

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ПО ПЕРЕХОДНЫМ ФУНКЦИЯМ

Ахметзянов И.Р.

**Реферат.** Для оптимизации эксплуатационных затрат и более эффективной организации работ по обслуживанию и ремонту автотракторных двигателей необходимо точное прогнозирование параметров технической эксплуатации, что достигается путем подбора правильного метода диагностирования. Разработка любого метода диагностирования подразумевает определение наиболее информативных диагностических параметров и диапазонов их изменения. Для составления алгоритма безразборной диагностики по методу Байеса необходимо выявить закономерности изменения компрессии, цикловой подачи и расхода воздуха в зависимости от наработки трактора, для чего проведены статистические исследования по тракторам МТЗ-80/82 с установленными двигателями Д-243 в сельскохозяйственных предприятиях Республики Татарстан. Исследования заключаются в измерении компрессии, системы питания, системы воздухоподдачи тракторов с разными наработками. Составлены зависимости данных параметров от наработки, которые приведены в виде графика. В качестве диагностических параметров были выбраны интенсивность изменения частоты вращения коленчатого вала, интенсивность изменения цикловой подачи и интенсивность изменения расхода воздуха. Приведены результаты стендовых испытаний двигателя Д-243 с различными видами неисправностей. Устанавливались компрессия 2,7 МПа для исправного двигателя, 2,4 МПа для двигателя в удовлетворительном состоянии и 2,1 МПа для неисправного, давление впрыска топлива – 18,5 МПа, 16,5 МПа, 15,5 МПа, разрежение во впускном коллекторе при номинальной частоте вращения 2 кПа, 4 кПа, 7 кПа для соответствующих состояний двигателя. Проведенные экспериментальные и теоретические исследования позволяют определить не только зависимость диагностических параметров от компрессии, цикловой подачи и расхода воздуха, но и установить приемлемые диапазоны изменения диагностических параметров, что является основой предлагаемого метода безразборной диагностики двигателя и служит базисом при составлении диагностической матрицы и устанавливает правила при применении решений.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, диагностический параметр, техническое состояние.

**Введение.** Точное прогнозирование параметров технической эксплуатации автотракторных двигателей позволяет оптимизировать эксплуатационные затраты и более эффективно организовать работы по обслуживанию и ремонту [1]. Правильный выбор диагностических параметров для решения данной задачи требует всестороннего анализа чувствительности и информативности выбранных параметров к изменениям технического состояния двигателя [8].

**Условия и методы исследования.** Для разработки метода диагностирования по переходным функциям его систем с применением алгоритма Байеса необходимо определить наиболее информативные диагностические параметры и диапазоны их изменения [2].

В процессе эксплуатации нормативные параметры технической эксплуатации энергетических установок меняются под воздействием различных факторов, основными из которых являются эксплуатационные и технологические [4].

Для составления алгоритма безразборной диагностики по методу Байеса необходимо знать закономерности изменения компрессии, цикловой подачи и расхода воздуха в зависимости от наработки трактора. Для этого была

проведена оценка технического состояния выборки из 15 тракторов с двигателями Д-243, работающих в различных хозяйствах Юго-востока Республики Татарстан [6].

На рисунке 1 показано изменение компрессии в процессе эксплуатации.

Полученные данные показывают снижение компрессии  $k$  от 2,8 МПа до 1,6 МПа при изменении наработки 1 от 500 до 8000 мото-ч. Аппроксимация полученных данных теоретической зависимостью дает удовлетворительную сходимость в пределах 5,7-6,3%.

Для оценки технического состояния системы питания двигателя была выбрана совокупность факторов [3]:

- величина цикловой подачи топлива;
- давление впрыска;
- качество распыла.

Каждый фактор оценивался по трем уровням: хороший, удовлетворительный, неудовлетворительный. Сочетание одного неудовлетворительного состояния хотя бы одного из факторов с остальными, независимо от их уровня, принималась как неисправность системы питания двигателя [5]. На рисунке 2 показана зависимость изменения цикловой подачи  $g_{цикл}$  мм<sup>3</sup>/цикл при изменении наработки от 0 до 1000 мото-ч. При этом необходимо также от-

метить небольшие изменения давления впрыска и качества распыла.

