы впуска стандартного двигателя. Испытания проводились при различных частотах вращения коленчатого вала двигателя и при разных углах открытия дроссельной заслонки. Запись параметров производилась при частотах вращения 1000, 2000 и 3000 мин<sup>-1</sup> и при углах открытия дроссельной заслонки 15, 30 и 45°.

Для работы с данными была разработана специальная форма файла в программе «Excel». Форма представляет собой таблицу с автоматически сортирующимися ячейками. В данную форму были заложены формулы, при помощи которых такие параметры, как частота вращения и цикловой расход воздуха и некоторые средние параметры вычислялись автоматически. Также данная форма имеет вложенные листы, на которых в зависимости от размещаемых в форме данных происходит автоматическое построение диаграмм. Таким



**Рис. 1. Зависимость давления воздуха в системе от угла поворота коленчатого вала при частоте 3000 мин<sup>-1</sup> и открытии дроссельной заслонки на 15° (цифрами обозначены номера цилиндров)**

давление на входе в цилиндры ДВС не одинаково на протяжении всего такта впуска. Также из полученных диаграмм видно, что давление во впускных патрубках цилиндров различается. Так, давление во впускном патрубке первого цилиндра значительно меньше, чем у остальных, практически в течение всего такта впуска.

В результате обработки данных была получена таблица с осредненными данными экспериментов (см. табл.).

таблица

**Средние данные экспериментов**

Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Угол поворота заслонки, °	Место установки датчика давления										
		Рессивер		1 <sup>й</sup> - цилиндр		2 <sup>й</sup> - цилиндр		3 <sup>й</sup> - цилиндр		4 <sup>й</sup> - цилиндр		
		P, (Гпа)	G <sub>возд.</sub> (кг/ч)	P, (Гпа)	G <sub>возд.</sub> (кг/ч)	P, (Гпа)	G <sub>возд.</sub> (кг/ч)	P, (Гпа)	G <sub>возд.</sub> (кг/ч)	P, (Гпа)	G <sub>возд.</sub> (кг/ч)	
1000	15	968	71,64	966	71,6	967	73,12	968	72,22	968	72,52	
	30	991	72,72	991	78,68	990	82,1	992	78,36	991	73,98	
	45	995	78,78	995	79,18	995	78,7	996	77,32	996	78,9	
2000	15	926	138,46	926	138,04	926	140,2	925	140,3	925	137,4	
	30	980	149,4	982	149,48	980	154,4	982	153,4	980	151,5	
	45	991	150,62	994	150,16	993	154,6	994	158,1	992	155	
3000	0	15	849	195,14	850	194,2	846	196,9	856	197,7	957	228,5

	30	957	219,86	959	218,48	952	222,9	956	225,8	944	226,4
	45	981	233,2	984	222,28	977	224,4	981	232,3	968	237,8

Далее были построены зависимости расхода воздуха от угла открытия дроссельной заслонки при различных частотах вращения коленчатого вала ДВС (рис. 2).

