

9. Пляцко Г.В. Температурное поле в полом цилиндре при переменных граничных условиях. – М.: ИФЖ, 1959. – Т. 11. – № 10.

**References**

1. Pravila ustroystva elektroustanovok (PUE-7). – М.: Energiya, 2007. – 704 s.
2. Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Solov'ev A.D. Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti. – М.: Nauka, 1965. – 534 s.
3. Weibull W. Scatter of fatigue life and fatigue strength in aircraft structural materials and parts. Fatigue in aircraft structures. Academic Press, Inc., New York, N.Y. 1956.
4. Tul'chin I.K., Nudler G.I. Elektricheskie seti i elektrooborudovanie zhilykh i obsh-

chestvennykh zdaniy. – М.: Energoatomizdat, 1990. – 480 s.

5. Kittel' Ch. Kvantovaya teoriya tverdykh tel. – М.: Nauka, Izd. fiziko-matematicheskoi literatury, 1967. – 492 s.
6. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti. – М.: Vyssh. shkola, 1967. – 600 s.
7. Kondrat'ev G.M. Regulyarnyi teplovoi rezhim. – М.: Gos. izdat. tekhniko-teoret. literat., 1956. – 408 s.
8. Plyat Sh.N. Raspredelenie temperatury v abrazivnykh izdeliyakh v protsesse termicheskoi obrabotki (obzhiga) // IFZh. – 1960. – Т. 111. – № 7.
9. Plyatsko G.V. Temperaturnoe pole v polom tsilindre pri peremennykh granichnykh usloviyakh // IFZh. – 1959. – Т. 11. – № 10.



УДК 621.434

**М.Л. Вертей**  
M.L. Vertey

**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА РАЗГОНА ДВИГАТЕЛЯ  
С ПРИНУДИТЕЛЬНЫМ ВПРЫСКОМ ТОПЛИВА  
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ТОПЛИВОПОДАЧЕЙ  
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕСТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

**SUBSTANTIATION OF FREE ACCELERATION METHOD  
FOR ELECTRONICALLY CONTROLLED FORCED FUEL INJECTION ENGINE  
IN THE PROCESS OF TESTING DIAGNOSTICS**

***Ключевые слова:** свободный разгон резким открытием дроссельной заслонки, свободный разгон при фиксированном положении дроссельной заслонки, характеристика свободного разгона, давление во впускном коллекторе, цикловое наполнение, частота вращения коленчатого вала, динамическая производительность электромагнитных форсунок.*

Показан метод оценки технического состояния бензинового двигателя. При исследовании свободного разгона карбюраторного двигателя отмечалось, что перевод двигателя в режим свободного разгона путем резкого увеличения подачи топлива (резкого открытия дроссельной заслонки) неприемлем, так как работа насоса-ускорителя неизбежно искажает характеристику свободного разгона. Замещение карбюраторных двигателей на двигатели с принудительным впрыском топлива и электрическим управлением топливоподачей дают новые возможности для осуществления тестовых режимов с целью получения диагностической информации, так как позволяют управлять топливоподачей. Однако свободный разгон не может

быть задан резким открытием дроссельной заслонки из-за неоднозначного влияния переходных характеристик. Проведен анализ процессов во впускном трубопроводе при различных положениях дроссельной заслонки и скорости ее перемещения. Выявлено, что на переходный процесс существенно влияют способы управления и выбранные калибровки. В связи с тем, что невозможно или трудно определить на основании теоретического анализа влияние способа свободного разгона на выходные характеристики двигателя ЗМЗ 4062.10, принят экспериментальный путь. Исследования проводились с применением диагностического комплекса МТ-10. Свободный разгон осуществлялся двумя способами: резким открытием дроссельной заслонки; включением-выключением подачи топлива при достижении пороговых значений при фиксированном положении дроссельной заслонки. Установлено, что способ осуществления свободного разгона двигателя существенно влияет на выходные параметры характеристики частоты вращения коленчатого вала двигателя.

