

Мир транспорта и технологических машин

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный
комплекс» (Госуниверситет-УНПК)

Редакционный совет:

Голенков В.А. д-р техн. наук, проф.,
председатель
Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц
Астафичев П.А. д-р юр. наук, проф.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук, проф.
Колчунов В.И. д-р техн. наук, проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук,
проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.
Попова Л.В. д-р экон. наук, проф.
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф.

Главный редактор:

Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.
Зам. главного редактора:

Катунин А.А. канд. техн. наук

Редакция:

Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф.
Бондаренко Е.В. д-р техн. наук, проф.
Глаголев С.Н. д-р экон. наук, проф.
Дидманидзе О.Н. д-р техн. наук, проф.
Корчагин В.А. д-р техн. наук, проф.
Лапин А.П. д-р техн. наук, проф.
Пучин Е.А. д-р техн. наук, проф.
Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф.
Родионов Ю.В. д-р техн. наук, проф.
Демич М. д-р техн. наук, проф.
Ушаков Л.С. д-р техн. наук, проф.

Ответственный за выпуск:

Акимочкина И.В.

Адрес редакции:

302030, г. Орел, ул. Московская, 77
(4862) 73-43-50
www.gu-unpk.ru
E-mail: sirm@ostu.ru, srmostu@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство: ПИ № ФС77-47352
от 03.11.2011г.

Подписной индекс: **16376**
по объединенному каталогу
«Пресса России»

© Госуниверситет-УНПК, 2012

Содержание

Эксплуатация, ремонт, восстановление

А. Р. Асоян Анализ напряженного состояния и геометрической формы верх- ней и нижней головок шатунов двигателя КамАЗ-ЕВРО.....	3
С. Ю. Радченко, А. Н. Новиков, А. А. Катунин, М. Д. Тебекин Анализ поврежде- ний шаровых шарниров.....	8
К. Л. Слитников, И. К. Данилов, Ю. И. Данилов Аналитическое обоснование и разработка устройства для оценки износа цилиндропоршневой группы дизе- лей.....	15
А. С. Иванов, В. В. Лянденбургский, Ю. В. Родионов, Е. В. Кравченко Виртуаль- ный комплекс автодиагностики.....	19
А. В. Коломейченко Исследование покрытий, сформированных мдо, в режиме атомно-силовой микроскопии.....	25
Н. В. Поляков, Д. А. Попов, Е. В. Снятков К вопросу расчета теплонагруженно- сти фрикционного контакта при повторно-кратковременных торможениях... Л. А. Савин, О. А. Пивоваров, Е. В. Сливинский Расширение функциональных возможностей тепловозных дизелей за счет модернизации газораспреде- лительных механизмов.....	31
А. А. Деев Результаты экспериментальных исследований процесса приработки сопряжений двигателя на основе обратной связи по параметру акустической эмиссии.....	36
А. Г. Пастухов, Е. П. Тимашов Технологический процесс ремонта шарниров карданных передач: рациональность и конкурентоспособность.....	41
В. И. Сарбаев, Ю. В. Гармаиш, И. И. Пономарева Управление электроприводом постоянного тока автотранспортного средства.....	51
	59

Технологические машины

Л. С. Ушаков, А. В. Щекочихин Математическая модель гидропневматической силовой импульсной системы на основе метода объектно-ориентированного моделирования.....	64
С. В. Лебедев Определение необходимой осевой силы пригруза, развиваемой машиной для погружения винтовых якорей в грунт.....	71
О. В. Фоминова, Е. Б. Белозёрова, В. И. Чернышев Управляемая виброизоляция объекта с двумя степенями свободы.....	79

Безопасность движения и автомобильные перевозки

А. И. Шутов, С. В. Куценко, Н. А. Загородний Возможный принцип моделиро- вания транспортных потоков и прилегающих к проезжей части автомо- бильных стоянок.....	88
С. А. Жесткова Использование метода «ветвей и границ» при решении задач маршрутизации транспорта.....	94
Г. А. Денисов, В. П. Белокуров, А. А. Штепа Нахождение удаления автомобиля от места наезда на пешехода, вышедшего из-за попутного транспортного средства.....	101
Д. Н. Торгачев, О. И. Морозова Перспективы использования инновационных технологий ГЛОНАСС на пассажирском и социальном транспорте в Орлов- ской области.....	106
В. В. Салмин, Е. А. Нелюцкова Эвристический метод оценки состояния систе- мы «водитель – автомобиль – дорога – среда».....	111

Образование и кадры

Е. В. Агеев, А. Л. Кудрявцев, А. Л. Севостьянов Алгоритм диагностирования цилиндропоршневой группы с применением технического эндоскопа.....	116
Э. М. Пинт, И. И. Романенко, И. Н. Петровнина, В. С. Козицын, К. А. Елчев Метод распознавания печатных знаков и распространение его на образы, связанные с автоматизацией работы дорожных машин.....	123



The scholarly
journal

A quarterly review

№ 1(36) 2012
January-March

World of transport and technological machinery

Founder - Federal State budget Institution
higher education
"State University – Education-Scientific-Production Complex "
(State University-ESPC)

Editorial Council:

V.A. Golenkov .Doc. Eng., Prof.

S.Y. Radchenko Doc. Eng., Prof.

Vice-Chairman

M.I. Borzenkov Can. Eng., Prof.

P.A. Astafichev, Doc. Law., Prof.

T.N. Ivanova, Doc. Eng., Prof.

V.I. Kolchunov Doc. Eng., Prof.

I.S. Konstantinov Doc. Eng., Prof.

A.N. Novikov Doc. Eng., Prof.

L.I. Popova Doc. Ec., Prof.

Y.S. Stepanov Doc. Eng., Prof.

Editor-in-Chief

Novikov A.N. Doc.Eng., Prof

Editor-in-Chief Assistants

Katunin A.A. Can.Eng.

Editorial Board:

I.E. Agureyev Doc. Eng., Prof.

E.V. Bondarenko Doc. Eng. Prof.

S.N. Glagolev Doc. Ec., Prof.

O.N. Didmanidze Doc. Eng. Prof.

V.A. Korchagin Doc. Eng. Prof.

A.P. Lapin Doc. Eng., Prof.

E.A. Puchin Doc. Eng., Prof.

A.N. Rementsov Doc. Ped., Prof.

Y.V. Rodionov Doc.Eng., Prof.

M. Demic Doc. Eng., Prof.

L.S. Ushakov Doc. Eng., Prof.

Person in charge for publication:

I.V. Akimochkina

Editorial Board Address:

302020, Orel, Moskovskaya Str, 77

(4862) 73-43-50

www.gu-unpk.ru

E-mail: sirm@ostu.ru, srmostu@mail.ru

The journal is registered in Federal
Agency of supervision in sphere of
communication, information
technology and mass communications.
Registration Certificate
PI № FS77- 47352 of November 03
2011

Subscription index: **16376**

in a union catalog "The Press of Russia"

© State University-ESPC, 2012

Contents

Operation, Repair, Restoration

A. R. Asoyan The analysis of a tension and the geometrical form of the top and bottom heads of rods engine KamAZ-EURO	3
S. Yu. Radchenko, A. N. Novikov, A. A. Katunin, M. D. Tebekin Analysis of types of damages of spherical hinges	8
K. L. Slitnikov, I. K. Danilov, U. I. Danilov Research and development unit basis for evaluation of wear piston of diesel engines	15
V. I. Ljandenbursky, Y. V. Rodionov, A. S. Ivanov, E. V. Kravchenko Virtual complex of autodiagnosics	19
A. V. Kolomeychenko Study of coatings formed dhs, mode atomic force microscopy	25
N. V. Polyakov, D. A. Popov, E. V. Snyatkov To the matter of determination of heatloading friction contact after rebreakings	31
L. A. Savin, O. A. Pivovarov, E. V. Slivinsky Extension of functional possibilities of diesel locomotive engines due to modernization of gas distribution mechanisms	36
A. A. Deev The results of experimental studies the process of alignment mating parts of engine based on feedback to the parameter of acoustic emission	41
N. V. Polyakov, D. A. Popov, E. V. Snyatkov To the matter of determination of heatloading friction contact after rebreakings	51
V. I. Sarbaev, U. V. Garmash, V. I. Ponomarev Management dc motor vehicles	59

Technological Machinery

L. S. Ushakov, A. V. Shchekochikhin Mathematical model of hydropneumatic force pulse system based on the method of object-oriented modeling	64
S. V. Lebedev A research of axial crowd force of machine for immersion of screw anchors into ground	71
O. V. Fominova, E. B. Belozeroval, V. I. Chernichev The controlling vibro-insulator of object with two degrees of freedom	79

Road safety and road transport

A. I. Shutov, S. V. Kushchenko, N. A. Zagorodnij Possible principle for transport modeling of currents and adjacent-the carriageway car-governmental parking	88
S. A. Zhestkova Application of the branch-and-bound method for the solving vehicle routing problem	94
G. A. Denisov, V. P. Belokurov, A. A. Shtepa The location of automobile (car) from the place of collision with pedestrian who came out of associated vehicle	101
D. N. Torgachev, O. I. Morozova Prospects for innovation GLONASS for passenger and social transport in the oryol region	106
V. V. Salmin, E. A. Nebyutskova The heuristic method assessment system "driver - car - the road - wednesday"	111

Education and Personnel

E. V. Ageev, A. L. Kudryavtsev, A. L. Sevost'yanov Diagnostic cylinder group with technical endoscope	116
E. M. Pint, I. I. Romanenko, I. N. Petrovnina, V. S. Kozitsyn, K. A. Elichev Method of recognition of printed characters and spreading of method on mannes pressed for automatic work of way machine	123

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ВЕРХНЕЙ И НИЖНЕЙ ГОЛОВЕК ШАТУНОВ ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ-ЕВРО

В работе рассмотрены нагрузки воспринимаемые шатуном двигателя внутреннего сгорания, распределение напряжений и изменения геометрической формы нижней и верхней головок шатунов. Предложен метод измерения и приспособление для определения макрогеометрических отклонений шатуна.

Ключевые слова: макрогеометрические отклонения, износ, прогиб вкладыша, контроль деформации, определение корсетности, напряженное состояние.

Наиболее полное использование заложенного при конструировании и изготовлении двигателя ресурса возможно при правильной эксплуатации и качественном ремонте. Качество капитального ремонта (КР) и его технология во многом определяется дефектами основных элементов двигателя.

Наиболее нагруженными деталями двигателя являются детали кривошипно-шатунного механизма (КШМ) динамическая нагруженность которых определяется быстрым повышением давления газов при сгорании топлива и соударениями относительно перемещающихся деталей в зазорах КШМ. Соударения деталей в зазорах возникают при изменении направления действия сил. Одним из ресурсопределяющих элементов КШМ двигателя является шатун. Распределение основных повреждений шатуна приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Распределение повреждений шатуна

№ п/п	Наименование повреждений	%
1	Повышенный износ втулки верхней головки шатуна (более 50 мкм)	35
2	Задиры, прижеги на нижней головке шатуна	1,8
3	Усталостное разрушение тела шатуна	0,4
4	Обрыв шатунных болтов	0,2

Наибольший износ втулки верхней головки шатуна наблюдается в плоскости оси шатуна, то есть в плоскости действия газовых и инерционных сил. При работе двигателя в нижней головке шатуна действуют циклические нагрузки, эпюра которых приведена на рисунке 1 [1].

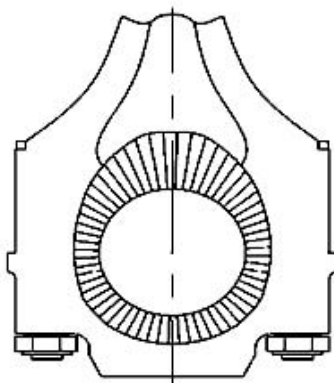


Рисунок 1 - Эпюра нагрузок в нижней головке шатуна

Наибольшие нагрузки возникают в плоскости оси шатуна, максимальные усилия продольного сжатия шатуна возникают в период сгорания топлива при $4...10^\circ$ у.п.к.в. после ВМТ. В период максимального давления сгорания ($-1...+11^\circ$ у.п.к.в.) шатун совершает продольные колебания. Частота продольных колебаний на различных режимах работы дизеля находится в достаточно узком диапазоне 2150...2250 Гц. Данные колебания шатуна являются

собственными колебаниями системы, поршень – поршневой палец – шатун, и вызываются импульсом от быстрого повышения давления сгорания топлива. Максимальное давление газов в цилиндре растет с увеличением частоты вращения коленчатого вала. Коэффициент динамичности в зависимости от частоты вращения коленчатого вала находится в пределах $k_d = 1,15 \dots 1,22$ [2].

В процессе эксплуатации амплитуда динамических нагрузок в подшипниках увеличивается вследствие роста зазоров. Зазоры от номинальных до предельных увеличиваются в 2,5-3 раза, что вызывает пропорциональный рост динамических (инерционных) нагрузок. Поскольку зазоры в процессе эксплуатации возрастают по экспоненциальной зависимости, то аналогично изменяется и амплитуда динамических нагрузок. Это приводит к изменению геометрической формы нижней головки шатуна и вкладыша (в свободном состоянии вкладыша появляется изгиб по образующей; снижается размер вкладыша в свободном состоянии; на рабочей поверхности вкладышей появляются характерные натирывы в средней части в форме эллипса; на наружной стороне вкладыша появляется характерный след перегрева средней части в виде темной полосы и кавитационные каверны; происходит усадка вкладыша вдоль окружности по сравнению с новыми вкладышами).

В результате появления и роста прогиба повышается вероятность непосредственного контакта вкладышей с шейкой коленчатого вала, приводящей к повышению трения в подшипнике, задиру, схватыванию и проворачиванию вкладышей. Схватывание и проворачивание вкладышей является заключительным вероятностным этапом их деформирования. Поэтому даже при отсутствии проворачивания вкладышей изнашивание нижней головки шатуна по образующей происходит неравномерно.

Как показала практика капитального ремонта автотракторных двигателей, при дефектовке выбраковываются шатуны с усталостными трещинами и с недопустимой деформацией стержня шатуна (прогиб, скручивание), также контролируют отклонения размеров и не оговаривается отклонение формы (овальность, корсетность), что отрицательно сказывается на качестве ремонта шатуна [3].

Анализ напряженно-деформируемого состояния шатуна, с использованием метода конечных элементов (МКЭ), и твердотельное моделирование с помощью программы - АРМ WinMachine 9.7, с автоматическим построением конечно-элементной сетки (трехмерные конечные элементы) (рис.2), подтверждает результаты исследования рассеивания размеров и форм рабочих поверхностей деталей, вследствие действия нагрузок, в процессе эксплуатации.