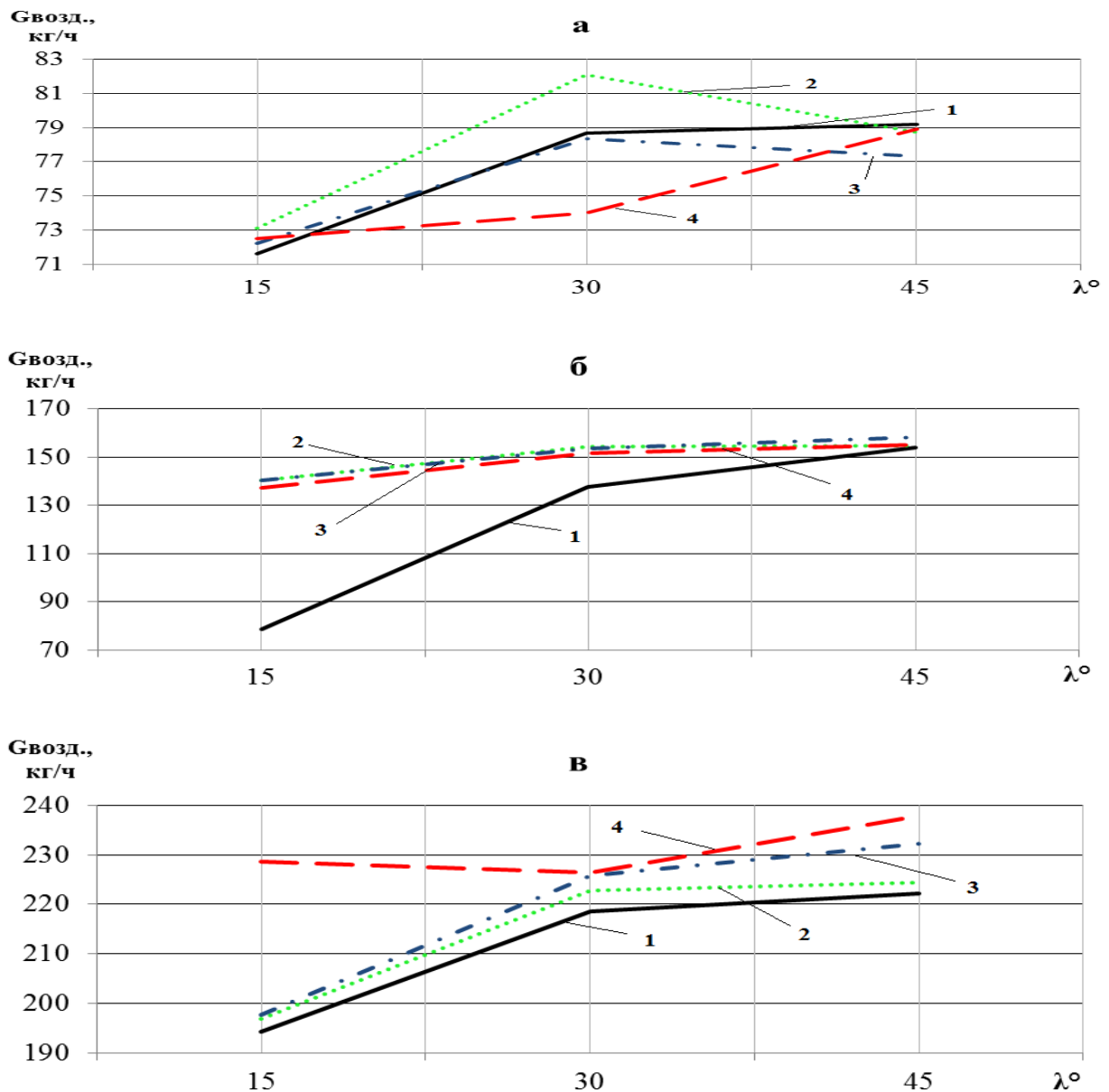


Рис. 2 Зависимость расхода воздуха в системе от угла открытия дроссельной заслонки при частотах вращения коленчатого вала ДВС (а) 1000, (б) 2000 и (в) 3000 мин<sup>-1</sup> (цифрами обозначены номера цилиндров)

При анализе полученных графиков установлено, что распределение потока по цилиндрам ДВС не равномерно. Расход воздуха по цилиндра не одинаков. Расход воздуха четвертого цилиндра при частоте 1000 мин<sup>-1</sup> значительно меньше, чем у других цилиндров. В то же время при частотах 2000 и 3000 мин<sup>-1</sup> наблюдается занижения расхода воздуха по сравнению с остальными цилиндрами, у первого цилиндра. Также при частоте вращения 3000 мин<sup>-1</sup> и

угле открытия дроссельной заслонки  $15^\circ$  расход воздуха у четвертого цилиндра значительно выше, чем у остальных цилиндров, но при дальнейшем увеличении угла открытия дроссельной заслонки эта разница практически исчезает.

Вторая часть испытаний проводилась с установленной на двигатель модернизированной впускной системой (рис. 3).