**Keywords:** free acceleration by means of abrupt throttle opening, free acceleration with fixed throttle position, free acceleration specifications, intake manifold pressure, cyclic filling, crankshaft rotation frequency, dynamic efficiency of electromagnetic injector.

The method of evaluating the operation conditions of a gasoline engine is discussed. The examination of carburetor engine acceleration gave evidence that dramatic increase of fuel supply with the purpose of shifting the engine into the free acceleration mode appears unreasonable since the free acceleration features are inevitably distorted due to the work of the acceleration pump. The replacement of carburetor engines with the forced fuel injection engines with electronically controlled fuel supply provides new opportunities for test modes implementation aimed at gaining diagnostic information due to the possibility of fuel supply control. Nevertheless,

the free acceleration cannot be conditioned by the abrupt throttle opening because of the ambiguous influence of transient characteristics. This work contains the analysis of intake manifold processes taking place at different throttle positions and speed. It was revealed that the transient process is considerably influenced by control modes and the chosen calibrations. In view of the difficulties connected with theoretical investigation of the way the free acceleration method influences the output characteristics of ZMZ 4062.10 engine, this research was based on an experiment. The investigation was conducted with the use of the diagnostic complex MT-10. The free acceleration was carried out in two ways: by abrupt throttle opening; by turning the injectors on and off at threshold levels with the fixed throttle position. It was found that the method of free acceleration significantly influences the output data concerning the crankshaft rotation frequency.

**Вертей Михаил Леванович**, ст. преп., каф. «Автомобили и тракторы», Новосибирский государственный аграрный университет. E-mail: oxbbr@yandex.ru.

**Vertey Mikhail Levanovich**, Asst. Prof., Chair of Automobiles and Tractors, Novosibirsk State Agricultural University. E-mail: oxbbr@yandex.ru.

### Введение

При исследовании свободного разгона карбюраторного двигателя отмечалось, что перевод двигателя в режим свободного разгона путем резкого увеличения подачи топлива (резкого открытия дроссельной заслонки) неприемлем. Обусловлено это тем, что при резком открытии дроссельной заслонки вступает в действие насос-ускоритель, подавая в начальный момент топливо, количество которого не зависит от скоростного режима и определяется только техническим состоянием насоса-ускорителя. Это неизбежно искажает характеристику свободного разгона. Для получения динамических характеристик, максимально приближающихся к статическим показателям на всем скоростном диапазоне, был разработан статико-динамический способ испытания карбюраторных двигателей [1]. Он основывается на свободном разгоне и выбеге при периодическом отключении и включении зажигания, которое обеспечивает работу двигателя в узком интервале оборотов  $\Delta n = n_2 - n_1 \approx \text{const}$  при фиксированном положении дроссельной заслонки.

Замещение карбюраторных двигателей на двигатели с принудительным впрыском топлива и электрическим управлением топливоподачей дает новые возможности для осуществления тестовых режимов с целью получения диагностической информации, так как позволяет управлять топливоподачей [2]. Однако свободный разгон не может быть задан резким открытием дрос-

сельной заслонки из-за неоднозначного влияния переходных характеристик.

**Цель работы** – исследовать влияние способов осуществления свободного разгона на переходные характеристики двигателя.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие **задачи**:

- 1) провести теоретический анализ процессов во впускном трубопроводе при различных положениях дроссельной заслонки и скорости ее перемещения;
- 2) экспериментально исследовать способы осуществления свободного разгона двигателя.

### Объекты и методы

В работе А.Т. Клейна отмечалось, что при резком открытии дроссельной заслонки разными операторами время открытия заслонки составляло 0,05-0,09 с [1]. Влияния продолжительности времени открытия на переходные процессы выявлено не было. Однако это справедливо для карбюраторных двигателей. Для двигателей с принудительным впрыском топлива и электронным управлением топливоподачей протекание рабочих процессов зависит от величины циклового наполнения цилиндров. Величина циклового наполнения  $G_{цв}$  (мг/цикл) является одним из первичных управляющих параметров, определяющим характер протекания рабочего цикла. Расчет величины циклового наполнения в системах управления рабочим процессом двигателя определяется показаниями с датчика

массового расхода воздуха и датчика абсолютного давления [3].