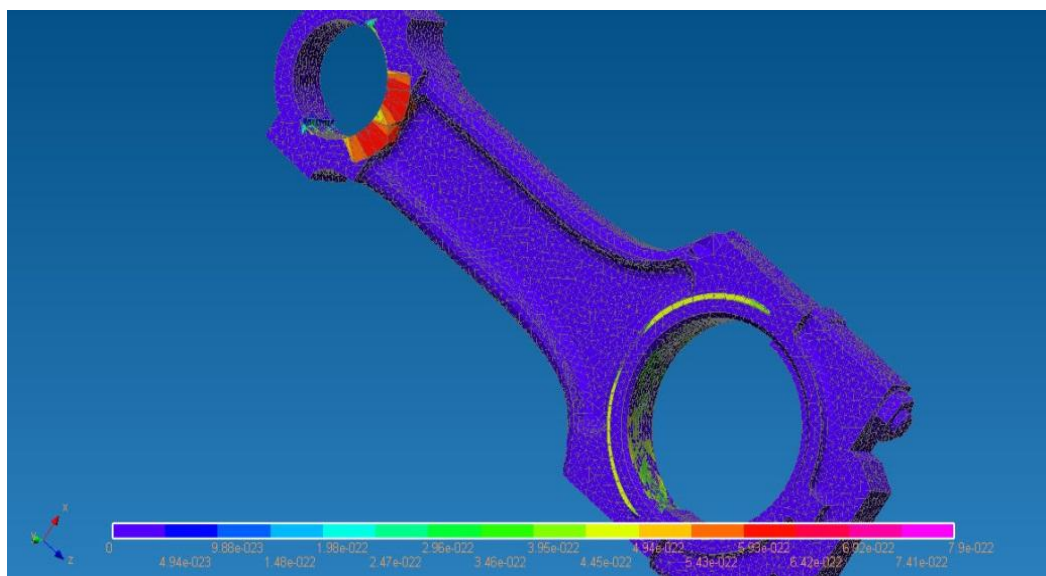


Рисунок 2 - Распределение напряжений в нижней и верхней головке шатуна

Из рисунка видно, что поля напряжений в верхней и нижней головке шатуна отличаются значительной неравномерностью распределения, наибольшие напряжения находятся в нижней части верхней головки и в верхней части нижней головки шатуна по направлению, действия газовых сил. Действующие динамические нагрузки, а также повышение амплитуды вибраций в нижней головке шатуна вызывают фреттинг-изнашивание в неподвижном сопряжении (рис. 3).



Рисунок 3 - Следы фреттинг-изнашивания на нижней головке шатуна -а и вкладыше -б

В результате нижняя головка шатуна приобретает форму овала ε с большей осью овала по оси шатуна, в соответствии с эпюрой нагрузок (рис.1). Форма зависимости ε от нагрузки l

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon^{bl}, \quad (1)$$

где ε_0 - овальность в конце приработки, приведенная к началу эксплуатации;

b - изменение интенсивности овализации на единицу овальности.

Используемые в настоящее время способы восстановления шатуна не учитывают изменение макрогеометрии его основных элементов, что существенно снижает качество ремонта шатунов и двигателя в целом. В процессе эксплуатации из-за повышения уровня динамических нагрузок овальность верхней и нижней головок шатуна возрастает по экспоненциальной зависимости (1). В следствии фреттинг-изнашивания в сопряжении втулки с отверстием верхней головки шатуна интенсивность изнашивания деталей сопряжения снижается в процессе эксплуатации по экспоненциальной зависимости

$$S = \frac{\alpha_0}{b} (1 - e^{-bl}), \quad (2)$$

где $\frac{\alpha_0}{b}$ - износ в конце приработки, приведенный к началу эксплуатации.

Вследствие деформации шатунных вкладышей корсетность нижней головки шатуна в процессе эксплуатации возрастает по экспоненциальной зависимости. При ремонте шатуна следует тщательно контролировать макрогеометрию шатуна для повышения межремонтного ресурса. Для этого разработано измерительное устройство (рис.4), (патент №68755).

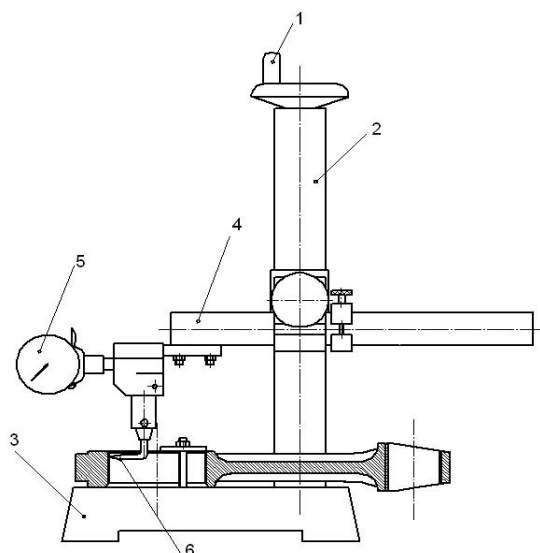


Рисунок 4 - Схема определения корсетности на приспособлении

Разработана схема технологического процесса восстановления шатуна на основе дефектовки по макрогеометрическим показателям. Основное внимание при восстановлении нижней головки уделяется устранению макрогеометрических отклонений с использованием электролитического железного покрытия, предложенный технологический процесс восстановления шатуна обеспечивает стабильность формы шатунных вкладышей после ремонта. Для оценки эффективности предложенной технологии восстановления шатуна были проведены эксплуатационные исследования. Результаты наблюдений приведены на рисунке 5 и в таблице 2.

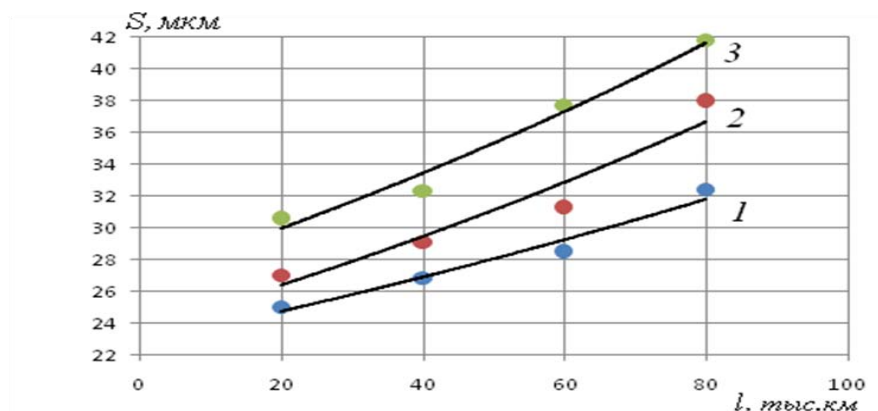


Рисунок 5 - Зависимость диагностического параметра (прогиба) шатунных вкладышей от наработки двигателей КамАЗ-740:

1 - не отремонтированные (новые) двигатели; 2 - после восстановления шатунов по предлагаемой технологии; 3 - после КР с заменой вкладышей без ремонта шатунов

Таблица 2 - Коэффициенты зависимости диагностического параметра (прогиба) шатунных вкладышей от наработки двигателей КамАЗ-740

Группы двигателей	Параметры		
	y ₀ , мкм	b, 1/тыс. км	r ₂
1. Не отремонтированные (новые) двигатели	22,73	0,004	0,968
2. После восстановления шатунов по предлагаемой технологии	23,62	0,005	0,933
3. После КР с заменой вкладышей без ремонта шатунов	26,89	0,005	0,971

Интенсивность изменения технического состояния шатунных подшипников в процессе эксплуатации после восстановления по предложенной технологии в среднем на 15% ниже, чем после замены вкладышей без ремонта шатунов и на 11% выше, чем у новых двигателей. Это позволяет повысить межремонтный ресурс в среднем на 15%, снизить долю подлежащих замене шатунов с 24,5% до 11,9%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов, А. С. Восстановление шатунов автотракторных двигателей [Текст] / А. С. Денисов, А. Р. Асоян, В. М. Юдин. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2008. - 250 с.
2. Никишин, В. Н. Формирование и обеспечение качества автомобильного дизеля [Текст] / В. Н. Никишин. - Министерство образования и науки; Камская госуд. инж.-экон. акад. - Наб. Челны: Изд-во Камской госуд. инж.-экон. акад., 2006. - 456 с.
3. Денисов, А. С. Обеспечение надежности автотракторных двигателей [Текст] / А. С. Денисов, А. Т. Кулаков // Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, - 2007. - 409 с.

Асоян Артур Рафикович

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.

Адрес: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Канд. техн. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство»

Тел. +7(452)998752

E-mail: AACH@sstu.ru

A. R. ASOYAN

THE ANALYSIS OF A TENSION AND THE GEOMETRICAL FORM OF THE TOP AND BOTTOM HEADS OF RODS ENGINE KAMAZ-EURO

In work loadings perceived by a rod of an internal combustion engine, distribution of pressure and change of the geometrical form of the bottom and top heads of rods are considered. The method of measurement and the adaptation for definition of macrogeometrical deviations of a rod is offered.

Keywords: macrogeometrical deviations, deterioration, loose leaf deflection, deformation control, definition корсетности, a tension.

BIBLIOGRAFIYA

1. Denisov, A. S. Vosstanovlenie shatunov avtotraktornykh dvigateley [Tekst] / A. S. Denisov, A. R. Asoyan, V. M. YUdin. - Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2008. - 250 s.
2. Nikishin, V. N. Formirovanie i obespechenie kachestva avtomobil'nogo dizelya [Tekst] / V. N. Niki-shin. - Ministerstvo obrazovaniya i nauki; Kamskaya gosud. inzh.-ekon. akad. - Nab. Chelny: Izd-vo Kamskoy go-sud. inzh.-ekon. akad., 2006. - 456 s.
3. Denisov, A. S. Obespechenie nadezhnosti avtotraktornykh dvigateley [Tekst] / A. S. Denisov, A. T. Kulakov // Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, - 2007. - 409 s.

Asoyan Arthur Rafikovich

Saratov State Technical University. Y. A. Gagarin

Address: 410054, Saratov, ul. Polytechnique, 77

Candidate. tech. , Associate Professor, Deputy Head of Department "Automobiles and hozyayst of"

Tel. +7 (452) 998752

E-mail: AACH@sstu.ru

С. Ю. РАДЧЕНКО, А. Н. НОВИКОВ, А. А. КАТУНИН, М. Д. ТЕБЕКИН

АНАЛИЗ ВИДОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ

В статье рассматриваются вопросы назначения и устройства шаровых шарниров различных типов, используемых в передней подвеске современных легковых автомобилей. Причины потери работоспособности шаровых шарниров, а так же процессы происходящие в пятне контакта между полимерным вкладышем и корпусом шарового шарнира. Произведен анализ видов повреждений шаровых шарниров на примере партии шарниров выработавших свой ресурс. Описаны теоретические основы метода испытаний шарниров на износ. Определены контактные давления в начальный момент эксплуатации, выполнено решение задачи о контактном взаимодействии жесткого шара и упругого сферического вкладыша в жесткой сферической обойме.

Ключевые слова: шаровый шарнир, шаровый палец, вкладыш, защитный чехол, коррозия, полимерный материал, деструкция, испытания на износ.

Шаровые шарниры, устанавливаемые в передней подвеске автомобиля, предназначены для сочленения элементов направляющего аппарата и представляют собой кинематические пары, в которых реализуются по три угловые степени свободы при линейном перемещении звеньев (рычагов). Такие шарниры относятся к ответственным соединениям, т.к. воспринимают в связях значительные нагрузки во всех направлениях: вертикальные – от веса автомобиля, горизонтальные – от тормозных сил и силы тяги и при поворотах. Надежность работы шарниров непосредственно влияет на безопасность эксплуатации автомобиля [1].

Проведенный анализ конструкций шаровых шарниров позволил сделать следующие выводы:

- конструкции шаровых шарниров непрерывно совершенствуются, это подтверждается большим количеством патентов не только в России, но и за её пределами и связано с появлением новых материалов, смазки и технологических методов изготовления и упрочнения пальцев;
- общая тенденция развития шаровых шарниров идет по пути изменения материала и конструкции вкладышей: от металлических сухарей к металлокерамическим, далее к полимерным сухарям и тефлоновой «рубашке» в пластмассовой обойме;
- количество деталей уменьшается с 12 ("Остин – 1100") до 6 (типа "ВАЗ") за счет исключения деталей для регулировки и принудительной смазки шаровой опоры во время эксплуатации;
- все конструкции шаровых опор нуждаются в надежной защите трущихся пар от воздействия окружающей среды (вода, грязь).

В настоящее время защитные чехлы шаровых опор имеют недостаточную долговечность из-за разрывов при механическом воздействии и старении материала (резины). С целью повышения надежности и долговечности шаровых шарниров подвесок автомобилей следует для снижения трения и износа трущейся пары палец-вкладыш применить вкладыш с тефлоновой рубашкой в жестком пластмассовом корпусе и повысить точность и класс шероховатости сферы пальца.

Для повышения долговечности защитного чехла необходимо повысить прочность материала для большей стойкости к механическим повреждениям и увеличить срок старения материала (резины).

Современные шаровые шарниры типа "ВАЗ" не имеют компенсаторов износа, т.е., появляющийся в процессе эксплуатации зазор не регулируется. Применение фторопластовой ткани, обладающей высокой износостойкостью, позволяет получить достаточную долговечность шарнира без использования регулировок зазора.

Аналогичные конструкции неразборных шарниров (завальцованный корпус) без компенсаторов, нос применением установки отдельно изготовленных пластмассовых (углепластик, полиамид с наполнителем молибденом и т.д.) кольцевых вкладышей толщиной не бо-

лее 2 мм, зажатых между головкой пальца и корпуса, выпускаются в большом объеме специализированными фирмами для комплектации моделей автомобилей известных фирм: фирма "Эрентрайх" для "ДаймлерБенц", "Лемфердерметальварен" для "Порше", "Ауди".