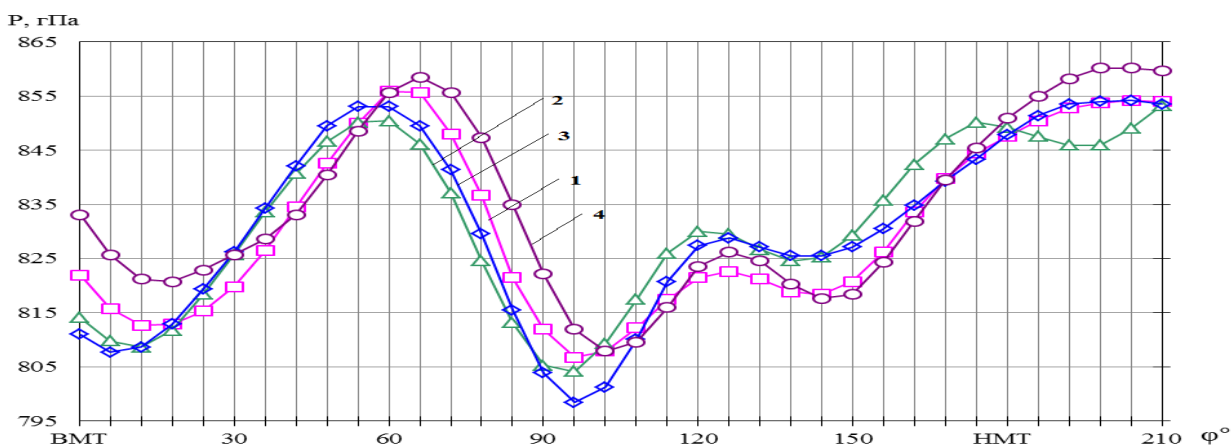


**Рис. 3** Общий вид двигателя с установленной модернизированной впускной системой

Модернизация впускной системы двигателя заключается в установке между дроссельной заслонкой и впускным коллектором дополнительного патрубка. Внутренний диаметр патрубка соответствует диаметру дроссельной заслонки. Такой внутренний диаметр патрубка выбран из условия обеспечения минимального аэродинамического сопротивления

предлагаемой впускной системы. Длина дополнительного патрубка выбрана из условия обеспечения перекрытия зоны высокой турбулентности за дроссельной заслонкой, возникающей при дросселировании воздушного потока.

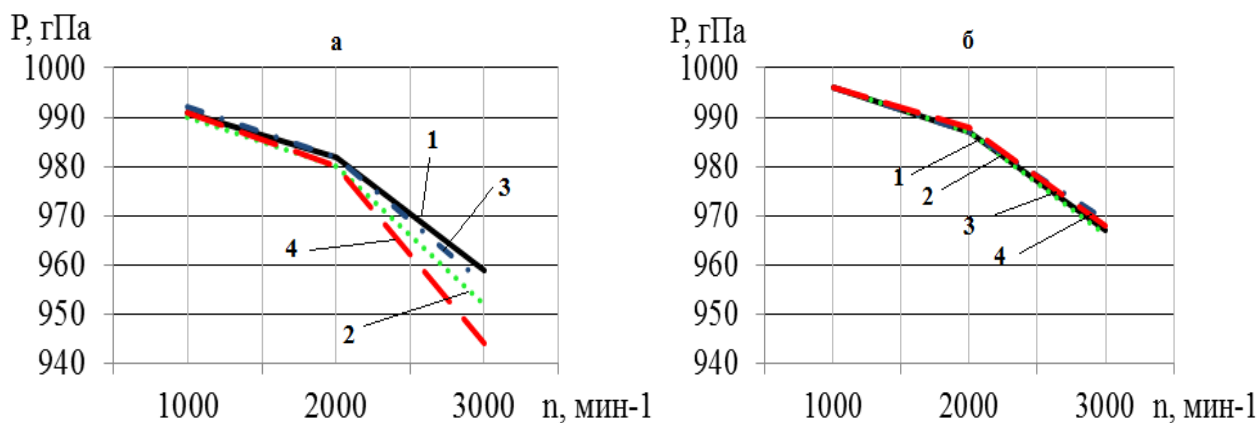
Во второй части эксперимента также было получено 45 файлов с данными, которые были помещены в специально разработанную форму файла. В результате для каждого режима проведения эксперимента были построены зависимости давления воздуха от угла поворота коленчатого вала для каждого цилиндра ДВС (рис. 4).