Анализ современных ДВС показал, что конструктивное изменение системы впуска привело к наличию значительного объема впускного коллектора. Для переходных режимов из-за инерционности элементов системы управления и элементов самого двигателя наблюдается гистерезис изменения давления во впускном трубопроводе по частоте вращения коленчатого вала [4].

Динамика переходных процессов в двигателе Chevrolet Corvette V8 при набросе  $\alpha$  (порядка  $20^\circ$ ), представленная в работе [5], показывала, что сразу за набросом наблюдаются резкое повышение давления во впускном коллекторе, скачкообразный рост крутящего момента и плавный рост оборотов коленчатого вала.

Процесс изменения абсолютного давления во впускной системе при быстром открытии дроссельной заслонки, представленный в работе [3], позволяет сделать заключение, что характерной особенностью протекания абсолютного давления во впускной системе является наличие колебаний давления значительной амплитуды, имеющих место как при низком, так и при высоком давлении во впускной системе.

Однако в отличие от колебаний сигнала датчика массового расхода воздуха колебания абсолютного давления имеют значительную амплитуду и при закрытой дроссельной заслонке. Причиной, вызывающей эти колебания, является перепад между давлением в цилиндре двигателя в конце такта выпуска, несколько превышающем атмосферное, и давлением во впускной системе на холостом ходу, составляющем 400-500 мбар.

Стоит также отметить, что впускная система двигателя представляет собой аperiодический газодинамический фильтр, для которого входной – величиной является величина расхода воздуха в месте установки датчика, а выходной величиной является величина расхода воздуха в месте циклового наполнения двигателя. Наличие такого фильтра приводит к появлению отличий в количестве воздуха, реально поступившего в цилиндры двигателя относительно количества воздуха, прошедшего через дроссельную заслонку и зарегистрированного датчиком массового расхода воздуха [3].

В большинстве программ управления двигателем для определения моментов, в которые необходима максимальная мощность двигателя, блок управления следит за положением дроссельной заслонки и частотой вращения коленчатого вала [6]. Для

развития максимальной мощности требуется более богатый состав воздушно-топливной смеси, чем 14,6:1,0, т.е. больше топлива. В этом режиме блок управления изменяет состав смеси на соотношение 12:1 и не учитывает сигнал от датчика концентрации кислорода, так как он показывает переобогащение горючей смеси [2].

При отладке систем управления инжекторными двигателями учитывают полученные теоретические и практические данные. Для того чтобы оценить влияние выбора тех или иных способов управления и калибровок на качество управления и выбрать наиболее удовлетворительные, анализируют отклик частоты вращения коленчатого вала двигателя от выбранных калибровок, в окрестностях изменения положения режимной точки [3].

### Экспериментальная часть

В связи с тем, что невозможно или трудно определить на основании теоретического анализа влияние способа свободного разгона на выходные характеристики двигателя ЗМЗ 4062.10, принят экспериментальный путь. Экспериментальная установка для определения влияния способа осуществления свободного разгона включала: диагностический комплекс мотор-тестер МТ-10 с адаптером АМД-4А [7]; бензиновый двигатель ЗМЗ 4062.10; блок питания постоянным током для изменения входного напряжения на клеммах электробензонасоса; устройство включения-выключения электромагнитных форсунок. Специально разработанное устройство включения-выключения электромагнитных форсунок подключали в цепь управления электромагнитными форсунками. Неисправность топливной системы имитировали подачей пониженного напряжения на клеммы электробензонасоса. На специальном стенде при различных напряжениях на клеммах электробензонасоса измеряли динамическую производительность форсунок при противодавлении 300 кПа. Зависимость динамической производительности форсунок при изменении входного напряжения на клеммы электробензонасоса представлена на рисунке 1.

Общий вид экспериментальной установки приведен на рисунке 2.