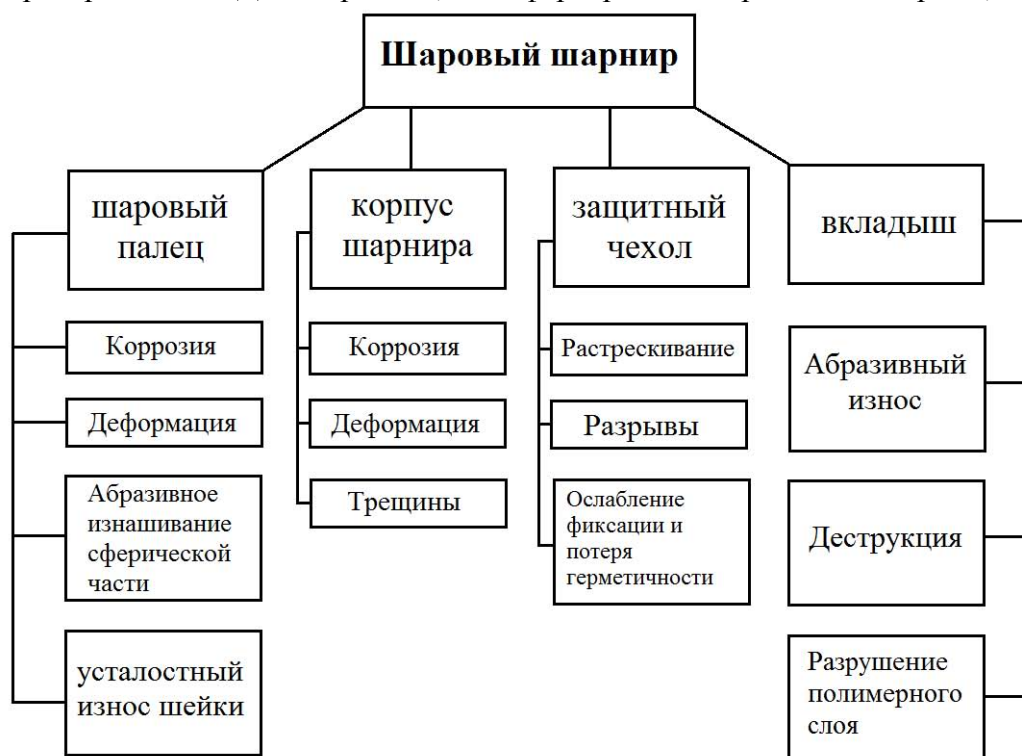


Рисунок 1 - Виды повреждений шаровых шарниров

Зазоры в рабочих парах шарниров недопустимы, а при изготовлении этого трудно достичь, поэтому собранные шарниры подвергают точной обжимке для получения определенного натяга в паре трения. Натяг этот контролируется в технологическом процессе изготовления шарниров замерами моментов качания и вращения пальца относительно корпуса.

Шарниры становятся неработоспособными, когда в их рабочих парах образуются критические по величине зазоры. Наличие этих зазоров обнаруживается водителем автомобиля субъективно по появлению стуков и вибраций на рулевом колесе от "рысканья" автомобиля при движении. "Рысканье" происходит из-за динамических изменений параметров подвески (развала, схождения, продольного угла наклона оси поворота колес) при воздействии на колеса автомобиля дорожных неровностей. Все это уменьшает долговечность работы подвески, подшипников колес и шин. Кроме того, снижается активная безопасность автомобиля, особенно на неровных и скользких дорогах. Поэтому нужна конструкция, повышающая долговечность шарниров, т.е. шарнир должен иметь компенсатор для устранения зазоров с применением жестких упругих вкладышей, что позволяет шарниру воспринимать относительно равные по величине усилия во всех направлениях [2].

Шаровые пальцы испытывают при эксплуатации многоцикловые знакопеременные нагрузки, что приводит к исчерпыванию ресурса детали по двум направлениям: абразивному износу сферической части шарового пальца и усталостному износу металла в опасном сечении перехода сферической части в коническую шарового пальца. Кроме того для шарового пальца характерны также деформация и коррозионное повреждение (рис. 1).

Основной причиной потери работоспособности шарового шарнира является изнашивание сопряженных деталей – сферическая часть шарового пальца-вкладыш. Изнашивание зависит от ряда факторов, в частности от условий трения [3].

Полимерный материал, присутствующий в корпусе шарового шарнира, приводит к эффекту демпфирования, тем самым увеличивая пятно контакта между трущимися деталями. В приповерхностных слоях контакта при движении пальца относительно вкладыша в резуль-

тате трения происходит повышение температуры, вызывающее текучесть и дальнейшее преобразование молекул полимера в газообразное состояние – деструкция. Течение полимера сопровождается остаточными сдвиговыми деформациями. Для снижения давления в пятне контакта наиболее приемлемым материалом является угленаполненный полиамид 6/15 с наполнителем из стали ШХ15. При нормативной нагрузке на шаровой шарнир 3187 Н условию прочности удовлетворяет лишь палец. Заполнение УПА 6/15 не обеспечивает работоспособность шарового шарнира в динамическом режиме, так как коэффициент запаса прочности $k_d = 0,98$ меньше 1,0, что свидетельствует о разрушении полимера – происходит деструкция.

Коэффициенты запаса прочности указывают на неравнопрочность деталей исследуемого шарнира. Напряжённо-деформированное состояние гетерогенного слоя корпуса шарового шарнира показывает, что на долговечность шарнира влияют микрофизические и химические явления при трении изнашивания вязкоупругого полимерного вкладыша. Обследования образцов шаровых шарниров, демонтированных с подвесок автомобилей в результате достижения предельного состояния, указывают на основную причину отказов – разрушение полимерного слоя [4].

На рисунке 2 представлены элементы шарниров выработавших свой ресурс:

а, б – коррозия шарового пальца и корпуса шаровой опоры, абразивный износ шарового пальца. Причиной является повреждение защитного чехла, потеря герметичности шаровой опоры, проникновение воды, грязи и абразивных частиц между парой трения палец-вкладыш. Признаки проявления: визуально - по повреждению защитного чехла и наличию на нем смазки и грязи, при движении автомобиля - по посторонним стукам и звукам, ухудшению управляемости автомобиля.

в – абразивный износ вкладыша, следы коррозии на нем, коррозия корпуса шаровой опоры;

г - коррозия шарового пальца и корпуса шаровой опоры, абразивный износ шарового пальца;

д, е - коррозия шарового пальца, абразивный износ шарового пальца в виде радиальных канавок на сферической поверхности;

ж – деструкция - повышение температуры, вызывающее текучесть и дальнейшее преобразование молекул полимера в газообразное состояние в приповерхностных слоях контакта при движении пальца относительно вкладыша в результате трения. Причиной является длительное движение по плохим дорогам с высокой скоростью, а также нарушение технологии изготовления вкладыша, низкое качество материала для изготовления вкладыша. Признаки проявления: при движении автомобиля - по посторонним стукам и звукам, ухудшению управляемости автомобиля.

з – абразивный износ сферической головки и усталостный износ в сечении перехода сферической части в коническую шарового пальца. Усталостный износ шейки шарового пальца возникает в результате превышения срока эксплуатации шаровой опоры установленного заводом-изготовителем, а также при нарушении технологии изготовления шарового пальца (брак). Признаки проявления могут отсутствовать до момента критического износа шейки и ее разрушения, что приводит к разрушению шаровой опоры и потере структурной целостности подвески.

Деформация шарового пальца и корпуса шаровой опоры – изменение формы и геометрических размеров пальца (корпуса шаровой опоры). Причиной являются значительные (превышающие расчетные) знакопеременные нагрузки, возникающие в шаровой опоре при проезде больших неровностей на дороге с высокой скоростью. Признаки проявления – изменение углов установки колес, неравномерный и ускоренный износ шин, ухудшение управляемости автомобиля.

Повреждения защитного чехла:

- растрескивание. Причиной может являться качество изготовления, качество первоначального материала – резины, превышение срока службы чехла, попадание на поверхность чехла агрессивных веществ (растворители, бензин, кислоты и т. д.);



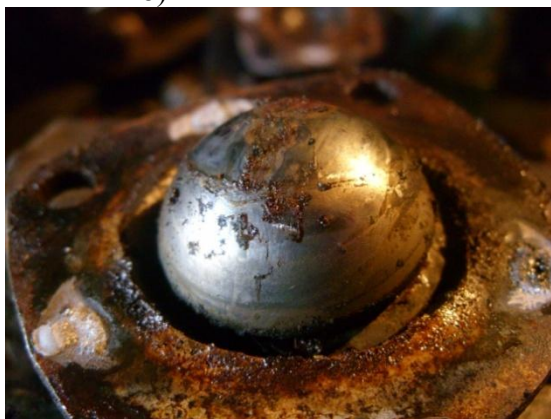
а)



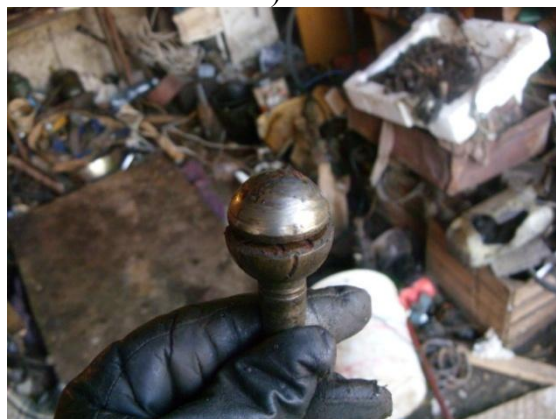
б)



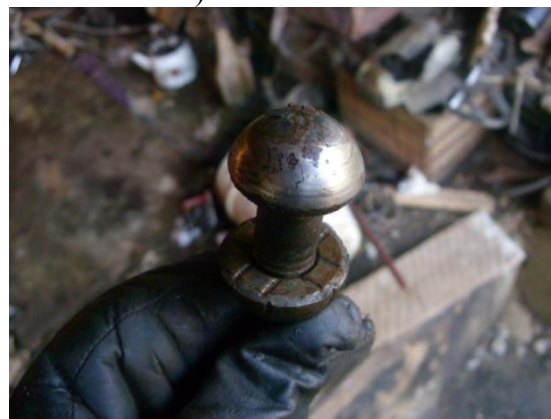
в)



г)



д)



е)



ж)



з)

Рисунок 2 - Элементы шаровых шарниров выработавших свой ресурс

- разрывы. Причиной является воздействие на поверхность чехла твердых, острых, прочных инородных тел (ветки, проволока, камни) при проезде по ним автомобиля.

- ослабление фиксации и потеря герметичности связаны с ослаблением фиксирующих элементов закрепляющих чехол – хомуты, клей и т. д.

Признаки проявления для всех повреждений проявляются визуально - по повреждению защитного чехла и наличию на нем смазки и грязи.

Теоретические основы метода испытаний на износ. Идея метода состоит в использовании при испытаниях образцов с изменяющейся (увеличивающейся) площадкой контакта и соответственно изменяющимися (уменьшающимися) контактными давлениями. Процесс изнашивания при изменяющихся размерах площадки содержит скрытую информацию о зависимости износа от давления, т.е информацию об основной модели изнашивания. Сделать информацию явной можно только составив и решив дифференциальное уравнение процесса. Сначала ставится и решается прямая и контактная задача для шара и плоскости с износом. В прямой задаче параметры модели изнашивания задаются, а давление и размеры площадки контакта определяются из решения.

Постановка контактной задачи с износом складывается из трех соотношений:

а) дифференциального соотношения модели установившегося изнашивания

$$\frac{du_{w1}}{ds_1} = k_{w1} \sigma^{m_1}; \quad (1)$$

б) условия сплошности в контакте

$$u_{w1}(s_1, r) = u(s_1, r); \quad (2)$$

в) условия равновесия в контакте

$$Q = \int_0^{2\pi} \int_0^a \sigma(s_1, r) r dr d\varphi. \quad (3)$$

где $u_{w1}(s_1, r)$ – линейный износ шара;

s_1 – путь трения для контактных точек шара;

$\sigma(s_1, r)$ – контактное давление по площадке контакта;

r, φ – радиальные и угловые координаты;

k_{w1}, m_1 – параметры модели изнашивания;

$u(s_1, r)$ – геометрическая функция в контакте;

Q – нагрузка на шар,

$$u(s_1, r) = \frac{a^2(s_1) - r^2}{2R}. \quad (4)$$

В такой постановке контактная задача сводится к дифференциальному уравнению

$$\sigma(s_1) = \left[\frac{a(s_1)}{k_{w1} R} \frac{da(s_1)}{ds_1} \right]^{1/m_1}, \quad (5)$$

из которого следует, что контактные давления, в условиях принятых допущений, распределены равномерно. Дальнейшее рассмотрение приводит к обыкновенному дифференциальному уравнению с разделяющимися переменными относительно радиуса a площадки контакта

$$Q = \pi a^2(s_1) \left[\frac{a(s_1)}{k_{w1} R} \frac{da(s_1)}{ds_1} \right]^{1/m_1}. \quad (6)$$

Решая уравнение получаем зависимость для определения площадки контакта

$$a(s_1) = \left[(2m_1 + 2) \left(\frac{k_{w1} R}{\pi m_1} Q^{m_1} s_1 + c \right) \right]^{1/(2m_1 + 2)}. \quad (7)$$

Постоянная интегрирования при нулевой начальной площадке контакта равна нулю $c = 0$, а при $a(s_1 = 0) = a_0$, $c = a_0^{2m_1 + 2}$.

Обратная контактная задача с износом состоит в определении параметров k_w, m :

$$m_1 = \frac{\lg \frac{s_1}{s_2}}{\frac{2 \lg a_1}{a_2}} - 1. \quad (8)$$

$$k_{w_1} = \frac{a_1^{m+1}}{(2m+2)R \left(\frac{Q}{\pi} \right)^m s}. \quad (9)$$

Приведенный (эквивалентный контакту шара и плоскости) радиус для контакта тел двоякой кривизны был получен из условия равенства в обоих случаях площадки контакта и максимального радиального износа.

Формула для приведенного радиуса R_* имеет вид

$$R_* = (R_1 R_2)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

$$(11)$$

С учетом этих соотношений, если проведены испытания на износ пары трения с телами двоякой кривизны и получена зависимость типа (11) $\alpha = c s^\beta$, где

$$\alpha = (\alpha_1 \alpha_2), \quad (12)$$

где α_1, α_2 - полуоси эллиптической площадки контакта.