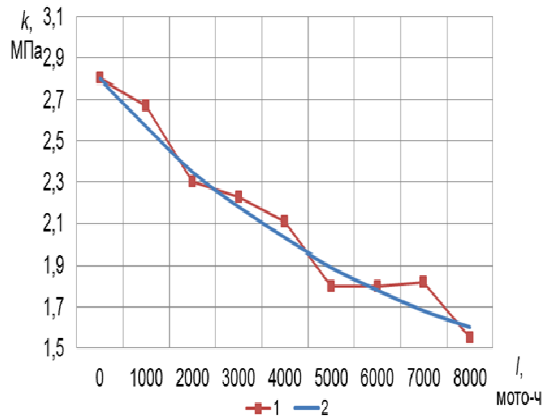
Изменение состояния воздухоподачи, как правило, связано с загрязнением воздушного фильтра. Проведенные лабораторные исследования показали, что разрежение во впускном коллекторе при частоте вращения коленчатого вала  $n=1700 \text{ мин}^{-1}$  меняется от  $P_{\text{колл.нач}}=2 \text{ кПа}$ ,  $P_{\text{колл.кон}}=7 \text{ кПа}$  при загрязнении фильтра от 0% до 100%.

При этом стоит отметить, что расход воздуха двигателя напрямую зависит от состояния воздушного фильтра, а значит и от разрежения во впускном коллекторе.

**Диагностические параметры.** В качестве диагностического параметра выбираем интенсивность изменения показателей двигателя при единичном изменении положения рычага

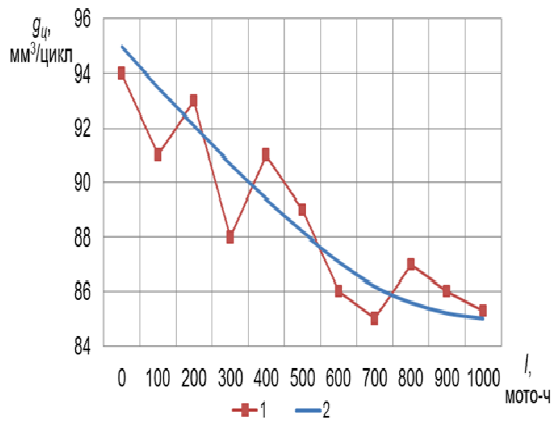
настройки регулятора, т.е. переходные функции. Как известно, они отражают динамические характеристики системы и зависят от ее технического состояния. Выбранные значения диагностических параметров, а именно интенсивность изменения частоты вращения  $T_n$ , цикловой подачи  $T_{\text{цикл}}$  и расхода воздуха  $T_{\text{ГВ}}$  изменяются в процессе эксплуатации. Для определения закономерностей их изменения были проведены исследования на экспериментальном стенде [7].

На рисунке 3 показаны экспериментальные и аппроксимированные значения изменения частоты вращения двигателя при различных значениях компрессии. Так, величина  $T_n$  изменяется от 1,2 сек при  $k=2,7 \text{ МПа}$  до 1,8 при  $k=2,1 \text{ МПа}$ .



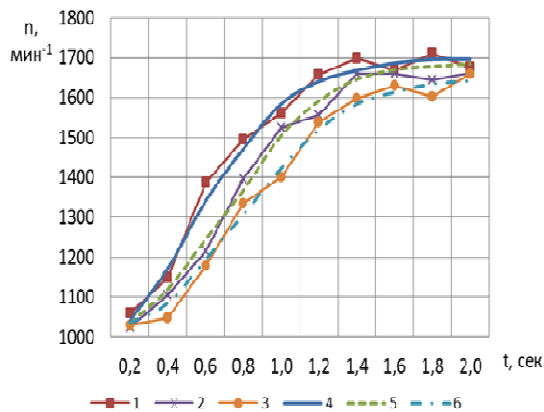
1 – экспериментальные данные,  
2 – аппроксимированные данные

Рисунок 1 – Зависимость компрессии  $k$  от наработки  $l$  двигателя Д-243



1 – экспериментальные данные,  
2 – аппроксимированные данные

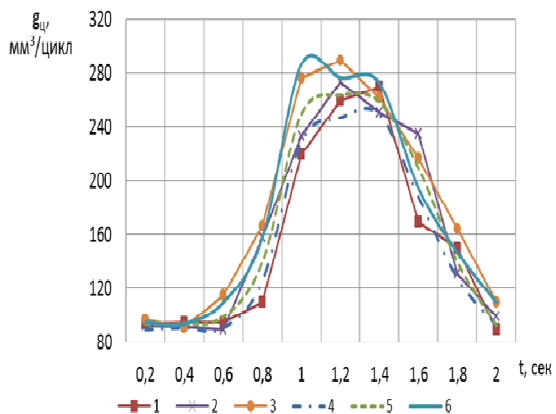
Рисунок 2 – Зависимость цикловой подачи топлива  $g_c$  от наработки  $l$  двигателя Д-243



Экспериментальные и аппроксимирующие данные:  
1,4 – при компрессии 2,7 МПа, 2, 5 – при компрессии 2,4 МПа,

3, 6 – при компрессии 2,1 МПа.