Методика исследований включала следующий порядок работы:

1. Подключить прибор управления форсунками в цепь.
2. Подключить мотор-тестер МТ-10 к диагностическому разъему двигателя.

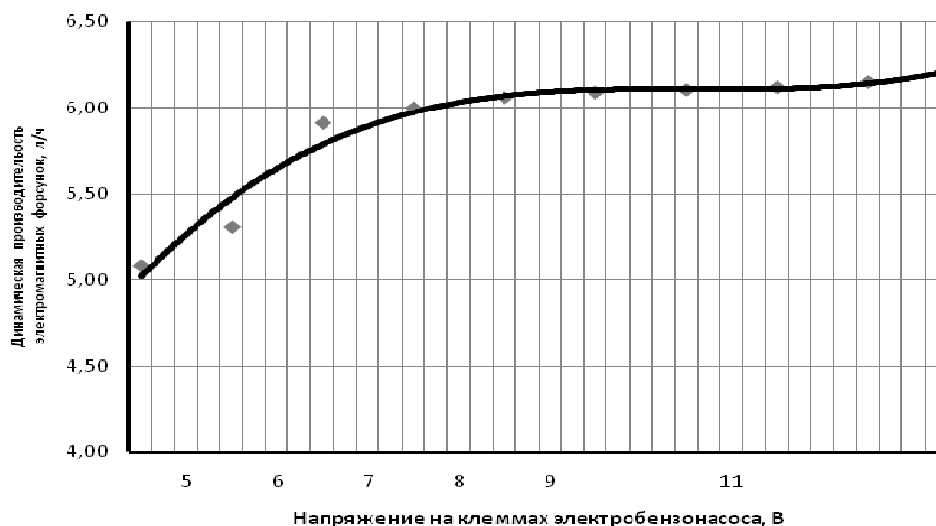


Рис. 1. Зависимость динамической производительности форсунок при изменении входного напряжения на клеммы электробензонасоса (противодавление 300 кПа) при стендовых испытаниях



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки:  
1 – персональный компьютер; 2 – мотор-тестер МТ-10; 3 – блок питания;  
4 – устройство включения-выключения электромагнитных форсунок; 5 – двигатель ЗМЗ 4062.10

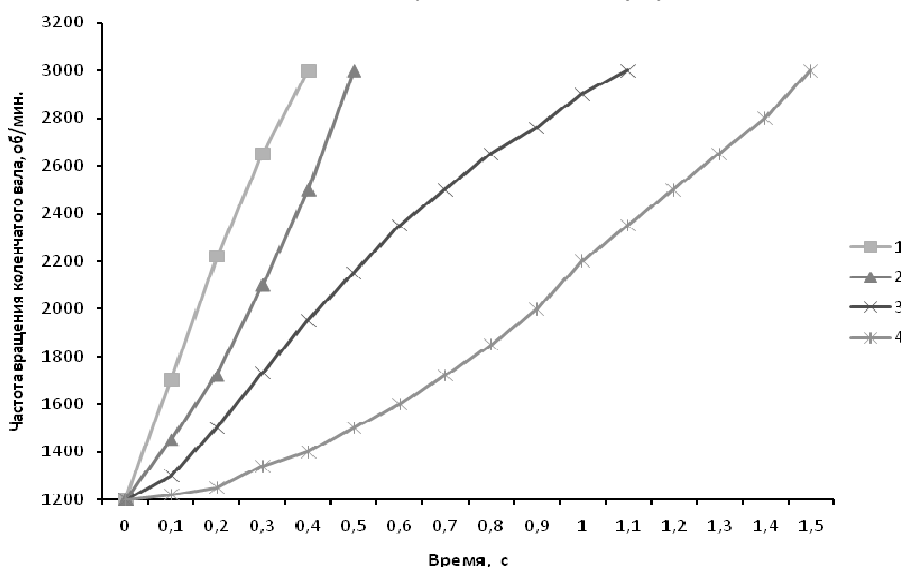


Рис. 3. Отклик частоты вращения коленчатого вала в зависимости от способа осуществления разгона:  
1 – разгон дросселем; 2 – разгон с фиксированным дросселем (производительность форсунок 6 л/ч); 3 – разгон дросселем;  
4 – разгон с фиксированным дросселем (производительность форсунок 5 л/ч)

3. Запустить двигатель и прогреть до рабочей температуры.