Для определения контактных давлений в начальный момент эксплуатации выполнено решение задачи о контактном взаимодействии жесткого шара и упругого сферического вкладыша в жесткой сферической обойме. Зависимость максимального контактного давления на вкладыш получена в виде

$$\sigma_0 = \frac{Q}{2\pi R^2 (1 - \cos^2 \varphi_0)}. \quad (13)$$

где φ_0 – половина угла контакта;

R – радиус сферы. [5]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тебекин, М.Д. Испытания шаровых шарниров на износ [Текст] / М.Д. Тебекин, А.А. Катунин, А.Н.Новиков // Мир транспорта и технологических машин. - Орел, 2011
2. Ахмадимов, Р.М. Новый подход в конструировании шарового шарнира подвески автомобиля [Текст] / Р.М. Ахмадимов, Н.М. Филькин // Современные наукоемкие технологии - Ижевск, 2009. № 4. С. 32-34.
3. Фролов, А. М. Совершенствование системы проектирования элементов сферических шарниров с учетом реновационных мероприятий в их полном жизненном цикле [Текст] / А. М Фролов. ГОУ ВПО "Камский государственный политехнический институт, Набережные Челны, 2004.- С. 6.
4. Каргин, А. А. Анализ исследования шаровых шарниров в подвеске автомобиля [Текст] / А. А. Каргин, М. В. Косаров, А. А. Войнов - «Пензинский государственный университет», Пенза, 2008 С.68-69.
5. Кузьменко, А. Г. Расчет и повышение износостойкости шаровых шарниров рулевого управления транспортных машин [Текст] / А. Г. Кузьменко - «Хмельницкий национальный университет», Хмельницк, 2009.

Радченко Сергей Юрьевич

Госуниверситет – УНПК

Адрес: г. Орел, ул. Московская, 77

Д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе

Тел. +7(8462)419841

E-mail: sapr@ostu.ru

Новиков Александр Николаевич

Госуниверситет – УНПК

Адрес: г. Орел, ул. Московская, 77

Д-р техн. наук, профессор, зав.кафедрой «Сервис и ремонт машин»

Тел. +7(4862)419877

E-mail: tmsi@ostu.ru

Катунин Андрей Александрович

Госуниверситет – УНПК

Адрес: г. Орел, ул. Московская, 77

Канд. техн. наук, доцент. кафедры «Сервис и ремонт машин»

Тел. +7(915)5080508

E-mail: aak808@yandex.ru

Тебекин Максим Дмитриевич

Госуниверситет – УНПК

Адрес: г. Орел, ул. Московская, 77

Аспирант кафедры «Сервис и ремонт машин»

Тел. +7(920)8294998

E-mail: tebekin_maksim@mail.ru

S. YU. RADCHENKO, A. N. NOVIKOV, A. A. KATUNIN, M. D. TEBEKIN

ANALYSIS OF TYPES OF DAMAGES OF SPHERICAL HINGES

In article questions of appointment and the device of spherical hinges of the various types used in a forward suspension bracket of modern cars are considered. The reasons of loss of operability of spherical hinges, and as processes occurring in a contact spot between the polymeric loose leaf and the case of the spherical hinge. The analysis of types of damages of spherical hinges on an example of party of hinges developed the resource is made. Theoretical bases of a test method of hinges on wear are described. Contact pressure during the initial moment of operation are defined, the solution of a task on contact interaction of a rigid sphere and the elastic spherical loose leaf in a rigid spherical holder is carried out.

Keywords: spherical hinge, spherical finger, loose leaf, protective cover, corrosion, polymeric material, destruction, tests for wear.

BIBLIOGRAPHY

1. Tebekin, M.D. Ispytaniya sharovykh sharnirov na iznos [Tekst] / M.D. Tebekin, A.A. Katunin, A.N.Novikov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel, 2011
2. Akhmadimov, R.M. Novyy podkhod v konstruirovani sharovogo sharnira podveski avtomobilya [Tekst] / R.M. Akhmadimov, N.M. Fil'kin // Sovremennye naukoemkie tekhnologii - Izhevsk, 2009. № 4. S. 32-34.
3. Frolov, A. M. Sovershenstvovanie sistemy proektirovaniya elementov sfericheskikh sharnirov s ucheto renovatsionnykh meropriyatiy v ikh polnom zhiznennom tsikle [Tekst] / A. M Frolov. GOU VPO "Kamskiy gosudarstvennyy politekhnicheskiy institut, Naberezhnye Chelny, 2004.- S. 6.
4. Kargin, A. A. Analiz issledovaniya sharovykh sharnirov v podveske avtomobilya [Tekst] / A. A. Kargin, M. V. Kosarov, A. A. Voynov - "Penzinskiy gosudarstvennyy universitet", Penza, 2008 S.68-69.
5. Kuz'menko, A. G. Raschet i povyshenie iznosostoykosti sharovykh sharnirov rulevogo upravleniya transportnykh mashin [Tekst] / A. G. Kuz'menko - "Hmel' nitskiy natsional'nyy universitet", Hmel' nitsk, 2009.

Novikov Alexander Nikolaevich

State University - UNPK

Address: Eagle Street. Moscow, 77

Dr. Sc., professor, head of the department "Service and repair of machinery"

Tel. +7(4862)419877

E-mail: tmsi@ostu.ru

Radchenko Sergey Yur'evich

State University - UNPK

Address: Eagle Street. Moscow, 77

Dr. Sc., professor

Tel. +7(4862)419877

E-mail: sapr@ostu.ru

Katunin Andrey Alexandrovich

State University - UNPK

Address: Eagle Street. Moscow, 77

Candidate, technical. associate professor.

Tel. +7(915)5080508

E-mail: aak808@yandex.ru

Tebekin Maxim Dmitrievich

State University - UNPK

Address: Eagle Street. Moscow, 77

Postgraduate of "Service and repair of machines"

Tel. +7(920)8294998

E-mail: tebekin_maksim@mail.ru

К. Л. СЛИТНИКОВ, И. К. ДАНИЛОВ, Ю. И. ДАНИЛОВ

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗНОСА ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДИЗЕЛЕЙ

В линейке диагностических устройств цилиндропоршневой группы ДВС недостаточно эффективных, мобильных средств безразборной оценки технического состояния. Предлагается измерение температуры такта сжатия устройством, выполненным из форсунки с встроенной термопарой. Снижение температуры такта сжатия свидетельствует об утечках в цилиндропоршневой группе из-за износа и может быть дополнительным диагностическим параметром при оценке ресурса ДВС.

Ключевые слова: двигатель, термопара, форсунка, температура, камера сгорания, диагностика, цилиндропоршневая группа.

В настоящее время устройства для оценки износа цилиндропоршневой группы дизелей недостаточно представлены на рынке диагностического оборудования, особенно ощущается нехватка мобильных средств диагностики. На кафедре «Автомобили и двигатели» Саратовского ГТУ ведется разработка устройств для диагностики систем ДВС без разборки. В 2010 году нами получен патент на ПМ № 95827 для диагностирования технического состояния цилиндропоршневой группы (ЦПГ) по температуре в камере сгорания. В дизелях температура такта сжатия является важным фактором, поскольку влияет на его эффективность и экономичность. Известно, что в процессе эксплуатации автомобиля по мере износа его деталей и агрегатов возрастает себестоимость перевозок. Однако традиционное определение степени износа путем разборки приводит к последующему ускоренному износу деталей и поэтому применяется в исключительных случаях.

На практике степень износа двигателя и потребность в его ремонте устанавливают по ряду косвенных признаков, таких как расход топлива, моторного масла, падение давления в системе смазки, падение мощности. Очевидно, что точность диагноза по указанным показателям относительна, и не позволяет определить состояние и степень изношенности цилиндропоршневой группы (ЦПГ) двигателя, дать объективную оценку проведенного ремонта или же снабдить информацией, позволяющей прогнозировать остаточный ресурс ЦПГ. Нами выдвинута рабочая гипотеза, заключающаяся в том, что при износе сопряжения ДВС «цилиндр-поршневое кольцо» снижается температура, при которой происходит возгорание топливно-воздушной смеси, так как часть газов прорывается в картер двигателя, снижая давление, а, следовательно, и температуру в камере сгорания. То есть, измеряя температуру в камере сгорания (без подачи топливно-воздушной смеси), можно судить о состоянии рассматриваемого сопряжения.

Сопряжения цилиндр-поршневое кольцо относится к саморазгружающимся, так как давление на поверхности трения по мере износа сопряжения уменьшается в процессе эксплуатации. Износ цилиндров и поршневых колец при одинаковых внешних условиях работы зависит от действия двух основных факторов: давления газов и упругости поршневых колец. Падение мощности двигателя происходит из-за уменьшения уплотняющей способности поршневых колец, герметичности камеры сгорания, упругости поршневого кольца и изменения формы гильзы. Чем больше отклонение формы гильзы в поперечном сечении от цилиндрической и чем меньше упругость поршневого кольца, тем больше изменяется прилегаемость кольца к гильзе. Площадь просвета между кольцом и гильзой пропорциональна износу гильзы на величину d , тогда зазор в стыке кольца увеличится на величину πd , упругость поршневого кольца уменьшится на величину коэффициента пропорциональности $b\pi d$. Поэтому, можно говорить о линейности зависимости прилегаемости кольца (герметичности камеры сгорания) и его упругостью (износом гильзы). По экспериментальным данным [1], давление сжатия и сгорания уменьшается пропорционально площади просветов, уменьшается

температура такта сжатия. Такие закономерности справедливы при величине относительной площади просвета до 10%.

Но, интенсивность изнашивания сопряжений цилиндр-поршневое кольцо в зависимости от пробега не остается постоянной, поэтому [1]:

$$S = \alpha_0(1 - e^{-bl})/b, \quad (1)$$

где S - увеличение зазора в стыке кольца при износе поршневого кольца и цилиндра по радиальной толщине;

α_0 -интенсивность изнашивания поршневого кольца;

b –параметр, характеризующий изменение интенсивности изнашивания на единицу износа (коэффициент интенсификации изнашивания);

l –пробег.

Толщина поршневых колец и гильзы экспоненциально убывает в процессе эксплуатации, закономерность изменения интенсивности изнашивания в зависимости от пробега [1]:

$$\alpha = \alpha_0 e^{-bl}, \quad (2)$$

где α_0 - интенсивность изнашивания в конце приработки, приведенная к началу эксплуатации.

С другой стороны, при увеличении зазоров в сопряжении цилиндр-поршневое кольцо уменьшается температура такта сжатия из-за снижения компрессионных свойств. Зависимость интенсивности изнашивания от температуры является весьма сложной, однако, с достаточной для практических целей точностью ее можно принять линейной [1]:

$$\alpha = \alpha_0 + b^* t, \quad (3)$$

где α_0 - интенсивность изнашивания при повышении температуры от начальной;

b^* – параметр, характеризующий изменение температуры камеры сгорания на единицу износа;

t – разница температуры внешней среды и температуры камеры сгорания без подачи топлива.

Приравняв (3) и (2) относительно α получим зависимость износа сопряжения цилиндр-поршневое кольцо от температуры камеры сгорания:

$$\alpha_0 = b^* t / (e^{-bl} - 1) \quad (4)$$

То есть, имеется аналитическая база для измерения температуры камеры сгорания и увязка с износом сопряжения цилиндр-поршневое кольцо. Поэтому, следующим этапом стала разработка диагностического устройства ДВС и оценка его технического состояния по температуре камеры сгорания без впрыска топлива. В настоящее время известно практически единственное устройство для безразборной оценки цилиндропоршневой группы ДВС, которым является компрессометр. Манометр устройства смонтирован в корпусе, закрепляемом на проверяемом ДВС вместо форсунки или свечи зажигания. При проверке двигатель проворачивают стартером, и манометр измеряет давление, создаваемое в камере сгорания. Однако данный компрессометр характеризуется невысокой точностью измерения, обусловленной влиянием не герметичности клапанов на величину давления в конце сжатия, а также зависимостью давления от частоты вращения коленчатого вала. Кроме того, прибор достаточно сложен конструктивно, неудобен в работе, легко повреждается и требует высокой квалификации оператора при его эксплуатации.

Общий вид устройства для диагностирования ЦПГ представлен на рисунке 1. Устройство содержит термопару 1, закрепленную в корпусе 2. В качестве корпуса может быть ис-

пользован корпус штатной форсунки конкретного ДВС или свечи зажигания, что обеспечивает легкоъемное, но герметичное крепление к двигателю. При этом термопара крепится к части корпуса устройства, находящейся в камере сгорания 3 ДВС. Термопара 1 с помощью подсоединенного к ней провода, проложенного в канале 4 корпуса 1, связана с блоком регистрации 5, размещаемом в любом удобном для обозрения месте. Блок регистрации включает цифровой преобразователь сигнала от термопары в единицы температуры.

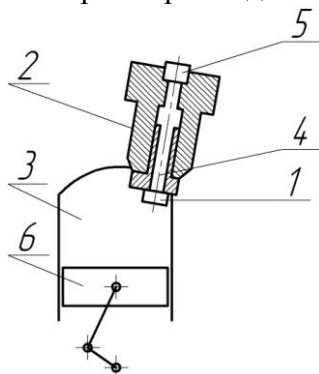


Рисунок 1 - Устройство диагностики ДВС:

1- термопара; 2 – корпус; 3 – камера сгорания; 4 – канал; 5 – блок регистрации; 6 – поршень

При работе устройства проверяемый двигатель запускают в режиме холостого хода (850 об/мин.), при этом воздух в камере сгорания 3 нагревается примерно до температуры 700°С. При снижении температуры на 5% и более (для ДВС КамАЗ это 35 град. С) от нормативных значений рабочих температур (для ДВС КамАЗ это 700 град. С), надо провести углубленное диагностирование ЦПГ и при необходимости - замена поршневых колец на новые, для исключения истечения и прорыва газов в картер ДВС и снижения температуры горения рабочей смеси.

Расширяясь, нагретый воздух истекает из камеры сгорания тем интенсивнее, чем больше износ в сопряжении между поршневыми кольцами и цилиндром, вследствие чего температура воздуха в камере сгорания падает. Значение температуры камеры сгорания можно с достаточной степенью точности преобразовать в величины износа цилиндропоршневой группы по предлагаемой зависимости (4) что может служить дополнительным диагностическим параметром технического состояния ЦПГ ДВС.

Таким образом, предлагаемое устройство позволит решить проблему нехватки мобильных диагностических средств и качественно определить состояние ЦПГ ДВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонькин, Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Ф. Н. Авдонькин. - М.: Транспорт, 1985. - 215 с.

Слитников Константин Леонидович

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Адрес: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая 77

Аспирант кафедры «Автомобили и двигатели»

Тел. +7(8452)998746

E-mail: avd@sstu.ru

Данилов Игорь Кеворкович

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Адрес: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая 77

Д-р техн. наук, зав. кафедрой «Автомобили и двигатели»

Тел. +7(8452)998746

E-mail: danilov@sstu.ru

Данилов Юрий Игоревич

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Адрес: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая 77

Студент автомеханического факультета
Тел. +7(8452)370304
E-mail: dankostart@mail.ru

K. L. SLITNIKOV, I. K. DANILOV, U. I. DANILOV

RESEARCH AND DEVELOPMENT UNIT BASIS FOR EVALUATION OF WEAR PISTON OF DIESEL ENGINES

Within diagnostic devices of cylinder and piston group of the internal combustion engine (ICE) there are not enough effective and mobile devices for the estimation of nondemountable technical condition of ICE. It is supposed that the temperature measuring of the compression stroke will be done with a device made of jet apparatus with built-in thermocouple. The reduction of the temperature of the compression stroke indicates the effluxes within the cylinder and piston group because of the wear and may be done with the additional diagnostic parameter at the estimation of the ICE resource.