Рисунок 3 – Изменение частоты вращения  $n$  в зависимости от компрессии  $k$  двигателя Д-243



Экспериментальные и аппроксимированные данные:  
1,4 – при давлении впрыска топлива 18,5 МПа,  
2, 5 – при давлении впрыска топлива 16,5 МПа,  
3, 6 – при давлении впрыска топлива 15,5 МПа

Рисунок 4 – Изменение цикловой подачи  $g_c$  в зависимости от состояния форсунки двигателя Д-243

Таблица 1 – Диапазоны изменения диагностических параметров

T <sub>ци</sub> (цикловая подача топлива)								
хорошая (X)								
0,5-1								
T <sub>n</sub> (частота вращения)								
X			Y			П		
0,8-1,3			1,3-1,8			>1,8		
T <sub>Gв</sub> (расход воздуха)								
X	Y	П	X	Y	П	X	Y	П
1-1,5	1,5-2	>2	1-1,5	1,5-2	>2	1-1,5	1,5-2	>2
T <sub>ци</sub> (цикловая подача топлива)								
удовлетворительная (Y)								
1-1,5								
T <sub>n</sub> (частота вращения)								
X			Y			П		
0,8-1,3			1,3-1,8			>1,8		
T <sub>Gв</sub> (расход воздуха)								
X	Y	П	X	Y	П	X	Y	П
1-1,5	1,5-2	>2	1-1,5	1,5-2	>2	1-1,5	1,5-2	>2
T <sub>ци</sub> (цикловая подача топлива)								
плохая (П)								
>1,5								
T <sub>n</sub> (частота вращения)								
X			Y			П		
1,3-1,8			1,8-2,3			>2,3		
T <sub>Gв</sub> (расход воздуха)								
X	Y	П	X	Y	П	X	Y	П
1-2	2-2,5	>2,5	1-2	2-2,5	>2,5	1-2	2-2,5	>2,5

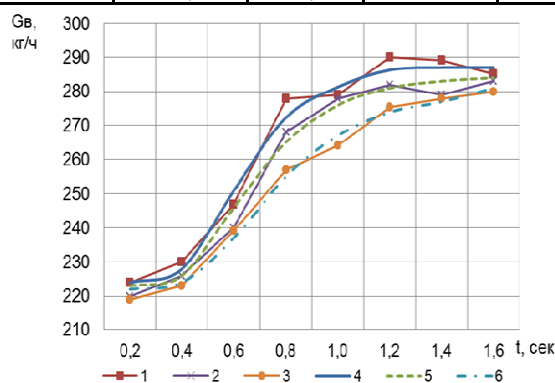


Рисунок 5 - Изменение расхода воздуха G<sub>в</sub> в зависимости от разряжения во впускном

Исследования проводились на двигателе Д-243 с установленными форсунками 171.1112010-02 (ЗАО «АЗПИ») и ТНВД УТН-5.

Изменения цикловой подачи топлива при различных давлениях приведены на рисунке 4.

Здесь представляет интерес первая половина данных линий, когда  $g_{ц}=f(t)$  меняется на первой фазе работы регулятора.

Для определения влияния степени разряженности во впускном коллекторе (степени загрязненности воздушного фильтра) на диа-

гностический параметр T<sub>Gв</sub>, были проведены экспериментальные исследования на двигателе Д-243 с установленным фильтром 240-1109015-А-02. Исследования показали, что данный показатель меняется с T<sub>Gв</sub>=1,4 сек до T<sub>Gв</sub>=1,8 сек при изменении разряжения от P<sub>1</sub>=2кПа (0%) до P<sub>3</sub>=7кПа (100%). Полученная зависимость так же имеет линейный характер T<sub>n</sub>=a·P<sub>раз</sub>+b с коэффициентами a=0,73, b=5,3 при этом расхождение данных не более 5,4%.

Оценка влияния степени разряжения во впускном коллекторе на диагностический параметр T<sub>Gв</sub> проводилась по результатам экспериментальных данных, часть которых изображен на рисунке 5.

Полученная зависимость T<sub>Gв</sub>=aP<sub>раз</sub>+b имеет коэффициенты a=0,65 и b=3,8, при этом расхождения составляют 6,3%.