4. Включить принудительную работу вентилятора.

5. На клеммы электробензонасоса подать напряжение 12 В от дополнительного источника питания.

6. Провести три разгона резким открытием дроссельной заслонки с записью характеристик разгона.

7. Включить прибор управления форсунками и зафиксировать дроссельную заслонку в крайнем открытом положении. Провести три разгона с записью характеристик.

8. На клеммы электробензонасоса подать напряжение 5 В. Провести испытания согласно пунктам 6, 7.

### Результаты и их обсуждение

Результаты испытаний двигателя ЗМЗ 4062.10 приведены на рисунке 3.

Анализ полученных данных позволяет сделать заключение, что способ осуществления свободного разгона двигателя существенно влияет на выходные параметры характеристики изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя. Установлено, что несоответствие технического состояния топливной аппаратуры двигателя приводит к изменению характеристики частоты вращения двигателя.

### Выводы

Способ разгона включением-выключением подачи топлива при фиксированном положении дроссельной заслонки в заданном интервале угловой скорости является более информативным, чем разгон резким открытием дроссельной заслонки.

### Библиографический список

1. Клейн А.Т. Исследование бестормозного динамического метода контроля авто-тракторных двигателей в эксплуатационных условиях сельского хозяйства: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 1973. – 194 с.

2. Ерохов В.И. Системы впрыска бензиновых двигателей (конструкция, расчет, диагностика): учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 552 с.

3. Гирявец А.К. Теория управления автомобильным бензиновым двигателем. – М.: Стройиздат; ППП «Русский сервис», 1997. – 80 с.

4. Шишков В.А. Методы управления рабочим циклом двухтопливных и однотопливных поршневых газовых двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием: дис. ... докт. техн. наук. – Самара, 2013. – 395 с.

5. Мигуш С.А. Алгоритмы адаптивного управления инжекторными двигателями внутреннего сгорания: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2005. – 159 с.

6. Chowanietz E. Automobile electronics. Society of Automotive Engineers, Inc, 1995. – 246 p.

7. Программа диагностическая мотор-тестер МТ-4. Приставка КРР-4М. Руководство пользователя. – Самара: НПП «Новые технологические системы», 2002. – 47 с.

### References

1. Klein A.T. Issledovanie bestormoznogo dinamicheskogo metoda kontrolya avtotraktornykh dvigatelei v ekspluata-tsionnykh usloviyakh sel'skogo khozyaistva: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Novosibirsk, 1973. – 194 s.

2. Erokhov V.I. Sistemy vpryska benzinykh dvigatelei (konstruktsiya, raschet, diagnostika): uchebnik dlya vuzov. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2011. – 552 s.

3. Giryavets A.K. Teoriya upravleniya avtomobilnym benzinovym dvigatелем. – M.: Stroizdat; PPP «Russkii servis», 1997. – 80 s.

4. Shishkov V.A. Metody upravleniya rabochim tsiklom dvukhtoplivnykh i odnotoplivnykh porshnevykh gazovykh dvigatelei vnutrennego sgoraniya s iskrovym zazhiganiem: dis. ... dokt. tekhn. nauk. – Samara, 2013. – 395 s.

5. Migush S.A. Algoritmy adaptivnogo upravleniya inzhektornymi dvigatelyami vnutrennego sgoraniya: dis. ... kand. tekhn. nauk. – SPb., 2005. – 159 s.

6. Chowanietz E. Automobile electronics. Society of Automotive Engineers, Inc, 1995. 246 p.

7. Programma diagnosticheskaya motor-tester MT-4. Pristavka KRP-4M. Rukovodstvo pol'zovatelya. – Samara: NPP «Novye tekhnologicheskie sistemy», 2002. – 47 s.