Keywords: engine, thermocouple, jet apparatus, combustion chamber, diagnostics, cylinder and piston group.

BIBLIOGRAPHY

1. Avdon`kin, F. N. Teoreticheskie osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley [Tekst]: Ucheb. po-sobie dlya vuzov / F. N. Avdon`kin. - M.: Transport, 1985. - 215 s.

Slitnikov Konstantin Leonidovich

Saratov State Technical University, Gagarin Y.
Address: 410054, g. Saratov, ul. Polytechnique 77
Graduate student of "Cars and Engines"
Tel. +7(8452)998746
E-mail: avd@sstu.ru

Danilov Igor Kevorkovich

Saratov State Technical University, Gagarin Y.
Address: 410054, g. Saratov, ul. Polytechnique 77
Dr. tech. Sciences, Head. Chair of "Cars and Engines"
Tel. +7(8452)998746
E-mail: danilov@sstu.ru

Danilov Yuri Igorevich

Saratov State Technical University, Gagarin Y.
Address: 410054, g. Saratov, ul. Polytechnique 77
Automotive student faculty
Tel. +7(8452)370304
E-mail: dankostart@mail.ru

**Вашему вниманию представляется учебное пособие
«ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА
СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ»
под редакцией канд. техн. наук, доц. Н. А. Давыдова**

В пособии приведены основные положения по формированию предприятий автомобильного транспорта как основы производственно-технической инфраструктуры сервисного обслуживания автомобилей. Рассмотрены методики технологического расчета станций технического обслуживания, автозаправочных станций и автостоянок. Отражены особенности формирования производственно-технической базы автотранспортных предприятий. Уделено внимание оснащению предприятий технологическим оборудованием, его конструкции, работе, размещению и обслуживанию.

*Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия»
www.academia-moscow.ru*

УДК 629. 113. 004

А. С. ИВАНОВ, В. В. ЛЯНДЕНБУРСКИЙ, Ю. В. РОДИОНОВ, Е. В. КРАВЧЕНКО

ВИРТУАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОДИАГНОСТИКИ

В процессе изучения диагностического оборудования для обучения приемам работы целесообразно использовать виртуальные тренажеры – компьютерные программы, имитирующие технологический процесс, т.к. использование дорогостоящего оборудования в учебном процессе сопряжено со значительными эксплуатационными расходами. Моделирование технического состояния осуществляется путем задания параметрам, характеризующим работоспособность элементов двигателя, определенных значений с помощью специального редактора. Созданная виртуальная модель VKAD-300 воспроизводит практически все действия, выполняемые мастером-диагностом при определении технического состояния двигателя, имеет базу данных по диагностическим параметрам легковых и грузовых автомобилей различных марок, а также данные об автомобильных двигателях.

Ключевые слова: Автомобиль, технологическое оборудование, диагностирование, моделирование, осциллограмма.

Техническое диагностирование автомобилей и их отдельных агрегатов направлено в целом на определение технического состояния, поиск и локализацию места отказа или неисправности, прогнозирование остаточного ресурса или вероятности безотказной работы на задаваемых интервалах наработки.

Для успешного осуществления указанных задач проводят определенные работы по разработке диагностического обеспечения, повышению контролепригодности и установлению показателей и характеристик процессов диагностирования.

Основные навыки работы с технологическим оборудованием студенты получают во время выполнения лабораторных работ. Однако при этом возникают сложности, определяемые особенностями оборудования для ТО, диагностирования автомобилей и текущего экономического положения в стране.

Применяемое оборудование весьма дорогостоящее (60 и более тысяч рублей), количество рабочих мест не превышает 3-4. Это приводит к тому, что выполнить конкретные действия, согласно технологии проведения ТО или диагностирования автомобиля на оборудовании, удастся далеко не всем студентам. В основном они получают знания, пассивно наблюдая за использованием оборудования учебным мастером или преподавателем. Применение постового метода проведения занятий ограничивается недостаточным количеством учебных мастеров, особенно при небольшой численности студентов на потоке.

В создавшейся ситуации наиболее эффективным решением является моделирование процессов технического обслуживания и диагностирования на ЭВМ. Это позволит каждому студенту выполнить весь алгоритм лабораторной работы, индивидуально работая с компьютерной моделью того или иного оборудования.

При разработке данных моделей следует обеспечить:

- разнообразие вариантов, которые требуется решить при ТО и диагностировании рассматриваемого агрегата автомобиля, с возможностью их расширения и изменения;
- достаточную приближенность модели к реальному объекту, позволяющую при визуализации процессов выполняемых студентом помочь получить ему представление о реальном процессе;
- регистрацию результатов работы студента и последующей их оценки либо процедурами, встроенными в модель, либо непосредственно преподавателем;
- справочные данные об объекте, средстве и технологии ТО и диагностирования и возможность вызова справки на любом этапе работы с моделью.

В качестве объекта для разработки компьютерной модели был принят известный комплекс автодиагностики КАД-300, являющийся достаточно сложным диагностическим средством, позволяющим замерять более 25 диагностических параметров, использование которо-

го на лабораторных занятиях не обеспечивало активного получения навыков всеми студентами в виду вышеизложенных причин. Это снижало эффективность значительных капиталовложений в учебный процесс.

Созданная виртуальная модель VKAD-300, воспроизводит все необходимые действия, выполняемые диагностом при оценке технического состояния карбюраторного двигателя.

Использование дорогостоящего оборудования в учебном процессе сопряжено со значительными эксплуатационными расходами. Поэтому для целей обучения приемам работы с подобного рода средствами целесообразно использовать виртуальные тренажеры – компьютерные программы, имитирующие технологический процесс.

В качестве объекта моделирования был принят комплекс автодиагностики КАД-300 – один из отечественных компьютерных мотор-тестеров, позволяющий измерять более 20 параметров на различных режимах работы двигателя и поэтому являющийся наиболее информативным средством оценки технического состояния автомобильных двигателей.

Из главного меню программы (рис.1) выбирается автомобиль, который предстоит диагностировать, с заранее смоделированным техническим состоянием двигателя.

Моделирование технического состояния осуществляется путем задания параметрам, характеризующим работоспособность элементов двигателя, определенных значений с помощью специального редактора.

Затем оператор подключает датчики и жгуты виртуального комплекса VKAD-300 к электросистеме двигателя автомобиля (рис.2), используя пункт меню «Подключение датчиков». Все действия выполняются с помощью манипулятора «мышь» и сопровождаются звуковыми сигналами и текстовыми сообщениями о положительном или отрицательном результате выполненного действия. диагностировать обучающимся.

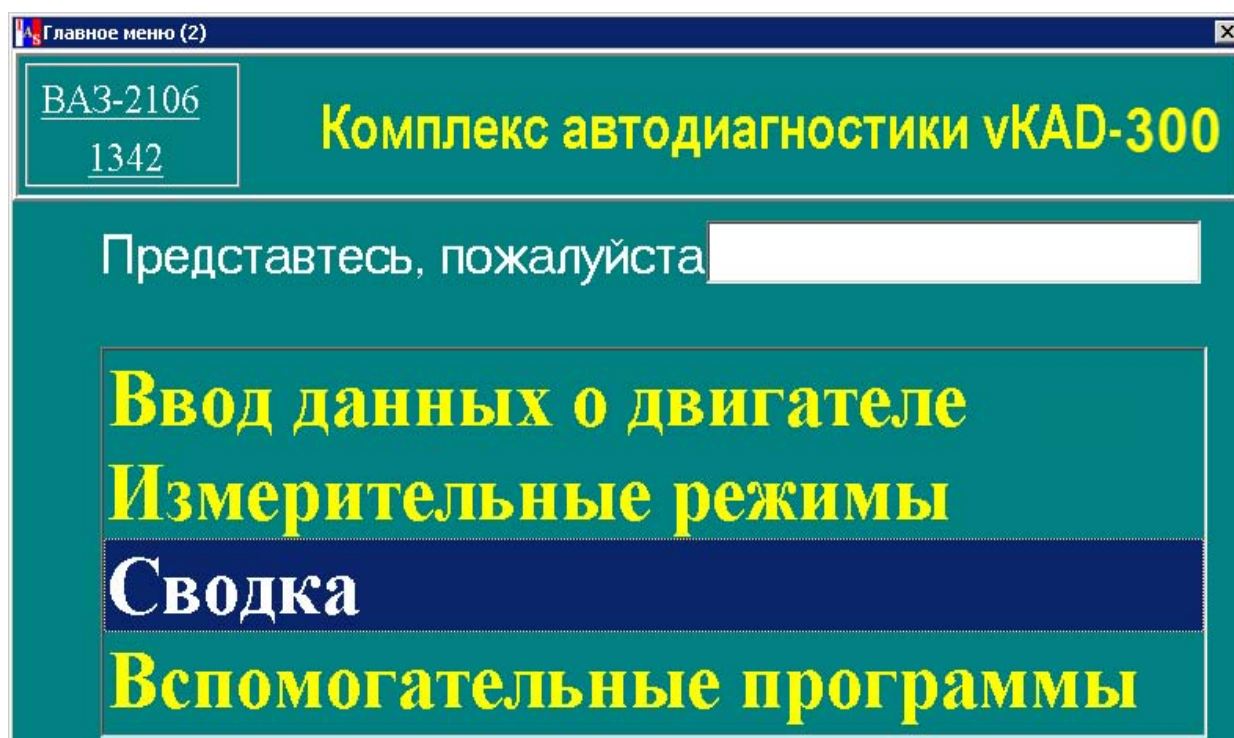


Рисунок 1 - Главное меню программы

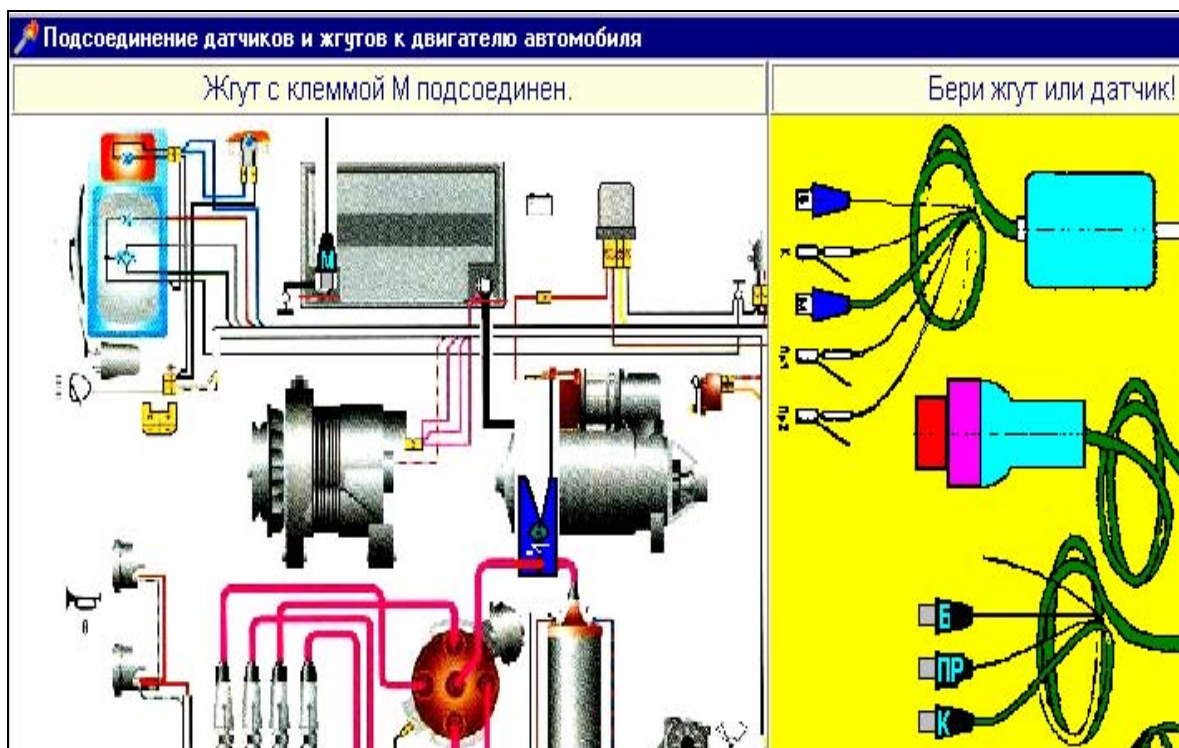


Рисунок 2 - Фрагмент окна «Подсоединение датчиков и жгутов комплекса»

После правильного подключения к автомобилю модель позволяет оператору произвести имитацию диагностирования, подобно тому, как это происходит при использовании комплекса КАД-300, выбирая соответствующие режимы: режим пуска, баланс мощности, цилиндрический баланс, батарея, первичная цепь, вторичная цепь, опережение, прерыватель.

Различие состоит лишь в том, что оператор выполняет не только действия с КАД-300, но и выводит двигатель на заданный режим работы. Для этого предусмотрен вход в салон автомобиля (рис.3), что обеспечивается нажатием на пункт меню «Салон» с возможными последующими действиями в салоне автомобиля (окно «В салоне автомобиля»): запуск двигателя (нажатие на замок зажигания) и изменение числа оборотов коленчатого вала двигателя (перемещение ползунка в зоне расположения педали управления дроссельной заслонкой).