Проведенные экспериментальные и теоретические исследования позволяют определить не только зависимости:

$$T_n = f(k, P_{\text{дав}}, P_{\text{раз}}),$$

$$T_{\text{ци}} = f(k, P_{\text{дав}}, P_{\text{раз}}),$$

$$T_{Gв} = f(k, P_{\text{дав}}, P_{\text{раз}}),$$

но и установить приемлемые диапазоны изменения диагностических параметров (таблица 1).

Установленные диапазоны диагностических параметров являются основой предлагае-

мого метода безразборной диагностики двигателя и служат базисом при составлении диагностической матрицы и устанавливают правила при применении решений.

**Выводы:** В качестве диагностических параметров выбраны интенсивности изменения частоты вращения коленчатого вала  $T_n$ , цикловой подачи  $T_{ци}$  и расхода воздуха  $T_{Гв}$ , как

наиболее информативные и содержащие актуальную информацию о текущем техническом состоянии двигателя. Также установлены приемлемые диапазоны изменения диагностических параметров, которые являются основой предлагаемого метода диагностирования.

#### Литература

1. Ахметзянов И.Р. Методика экспериментальных исследований // Современная наука: теоретический и практический взгляд/ Сборник статей международной научно-практической конференции. В 4 ч. Ч.3 – Тюмень: НИЦ АЭТЕРНА, 2016. – С. 9-13.
2. Ершов Д. Ю. Техническое диагностирование и методы контроля механических узлов в машиностроении // Молодой ученый. — 2013. — №4. — С. 62-64.
3. Матвеев В.Ю., Шагвин А.В. Факторы, определяющие работоспособность форсунок // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. – Выпуск № 2 (45), 2015. – С. – 57-63.
4. Халиуллин Ф.Х., Ахметзянов И.Р. Обоснование выбора диагностических параметров энергетических установок мобильных машин // Вестник Казанского государственного аграрного университета.– №2(32), 2014. – С. 72-74.
5. Халиуллин Ф.Х., Ахметзянов И.Р. Особенности составления диагностической матрицы Байеса при безразборной диагностики двигателей внутреннего сгорания // Международный научно-исследовательский журнал. – № 5 (47) Ч.3 –Екатеринбург, 2016. – С. 205-209.
6. Халиуллин Ф.Х., Ахметзянов И.Р. Оценка предельной наработки двигателя по величине компрессии в цилиндре // Вестник Казанского ГАУ. – №1 (39) 2016. – С.96-98.
7. Халиуллин Ф.Х., Ахметзянов И.Р., Шириязданов Р.Р., Халиуллин А.Ф. Патент на полезную модель. Стенд для исследования рабочих процессов двигателя внутреннего сгорания в динамических режимах с возможностью имитации некоторых неисправностей двигателя. Пат. № 151482 Российская Федерация МПК RU G01M 15/05; заявитель и патентообладатель Казанский государственный аграрный университет №2014122088/06, заявл. 30.05.14; опубл. 10.04.15; Бюл. № 10.
8. Ahmetzyanov I.R., Medvedev V.M., Khaliullin F.K., Shiryazdanov R.R. Internal Combustion Engine Faults Imitation Methods For Developing A Method Of Engine Diagnostics // Science and Education [Text]: materials of the VI International Research and Practice Conference, Munich, June 27-28th, 2014 / publishing office Vela Verlag Walkraiburg - mubich - Germany, 2014. - PP. 445-447.

#### Сведения об авторе:

Ахметзянов Ильнур Ринатович – соискатель, linur86@mail.ru  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия.

### DETERMINATION OF DIAGNOSTIC PARAMETERS FOR DIAGNOSIS METHODS WITH TRANSITION FUNCTION

Akhmetzyanov I.R.

**Abstract.** In order to optimize operating costs and more efficient maintenance and repair of automotive engines it is necessary to accurately forecast the technical operation parameters, which is achieved by selection of the correct method of diagnosis. The development of any method of diagnosis involves determining the most informative diagnostic parameters and ranges of their change. To compile the algorithm of in-place diagnosis according to Bayes, it is necessary to identify patterns of change in compression, cyclic flow and air flow, depending on the operating time of the tractor, which conducted statistical studies of tractors MTZ-80/82 fitted with engines D-243 in the agricultural enterprises of the Republic of Tatarstan. The research is to measure compression, power systems, air supply of tractors with different operating time. The dependence of data according to the parameters of the developments was composed, which are presented in a graph. As the intensity of the changes in diagnostic parameters of the engine speed have been chosen, the intensity of the cyclic changes in supply and changes in the intensity of the air flow. The results of development tests of D-243 engine with various kinds of faults were made up. The compression of 2.7 MPa was set for serviceable engine, 2.4 MPa for engine in good condition and 2.1 MPa for a faulty engine, the fuel injection pressure was 18.5 MPa, 16.5 MPa, 15.5 MPa, the discharging in intake manifold at a nominal speed was 2 kPa, 4 kPa and 7 kPa for the respective states of the engine. The carried experimental and theoretical studies allow us to determine not only the dependence of diagnostic parameters from compression, cyclic flow and air flow, but also to establish acceptable ranges of diagnostic parameters, which is the basis of the proposed method of in-place engine diagnostics and serves as a basis in the preparation of diagnostic matrix and establishes rules for the application of solutions.