**Рис. 4.** Зависимость давления воздуха от угла поворота коленчатого вала при частоте  $3000 \text{ мин}^{-1}$  и открытии дроссельной заслонки на  $15^\circ$ , модернизированной впускной системы

Анализ построенных зависимостей показал, что распределение давления по впускным патрубкам модернизированной впускной системы стало более равномерным.

После обработки и осреднения данные первой и второй частей эксперимента были сведены в таблицу. По данным таблицы, были построены зависимости давления воздуха в системе от угла поворота дроссельной заслонки, для штатной и модернизированной впускных систем (рис. 5).



**Рис. 5.** Зависимость давления воздуха от частоты вращения коленчатого вала ДВС, при угле поворота дроссельной заслонки 30° для (а) штатной и (б) модернизированной впускных систем

Анализ построенных зависимостей показал, что при применении штатной настроенной впускной системы давление во впускном патрубке четвертого цилиндра при углах открытия дроссельной заслонки 30° и 45° значительно ниже, чем у остальных цилиндров. Также при увеличении частоты вращения коленчатого вала ДВС выше 2000 мин<sup>-1</sup> давление во впускном патрубке четвертого цилиндра начинает стремительно падать.

Из построенных зависимостей видно, что благодаря применению усовершенствования впускной системы ДВС распределение потока по цилиндрам ДВС стало более равномерным. Расход воздуха четвертого цилиндра при частоте вращения 1000 мин<sup>-1</sup> увеличился на 1,3 % и приблизился к расходу остальных цилиндров. Расход воздуха первого цилиндра при частоте 3000 мин<sup>-1</sup> увеличился на 3,8 % и приблизился к расходу остальных цилиндров. Также при частоте вращения 2000 мин<sup>-1</sup> и угле открытия дроссельной заслонки 15° расход воздуха первого цилиндра увеличился более чем в 1,5 раза и выровнялся с расходами остальных цилиндров.

При применении модернизированной впускной системы давление во впускном патрубке четвертого цилиндра на всех режимах увеличилось и сравнялось с давлением в остальных патрубках. Также в среднем на 0,5% увеличилось давление во всех впускных патрубках модернизированной впускной системы по сравнению со штатной впускной системой.

Таким образом, применение доработанной впускной системы ДВС позволило не только повысить равномерность распределения потока по цилиндрам, но и повысить давление во впускных патрубках цилиндров, что в свою очередь приводит к повышению технико-экономических и экологических показателей работы ДВС.

При проведении работы получены следующие результаты:

- создана и опробована установка для исследования систем впуска ДВС в режиме прокрутки. Установка позволяет проводить исследования в широком диапазоне расходов воздуха, при различных углах открытия дроссельной заслонки, а также при различных частотах вращения коленчатого вала. Данная установка позволяет оценивать работу впускной системы ДВС в режиме прокрутки по широкому спектру параметров;

- разработана универсальная методика исследования систем впуска ДВС, позволяющая оценить аэродинамическое сопротивление штатной и модернизированной систем ДВС;

- разработана автоматизированная методика обработки результатов испытаний. Методика обеспечивает получение данных экспериментов в электронном виде и позволяет проводить 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. Разработана специальная форма файла в программе Excel, которая выполняет автоматическое построение зависимостей давления от угла поворота коленчатого вала;

- проведены испытания штатной и модернизированной систем впуска ДВС и дан сравнительный анализ данных, полученных при испытаниях. В результате было подтверждено выдвинутое по результатам аэродинамических испытаний предположение. Получено подтверждение того, 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. В результате применения модернизированной впускной системы удалось добиться равномерного распределения воздушного потока по впускным патрубкам. Расход воздуха первого цилиндра при частоте  $3000 \text{ мин}^{-1}$  увеличился на 3,8 %. Расход воздуха четвертого цилиндра при частоте вращения  $1000 \text{ мин}^{-1}$  увеличился на 1,3 %. При применении модернизированной впускной системы давление во впускном патрубке четвертого цилиндра на всех режимах увеличилось и сравнялось с давлением в остальных патрубках.

Также в среднем на 0,5 % увеличилось давление во всех впускных патрубках модернизированной впускной системы по сравнению со штатной впускной системой.

## 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 кафедры 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.