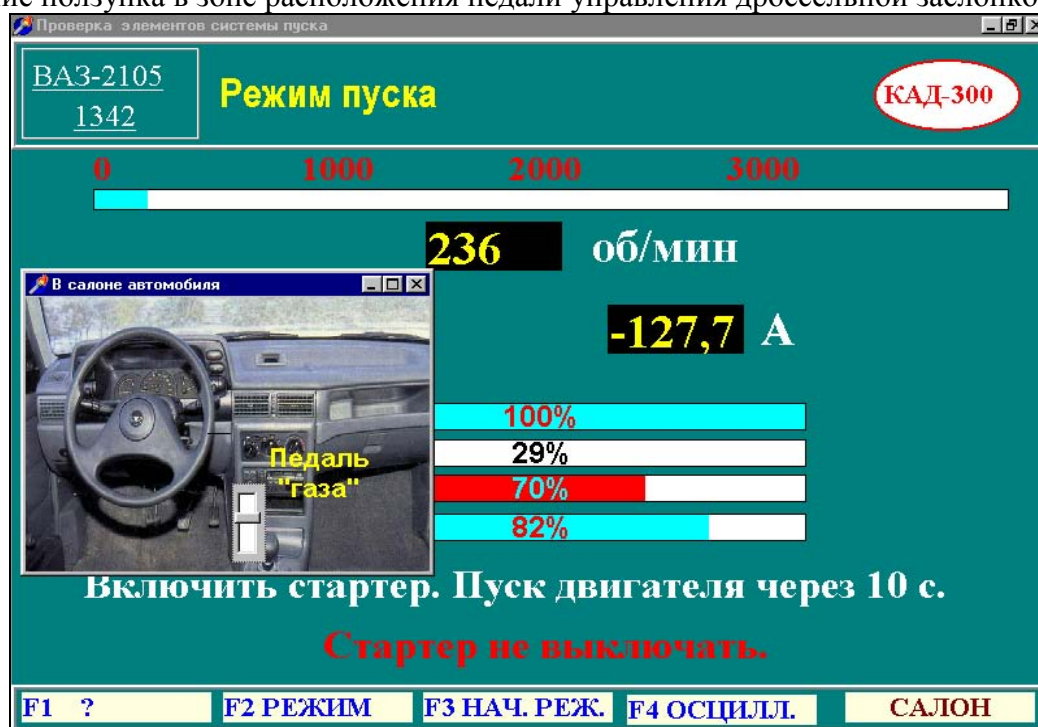


Рисунок 3 - Окно с режимом «Пуск двигателя»

При выполнении действий с моделью VKAD-300, согласно технологии диагностирования в памяти программы запоминаются значения диагностических параметров, которые, как и в комплексе КАД-300, можно распечатать, используя пункт «Сводка» главного меню (рис.4).

Кроме количественной оценки измеряемых параметров программа воспроизводит осциллограммы различных процессов в двигателе (рис.5). Для этого были разработаны математические модели пульсации силы тока системы пуска, изменения напряжения первичной, вторичной цепи системы зажигания и других параметров при различных технических состояниях компонентов диагностируемых систем.

Таким образом, в полном распоряжении обучаемого весь арсенал возможностей современного комплекса автодиагностики КАД-300. Он может не только воспроизвести действия, но и получить конкретные значения диагностических параметров, что позволит сделать соответствующее заключение о работоспособности систем двигателя.

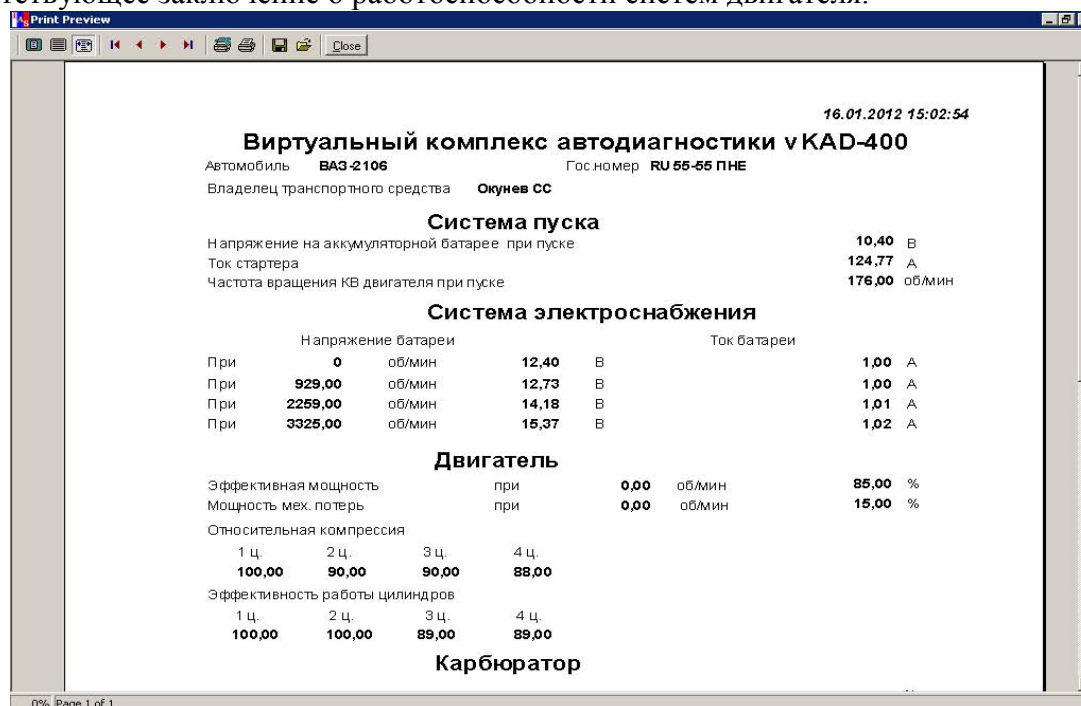


Рисунок 4 - Окно с диагностической картой, подготовленной к печати



Рисунок 5 - Осциллограмма изменения напряжения первичной цепи системы зажигания

Созданная виртуальная модель VKAD-300 воспроизводит практически все действия, выполняемые мастером-диагностом при определении технического состояния карбюраторного двигателя, имеет базу данных по диагностическим параметрам легковых и грузовых автомобилей различных марок, а также данные об автомобильных двигателях.

Развитие компьютерного диагностического оборудования позволит существенно ускорить процесс обучения. После этого своеобразного тренинга, обучаемый более осознанно сможет выполнить диагностирование двигателя комплексом КАД-300, затратив на это не только меньше времени, но и топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровский, А. Н. Программирование в Delphi 2005 старт [Текст]/А. Н. Боровский. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 448 с.
2. Лянденбургский, В. В. Техническая эксплуатация автомобилей. Диагностирование автомобилей [Текст]: учеб. пособие / В. В. Лянденбургский, А. А. Карташов, А. С. Иванов. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 288 с.

Лянденбургский Владимир Владимирович

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Адрес: 440028, Российская Федерация, г. Пенза, Ул. Титова, 28
Канд. техн. наук, доцент
Тел. +7(8412)498330
Email: dekauto@pguas.ru

Родионов Юрий Владимирович

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Адрес: 440028, Российская Федерация, г. Пенза, Ул. Титова, 28
Д-р техн. наук, профессор
Тел. +7(8412)498330
Email: dekauto@pguas.ru

Иванов Александр Семенович

Пензенская сельскохозяйственная академия
Адрес: 440028, Российская Федерация, г. Пенза, Ул. Титова, 28
Канд. техн. наук, доцент
Email: ias55@mail.ru

Кравченко Евгения Владимировна

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Адрес: 440028, Российская Федерация, г. Пенза, Ул. Титова, 28
Студент
Тел. +7(8412)498330
Email: dekauto@pguas.ru

V. V. LJANDENBURSKY, Y. V. RODIONOV, A. S. IVANOV, E. V. KRAVCHENKO

VIRTUAL COMPLEX OF AUTODIAGNOSTICS

In the course of studying of the diagnostic equipment for training it is expedient to working methods to use virtual training apparatus – the computer programs simulating technological process since use of the expensive equipment in educational process is interfaced to considerable working costs. Modeling of a technical condition is carried out by the task to the parameters characterizing working capacity of elements of the engine, certain values by means of the special editor. Created virtual model VKAD-300 reproduces almost all actions which are carried out by the master-diagnosticsian at definition of a technical condition of the engine, has a database on diagnostic parameters automobile and lorries of various marks, and also the data about automobile engines.

Keywords: the Car, the process equipment, diagnosing, modeling, the oscillogram.

BIBLIOGRAPHY

1. Borovskiy, A. N. Programmirovaniye v Delphi 2005 start [Tekst]/A. N. Borovskiy. - SPb.: BHV-Peterburg, 2005. - 448 s.

2. Lyandenburskiy, V. V. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley. Diagnostirovanie avtomobiley [Tekst]: ucheb. posobie / V. V. Lyandenburskiy, A. A. Kartashov, A. S. Ivanov. - Penza: PGUAS, 2011. - 288 s.

Ljandenbursky Vladimir Vladimirovich

The Penza state university of architecture and building
Cand.Tech.Sci., the senior lecturer
Tel. +7(8412)498330
Email: dekauto@pguas.ru

Rodionov Yury Vladimirovich

The Penza state university of architecture and building
Dr.Sci.Tech., the professor
Tel. +7(8412)498330
Email: dekauto@pguas.ru

Ivanov Alexander Semenovich

Penza agricultural academy
Cand.Tech.Sci., the senior lecturer
Email: ias55@mail.ru

Kravchenko Evgenie Vladimirovna

The Penza state university of architecture and building
The student
Tel. +7(8412)498330
Email: dekauto@pguas.ru

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе 2-ой
международной научно-практической
интернет-конференции

**«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИННОВАЦИОННОГО
РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА»,**

которая будет проводиться в период
со 2 апреля - 25 мая 2012 года

<http://gu-unpk.ru/chair/sirm/science>

А. В. КОЛОМЕЙЧЕНКО

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ МДО,
В РЕЖИМЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ**

В работе представлены результаты исследования топографии поверхности покрытия, сформированного микродуговым оксидированием (МДО), на сканирующем зондовом микроскопе в режиме атомно-силовой микроскопии.

Ключевые слова: покрытие, МДО, сквозная пора, топография.

Немаловажное значение среди других свойств покрытий занимает их пористость, которая образуется при горении микродуговых разрядов (МДР). Она включает в себя сквозную и замкнутую (тупиковую часть открытой пористости). Причём последняя образуется в результате термолиза компонентов электролита и оплавления МДР их продуктов (например, SiO_2), в результате чего происходит частичное заполнение существующих сквозных пор. После перехода МДР в другое место пора, в которой он функционировал, превращается в канал с кратероподобным оплавленным устьем на внешней стороне покрытия (рисунок 1) [1].

На пористость покрытий существенное влияние оказывают плотность тока, а также состав и температура электролита [2, 3, 4]. При температуре электролита 10...20°C сформированный упрочнённый слой имеет минимальную пористость, а при её увеличении до 50...60°C пористость существенно возрастает, главным образом, за счёт растворения электролитом слабых мест в покрытии, в основном в зонах замкнутых пор [1, 3]. Для химически инертных покрытий, сформированных МДО, основным показателем их коррозионной стойкости и жаростойкости будет именно сквозная пористость. В связи с этим, для использования данных покрытий в качестве защитных от воздействия агрессивных сред остро встает вопрос их получения с минимально возможной сквозной пористостью при изготовлении и ремонте изделий различных отраслей машиностроения.

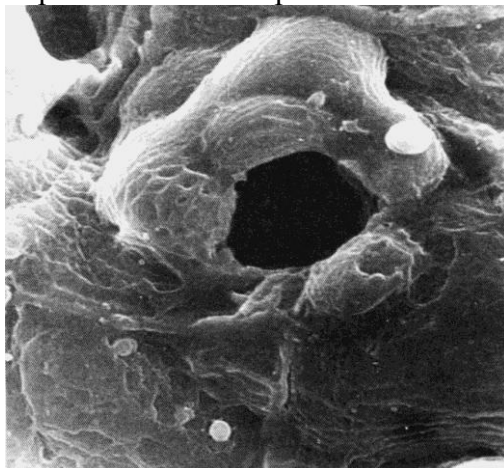


Рисунок 1 - РЭМ-фотография поры с внешней стороны покрытия, 10000^x

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.

Для проведения исследований использовали сканирующий зондовый микроскоп Solver Next фирмы NT-MDT (рис. 2). Микроскоп позволяет проводить исследование топографии поверхности в режиме атомно-силовой микроскопии. Для работы с микроскопом используется программа Nova P9 фирмы NT-MDT. Исследования проводились в научно-исследовательском центре по нанотехнологиям и наноматериалам в АПК ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии.

Зондовый датчик, применяемый в микроскопе при атомно-силовой микроскопии, состоит из металлического чипа, закрепляемого в измерительной головке, кремниевого кантилевера и расположенного на нём кремниевого зонда (рис. 3). Отклонения кантилевера, возникающие за счёт взаимодействия зонда с веществом, регистрируются лазерной системой,

для чего он имеет зеркальное покрытие. Отклонения лазерного луча регистрируются диодом, сигнал которого за счёт обратной связи приводит к деформации пьезоэлементов. В микроскопе Solver Next зонд является неподвижным, а подвод и сканирование производятся пьезоэлементом, который перемещает образец. Исследования можно проводить контактным и полуконтактным методами.

При сканировании методом контактной топографии зонд сближается с образцом, в результате чего кантилевер отклоняется до заданного оператором значения за счёт атомно-силового взаимодействия. При последующем движении зонда относительно образца за счёт неровности последнего угол отклонения кантилевера стремится измениться, но обратная связь поддерживает его постоянным, изменяя расстояние между измерительной головкой и образцом. Изменение данного расстояния принимается за высоту в каждой точке. При использовании полуконтактного метода электрическими импульсами, подаваемыми на чип, создаются колебания кантилевера на резонансной частоте (порядка сотен кГц). При сканировании отслеживается изменение амплитуды колебаний за счёт контакта с веществом по аналогии с контактным методом.



Рисунок 2 – Общий вид сканирующего зондового микроскопа Solver Next

Разрешение, достигаемое с помощью микроскопа Solver Next, равно радиусу острия используемого зонда. Для стандартных кремниевых зондов, которые использовались для исследований, оно равно 10 нм. Максимальный размер сканируемой области в плоскости – 100х100 мкм, максимальный диапазон по высоте – 10 мкм. Размеры исследуемого образца не превышали 20х20х7 мм при массе не более 20 г.