**Key words:** internal combustion engine, a diagnostic parameter, technical condition.

#### References

1. Akhmetzyanov I.R. *Metodika eksperimentalnykh issledovaniy. // Sovremennaya nauka: teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad. / Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* (Methods of experimental investigations. // Modern science: theoretical and practical view. / Collection of articles of International scientific and practical conference). Part 3 – Tyumen: NITS AETERNA, 2016. – P. 9-13.
2. Ershov D.Yu. Technical diagnostics and controlling methods of mechanical components in engineering.

[Tekhnicheskoe diagnostirovanie i metody kontrolya mekhanicheskikh uzlov v mashinostroyenii]. // *Molodoy uchenyy. - Young scientist.* - 2013. - №4. - P. 62-64.

3. Matveev V.Yu. Schagvin A.V. Factors, that determine the performance of the nozzles. [Faktery, opredelyayushchie rabotosposobnost forsunok]. // *Vestnik Nizhegorodskogo gosudarstvennogo inzhenerno-ekonomicheskogo institute.* – *The Herald of Nizhny Novgorod State Engineering-Economic Institute.* Issue №2 (45), 2015. P. – 57-63.

4. Khaliullin F.Kh., Akhmetzyanov I.R. Justification of the diagnostic parameters choice of energy installations of mobile machines. [Obosnovanie vybora diagnosticheskikh parametrov energeticheskikh ustanovok mobilnykh mashin]. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – *The Herald of Kazan State Agrarian University,* №2 (32), 2014. P. 72-74.

5. Khaliullin F.Kh., Akhmetzyanov I.R. Features of drawing up Bayes diagnostic matrix at in-place diagnosis of internal combustion engines. [Osobnosti sostavleniya diagnosticheskoy matritsy Bayesa pri bezrazbornoy diagnostiki dvigatelya vnutrennego sgoraniya]. // *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. - International research journal.* № 5 (47) Part 3 – Ekaterinburg, 2016. – P. 205-209.

6. Khaliullin F.Kh., Akhmetzyanov I.R. Assessment of accumulated burn time limit of engine on amount of compression in the cylinder. [Otsenka predelnoy narabotki dvigatelya po velichine kompressii v tsilindre]. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – *The Herald of Kazan State Agrarian University* №1 (39) 2016. – P. 96-98.

7. Khaliullin F.Kh., Akhmetzyanov I.R., Shiriyazdanov R.R., Khaliullin A.F. Patent na poleznuyu model. Stend dlya issledovaniya rabochikh protsessov dvigatelya vnutrennego sgoraniya v dinamicheskikh rezhimakh s vozmozhnostyu imitatsii nekotorykh neispravnostey dvigatelya. Pat. №151482 Rossiyskaya Federatsiya MPK RU G01M 15/05; zayavitel i patentoobladatel Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet №2014122088/06, zayavl. 30.05.14; opubl. 10.04.15; Byul. № 10. (The patent for utility model. Stand for investigation of operating process of an internal combustion engine in dynamic modes with a possibility of simulating some engine problems. Pat. №151482 Russian Federation IPC RU G01M 15/05; the applicant and patentee is Kazan State Agrarian University №2014122088/06, applied 30.05.14; published 10.04.15; Bull. №10)..

8. Ahmetzyanov I.R., Medvedev V.M., Khaliullin F.K., Shiriyazdanov R.R. Internal Combustion Engine Faults Imitation Methods For Developing A Method Of Engine Diagnostics // Science and Education [Text]: materials of the VI International Research and Practice Conference, Munich, June 27-28th, 2014 / publishing office Vela Verlag Walkraiburg - mubich - Germany, 2014. - PP. 445-447.

**Authors:**

Akhmetzyanov Ilnur Rinatovich - applicant, linur86@mail.ru  
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.