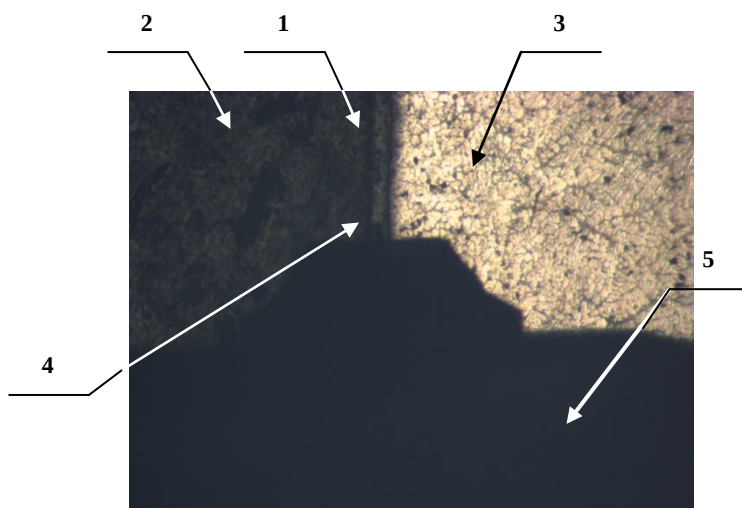


Рисунок 3 – Изображение со встроенной видеокамеры микроскопа, 150^x:

1 – покрытие; 2 – термореактивная пластмасса для заливки шлифов; 3 – алюминиевый сплав; 4 – кантилевер микроскопа; 5 – зондовый датчик микроскопа

Покрyтия формировали в электролите следующего состава: $\text{KOH} = 3 \text{ г/л}$, $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 10 \text{ г/л}$, остальное – дистиллированная вода. Режимы МДО: плотность тока – 20 А/дм^2 , продолжительность окислирования – 2 ч., температура электролита – 20°C , соотношение катодного и анодного токов – 1,0. Исследовалось как внешняя поверхность покpытия, так и поперечный шлифы, из которых изготавливались образцы необходимого размера. Для приготовления поперечных шлифов (рисунок 4) использовали высокоточный отрезной станок Minitom “Struerus”, автоматический электрогидравлический пресс CitoPress-1 “Struerus” и шлифовально-полировальный станок LaboPol-5 “Struerus” (рис. 5-7).



Рисунок 4 – Общий вид поперечных шлифов



Рисунок 5 – Общий вид высокоточного отрезного станка Minitom “Struerus”



Рисунок 6 – Общий вид автоматического электрогидравлического пресса CitoPress-1 “Struerus”



Рисунок 7 – Общий вид шлифовально-полировального станка LaboPol-5 “Struerus”

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Исследования, проведенные в режиме атомно-силовой микроскопии показали, что рельеф внешней поверхности покрытия на плоскости 60 x 60 мкм изменяется от 0 (самые тёмные места) до 3 мкм (самые светлые места). Это обусловлено как рельефом самой подложки, так и процессом формирования покрытия. Отдельные частицы, формирующие покрытие, имеют размеры от 0,5 до 2 мкм (рис. 8 и 10).

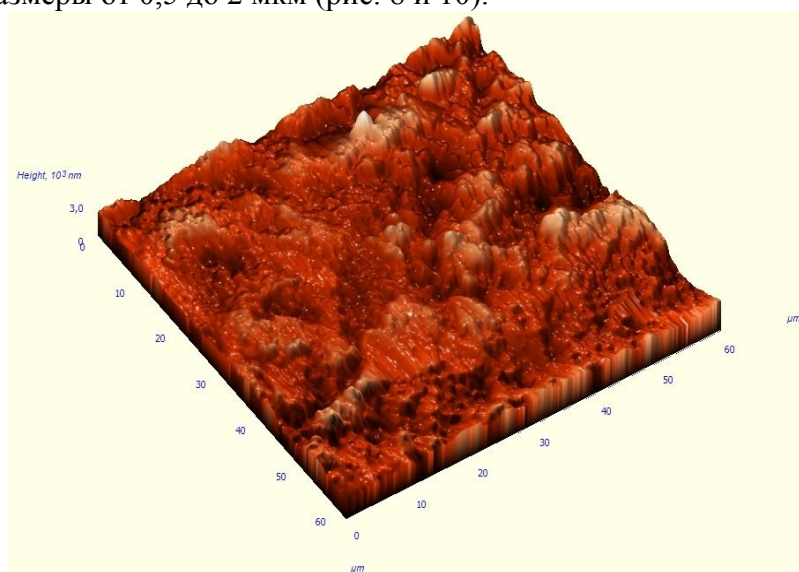


Рисунок 8 – Топография внешней поверхности покрытия на плоскости 60 x 60 мкм

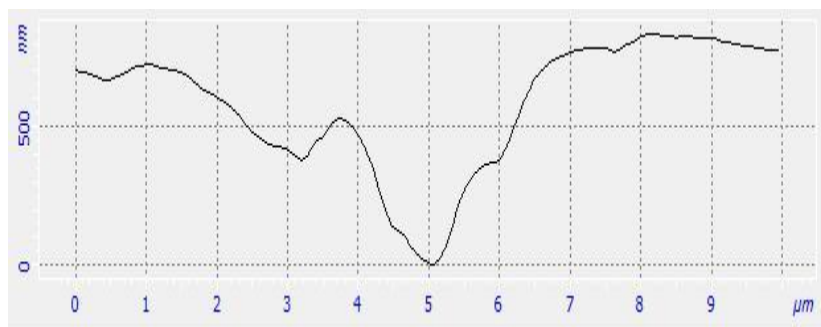


Рисунок 9 – Профиль внешней поверхности покрытия на дистанции 10 мкм в зоне единичной поры

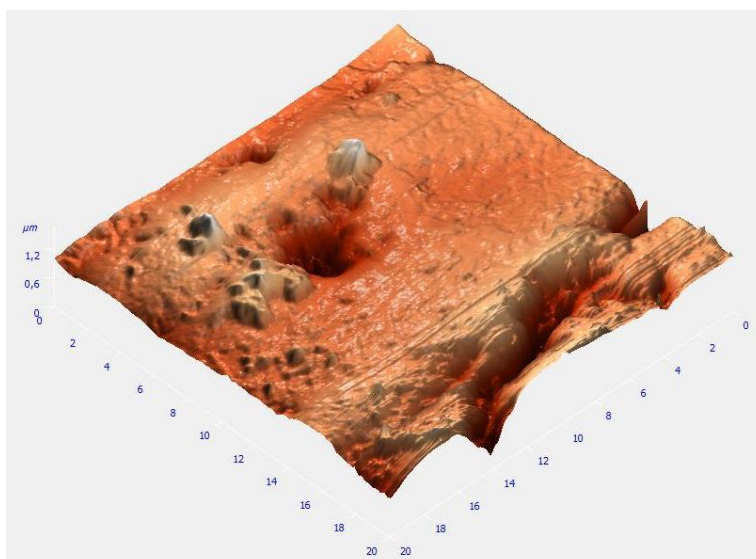


Рисунок 10 – Топография поверхности покрытия с поперечного шлифа на плоскости 20 x 20 мкм

Исследования на поперечных шлифах позволили установить, что покрытие плотное. В нем имеются сквозные и замкнутые поры, причем первые встречаются закупоренными на разном удалении, как от внешней, так и от внутренней сторон покрытия. Форма пор разнообразная, от изометричной до вытянутой. Размеры пор колеблются от 2 до 6 мкм (рис. 9 и 10).

ВЫВОДЫ.

1. С использованием современного оборудования установлено, что рельеф внешней поверхности покрытия изменяется от 0 до 3 мкм. Отдельные частицы, формирующие покрытие, имеют размеры от 0,5 до 2 мкм. Форма пор разнообразная от изометричной до вытянутой. Размеры пор колеблются от 2 до 6 мкм.

2. При использовании указанных в статье состава электролита и режимов МДО сквозная пористость покрытий, сформированных на различных алюминиевых сплавах, не превысит 4%. Это позволит обеспечить высокие защитные свойства для изделий различных отраслей машиностроения, которые эксплуатируются в агрессивных средах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суминов, И. В. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) [Текст] / И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В.Б. Людин [и др.]. - М.: ЭКОМЕТ, 2005. - 368 с.: ил.
2. Батищев, А. Н. Свойства покрытий, сформированных микродуговым оксидированием [Текст] / А. Н. Батищев, А. В. Ферябков, А. Л. Севостьянов // Изв. Орл. гос. техн. ун-та. Сер. Строительство. Транспорт. - Орёл, 2004. - № 1-2. - С. 67-69.
3. Коломейченко, А. В. Влияние режима МДО на плотность покрытий [Текст] / А.В. Коломейченко, Н.С. Чернышов // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2006. - №7. - С.12-14.
4. Новиков, А. Н. Пористость МДО-покрытий на восстановленных поверхностях деталей из алюминиевых сплавов [Текст] / А. Н. Новиков, В. В. Жуков // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2005. - № 6. - С. 7-9.

Коломейченко Александр Викторович

Орловский государственный аграрный университет

Адрес: 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69

Канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Надежность и ремонт машин»

Тел. +7(310)3000232

E-mail: kolom_alla@inbox.ru

A. V. KOLOMEYCHENKO

STUDY OF COATINGS FORMED DHS, MODE ATOMIC FORCE MICROSCOPY

The work presents the topography research results of coating surface being formed by micro arc oxidation (MAO) on scanning probe microscope in the atomic force microscopy mode.

Keywords: coating, micro arc oxidation (MAO), transverse pore, topography.

BIBLIOGRAPHY

1. Suminov, I. V. Mikrodugovoe oksidirovanie (teoriya, tekhnologiya, oborudovanie) [Tekst] / I. V. Su-minov, A. V. Epel'fel'd, V.B. Lyudin [i dr.]. - M.: EKOMET, 2005. - 368 s.: il.
2. Batishchev, A. N. Svoystva pokrytiy, sformirovannykh mikrodugovym oksidirovaniem [Tekst] / A. N. Batishchev, A. V. Feryabkov, A. L. Sevost'yanov // Izv. Orl. gos. tekhn. un-ta. Ser. Stroitel'stvo. Transport. - Oriol, 2004. - № 1-2. - S. 67-69.
3. Kolomeychenko, A. V. Vliyanie rezhima MDO na plotnost' pokrytiy [Tekst] / A.V. Kolomeychenko, N.S. Chernyshov // Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya. - 2006. - №7. - S.12-14.
4. Novikov, A. N. Poristost' MDO-pokrytiy na vosstanovlennykh poverkhnostyakh detaley iz alyuminievykh splavov [Tekst] / A. N. Novikov, V. V. ZHukov // Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya. - 2005. - № 6. - S. 7-9.

Kolomeychenko Alexander

Orel State Agrarian University

Address: 302019, Orel, ul. General Homeland, 69

Candidate tech., Associate Professor, Head. Chair of "Reliability and maintenance of machinery"

Tel. +7(310)3000232

E-mail: kolom_alla@inbox.ru

Вашему вниманию представляется учебное пособие «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ЗАПРАВОЧНЫЕ СТАНЦИИ И КОМПЛЕКСЫ»

**авторов: д-ра техн. наук, профессора А.Н. Новикова
и канд. техн. наук А. Л. Севостьянова**

В пособии приведены основные характеристики автозаправочных станций, рассмотрены вопросы технической эксплуатации автозаправочных станций, их территориального размещения, экологической и пожарной безопасности, а также ремонта технологического оборудования автозаправочных станций.

*Оригинал-макет данного издания является собственностью ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»,
302030, г. Орел, ул. Московская, 65
www.gu-unpk.ru*

Продолжается подписка на журнал «Мир транспорта и технологических машин»

**Подписной индекс журнала:
16376 («Пресса России»)**

**Подписка через редакцию:
(с любого месяца)**

Информация о подписке на нашем сайте

www.gu-unpk.ru

Тел. +7 (4862) 43-48-90

Н. В. ПОЛЯКОВ, Д. А. ПОПОВ, Е. В. СНЯТКОВ

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ТЕПЛОАГРУЖЕННОСТИ ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА ПРИ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННЫХ ТОРМОЖЕНИЯХ

В статье рассматривается вопрос тепловой нагруженности фрикционного контакта при повторно-кратковременных торможениях. Предложен вариант аналитического определения поверхностной температуры с учетом теплоотдачи в окружающую среду.

Ключевые слова: трение, теплонагруженность, поверхностная температура, теплоотдача

Анализ работ в области эксплуатации и исследования тормозных устройств, показывает, что их рабочие характеристики определяются в основном температурным режимом узла трения [1-3]. При этом наиболее изучены тепловые процессы при однократных торможениях.

В настоящей статье сделана попытка построить тепловую модель для повторно-кратковременных торможений, применительно для ленточно-колодочного тормоза с масляным охлаждением.

Такие тормоза хорошо зарекомендовали себя в конструкциях промышленных тракторов Т-330, ДЭТ-250 и др. Основным преимуществом тормозов с масляным охлаждением является высокая износостойкость тормозных накладок (обычно это ФАПМ), возможность располагать тормоза в одном картере с шестернями, подшипниками и смазывать их из одной масляной ванны и др. Рабочий диапазон температур на поверхности трения ограничен допустимой максимальной температурой применяемого масла. В связи с этим очень важно знать теплонагруженность пары трения при возможных режимах работы тормозов.

Тепловая динамика трения и износа (ТДТИ) разработанная академиком Чичинадзе А. В. и его школой позволяет уже на стадии проектирования и доводки фрикционных узлов оценивать теплонагруженность фрикционных пар [1].

В условиях эксплуатации промышленного трактора, как и при стендовых испытаниях, процесс нагрева тормозов происходит в повторно-кратковременном режиме трения, представляющим собой сложную периодическую функцию $q(t)$, которую в общем случае можно выразить так (1):

$$q(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \frac{\pi n t}{T} + B_n \sin \frac{\pi n t}{T}, \quad (1)$$

где $A_0 = \frac{2}{T} \int_0^T q(t) dt;$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T q(t) \cos \frac{\pi n t}{T} dt;$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T q(t) \sin \frac{\pi n t}{T} dt$$

где A_0, B_0 – условные переменные;

$q(t)$ – плотность теплового потока, Вт/м²;

T – период между двумя торможениями, с;

n – количество торможений;

t – текущее время, с.

Выделяемое в процессе торможения тепло, распределяется между лентой и барабаном, а также частично поглощается смазкой, присутствующей на рабочих поверхностях тормоза (конвективной теплоотдачей в процессе торможения можно пренебречь) [1], формула (2).

$$\alpha_n + \alpha_o + \alpha_m = 1, \quad (2)$$

где $\alpha_l, \alpha_b, \alpha_m$ – коэффициенты распределения тепловых потоков (доли теплоты торможения), поглощаемые лентой, барабаном и маслом соответственно.

Расчет коэффициента тепловых потоков для двух материалов пар трения достаточно полно изучен в работе [1].

Для барабана, например (3),

$$q_b(t) = \frac{N_T(t)\alpha_b}{F}, \quad (3)$$

где N – параметр мощности, развиваемой в процессе торможения, Вт;

F – номинальная площадь фрикционного контакта в тормозе, m^2 .

В связи с кратковременностью цикла торможения, который в нашем случае составляет доли секунды ($0 < t_T < 1$), эффективная глубина проникновения тепла от поверхности трения $b_{эф}$ для стального барабана составляет всего несколько миллиметров за цикл [1], формула (4).

$$(b_{эф} \leq 1,73\sqrt{a^2 \cdot t_T}, \quad (4)$$

где $b_{эф}$ – эффективная глубина проникновения тепла от поверхности трения, м;

a – коэффициент теплопроводности, m^2/c ;

t_T – поверхностная температура, $^{\circ}C$.

Поэтому в последующем решении тормозной барабан будем рассматривать как сплошной цилиндр с теплоизолированными торцами.

Такое допущение вполне правомерно и используется рядом авторов [3].

Задача сводится к следующему: требуется найти функцию $T(r, t)$, удовлетворяющую уравнению теплопроводности (5):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (5)$$

при $(0 \leq t_T \leq t; 0 \leq r \leq R)$, граничному условию:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R} = -\frac{q(t)}{\lambda},$$

и начальному условию $T(0, r) = 0$.

После целого ряда преобразований, окончательное решение поставленной задачи получено в виде:

$$T(r, t) = -\frac{r^2}{2R\lambda} q(t) + \left[A_3^{(n)} q(t) - \left(4A_1^{(n)} + A_3^{(n)} \frac{a^2 \mu_n^2}{R^2} \right) \cdot \int_0^t \exp \left(-\frac{a^2 \mu_n^2}{R^2} \tau \right) \cdot (t - \tau) \cdot q(\tau) d\tau \right] RI_0 \left(\frac{\mu_n r}{R} \right),$$

где μ_n – корни уравнения;

$$I_0'(\mu) = 0;$$

$$\rho = \frac{r}{R} \cdot A_1^{(n)} = \frac{1}{I_0^2(\mu_n)} \int_0^1 \rho I_0(\mu_n \rho) d\rho$$

$$A^{(n)} = \frac{1}{I_0^2(\mu_n)} \int_0^1 \rho^3 I_0(\mu_n \rho) d\rho. \quad (6)$$

Формула (6) – функция Бесселя первого рода нулевого порядка. Полученные решения в рядах Фурье-Бесселя, затруднительны для применения в инженерной практике, т.к. требуют машинного отчета. Однако задача определения нестационарного температурного режима цикла торможения с достаточной для инженерных расчетов точностью может быть решена, если воспользоваться фундаментальным решением уравнения теплопроводности для источника [3], и использовать принцип суперпозиции [4]. Для этой цели кривая плотности теплового потока $q(t)$ разбивается на n интервалов (примерно – 10). При этом можно считать, что в пределах интервала времени $0,01 \leq \Delta t \leq 0,1$ на каждом интервале Δt действует постоянный тепловой поток q_i [5,6].

После некоторых упрощений, допустимых в нашем случае, расчетная формула приобретает вид:

$$T(n, t_i) = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{q_i \cdot \alpha}{\lambda} \left\{ \frac{2a \cdot \sqrt{\Delta t}}{\sqrt{\pi}} \left[\exp\left(-\frac{n^2}{4a^2 \cdot \Delta t(n-i)}\right) - \operatorname{berfc}\left(\frac{b}{2a\sqrt{\Delta t(n-i)}}\right) \right] \right\}, \quad (7)$$

где $\operatorname{erfc}(z) = 1 - \operatorname{erf}(z)$;

$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$ – интеграл вероятностей (табулированная функция);

b – глубина рассматриваемого слоя от поверхности трения, м.

Для поверхности трения ($b = 0$) расчетная формула (7) упрощается (8):

$$T(0, t_i) = \frac{2a \cdot \sqrt{\Delta t} \cdot \alpha}{\lambda \sqrt{\pi}} \sum_{i=1}^{i=n} q_i, \quad (8)$$

где Δt – шаг разбиения, с.

Решения по формулам (7) и (8) будут давать результат с некоторым избытком, однако это повышает надежность расчета, т.к. фактический фрикционный контакт является дискретным и имеют место температурные всплески (рис. 1).

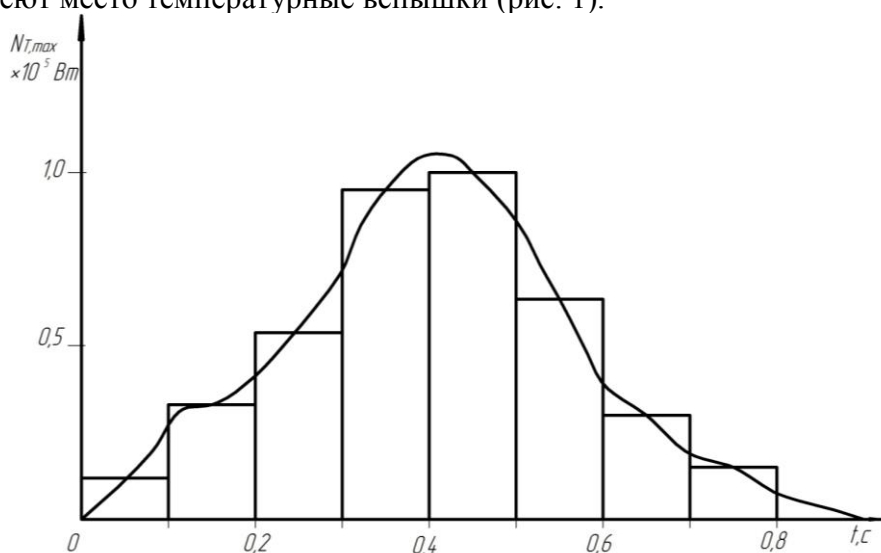


Рисунок 1 – Пример обработки экспериментальных данных реального процесса торможения для теплового расчета

Временная зависимость мощности трения реальных тормозов может изменяться в широких пределах в зависимости от характера нагружения, режима работы, влияния окружающей среды и т.д. Для лучшей оценки и учета изменения мощности и работы во времени в научно-техническую практику введены такие параметры, как временные факторы мощности и работы трения τ_N и τ_W [1].

Реальные законы изменения временного фактора мощности трения (9)

$$\tau_N = \frac{N \cdot t_T}{W_{Tn}}, \quad (9)$$

хорошо аппроксимируются следующей зависимостью (10)

$$\tau_N = (n+1) \cdot (n+2) \cdot \tau^n \cdot (1-\tau), \quad (10)$$

где $n = \tau_m \cdot (1-\tau_m)$;

$\tau = \frac{t}{t_T}$ – безразмерная продолжительность трения;

τ_m – момент времени, в который достигается максимум мощности трения;

t_T – продолжительность торможения, с;

W_{Tn} – полная работа трения, Дж;

$\tau_w = \int_0^{\tau} \frac{N \cdot d\tau}{W_{Tn}}$ аппроксимируется зависимостью (11).

$$\tau_w = \tau^{n+1} [(n+1) \cdot (1-\tau) + 1]. \quad (11)$$

На рисунке 2 приведены расчетные зависимости $T = f(x)$ полученные с использованием формул (9), (10) и (11).

Вопросы расчета температурных всплесков освещены в ТДТИ.

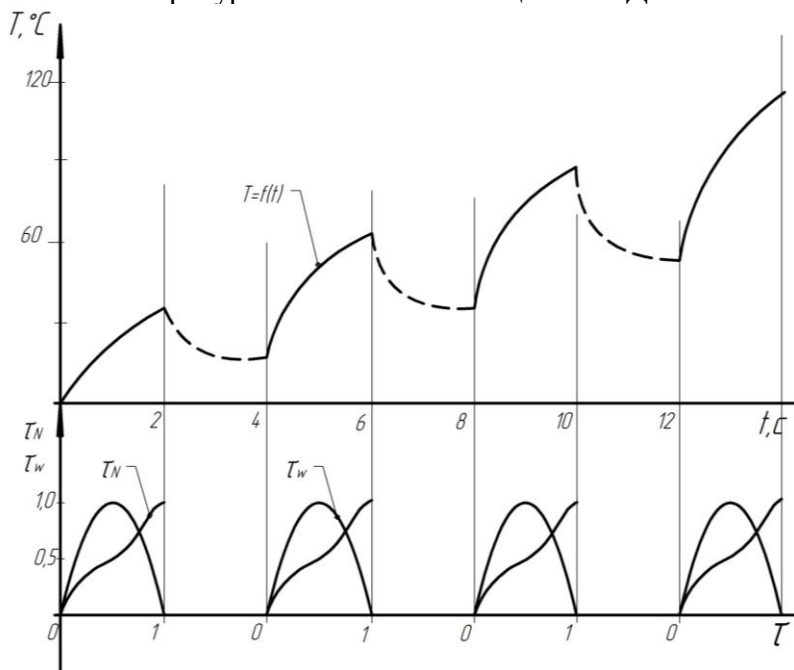


Рисунок 2 – Аналитическая зависимость температуры поверхности трения при повторно-кратковременных торможениях

Использование зависимостей (9,11) [1] позволяет получить приближенное решение тепловой задачи для произвольного изменения мощности трения по времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хебды, М. Справочник по триботехнике [Текст] / М. Хебды, А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1992. ТЗ – 545 с.
2. Чичинадзе, А. В. Учет экранирующего действия тонких пленок для оценки температур на поверхности трения твердых тел [Текст] / А. В. Чичинадзе, Н. В. Поляков // Трение и износ. - 1999. - № 1. - С. 62-67.
3. Чичинадзе, А. В. Применение теорий тепловой динамики и моделирования тяжело нагруженных тормозов транспортных машин [Текст] / А. В. Чичинадзе, В. Д. Кожемякина // Трение и смазка в машинах и механизмах. - 2009. - № 5. - С. 31 – 38.
4. Пехович, А. И. Расчеты теплового режима твердых тел [Текст] / А. И. Пехович, В. М. Жидких. – Л. : Энергия, 1968. – 125 с.

5. Лыков, А. В. Теория теплопроводности [Текст] / А. В. Лыков. – М. : Наука, 1967. – 250 с.
6. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики [Текст] / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М. : Физматгиз, 1972. – 147 с.

Поляков Николай Викторович

Воронежская государственная лесотехническая академия

Адрес: г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

Канд. техн. наук, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин

Тел.: +7(473)2565089

Попов Дмитрий Анатольевич

Воронежская государственная лесотехническая академия

Адрес: г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

Кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин

Тел. +7(960)1132145

E-mail: qaz.7@mail.ru

Снятков Евгений Вячеславович

Воронежская государственная лесотехническая академия

Адрес: г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

Канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин

Тел. +7(920)2281159

E-mail: snyatkov@list.ru

N. V. POLYAKOV, D. A. POPOV, E. V. SNYATKOV

TO THE MATTER OF DETERMINATION OF HEATLOADING FRICTION CONTACT AFTER REBREAKINGS

In the article the author looks into the problem of the heat intensity during friction contact in short rebreakings. The variant of analytical determination of surface temperature considering a heat return in the environment is presented.

Keywords: friction, heat intensity, surface temperature, heat return.

BIBLIOGRAPHY

1. Hebby, M. Spravochnik po tribotekhnike [Tekst] / M. Hebby, A. V. Chichinadze. - M. : Mashino-stroenie, 1992. T3 - 545 s.
2. Chichinadze, A. V. Uchet ekraniruyushchego deystviya tonkikh plenok dlya otsenki temperatur na poverkhnosti treniya tverdykh tel [Tekst] / A. V. Chichinadze, N. V. Polyakov // Trenie i iznos. - 1999. - № 1. - S. 62-67.
3. Chichinadze, A. V. Primenenie teorii teplovoy dinamiki i modelirovaniya tyazhelonagruzhennykh tormozov transportnykh mashin [Tekst] / A. V. Chichinadze, V. D. Kozhemyakina // Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizмах. - 2009. - № 5. - S. 31 - 38.
4. Pekhovich, A. I. Raschety teplovogo rezhima tverdykh tel [Tekst] / A. I. Pekhovich, V. M. ZHidkikh. - L. : Energiya, 1968. - 125 s.
5. Lykov, A. V. Teoriya teploprovodnosti [Tekst] / A. V. Lykov. - M. : Nauka, 1967. - 250 s.
6. Tikhonov, A. N. Uravneniya matematicheskoy fiziki [Tekst] / A. N. Tikhonov, A. A. Samarskiy. - M. : Fizmatgiz, 1972. - 147 s.

Polyakov Nikolay Viktorovich

Voronezh State Forestry Academy

Location: g. Voronezh, st. Timiryazev, 8

Candidate tech. sciences, assistant professor of production, maintenance and operation of machines

Tel.: +7(473)2565089

Popov Dmitry Anatolievich

Voronezh State Forestry Academy

Location: g. Voronezh, st. Timiryazev, 8

Ph.D., Art. lecturer in production, maintenance and operation of machines

Tel. +7(960)1132145

E-mail: qaz.7@mail.ru

Snyatkov Evgeny Vjacheslavovich

Voronezh State Forestry Academy

Location: Voronezh, st. Timiryazev, 8

Candidate tech. Science, Art. lecturer in production, maintenance and operation of machines

Tel. +7(920)2281159

E-mail: snyatkov@list.ru

Л. А. САВИН, О. А. ПИВОВАРОВ, Е. В. СЛИВИНСКИЙ

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Представлены материалы, по разработке перспективной конструкции газораспределительного механизма дизелей промышленных тепловозов. Исследование базируется на новом решении, предполагающем уменьшение конструкции клапанных устройств. В статье приведены расчётные соотношения и результаты исследуемых характеристик дизелей. Разработка рекомендуется научно-исследовательским и промышленным структурам в области машиностроения, и ремонта с целью ее дальнейшего изучения и возможного внедрения в практику.

Ключевые слова: перспективная конструкция газораспределительного механизма, дизель тепловозов, характеристики дизелей.

Принцип действия ДВС заключается в преобразовании химической энергии топлива, в тепловую, а затем в механическую работу на валу двигателя. Количество смеси, заполняющее рабочий объём цилиндра при давлении и температуре окружающей среды, связано с потенциальным зарядом цилиндра, величину которого можно определить по формуле [1]:

$$M_h = V_h P_0 / 848 T_0 \text{ молей} . \quad (1)$$

В действительности же заряд цилиндра отличается от потенциального вследствие влияния различных факторов, к которым относят потерю давления при протекании газа через впускные отверстия, преобразование кинетической энергии газа в теплоту и нагрев свежей смеси от стенок цилиндра. Поэтому важен действительный заряд $M_{см}$, который характеризуется коэффициентом наполнения η_v , определяемый по известной зависимости: $\eta_v = M_{см} / M_h$.

Коэффициент наполнения является важнейшим параметром при проектировании ДВС, поэтому его расчётное определение является одной из важных задач. В настоящее время процесс наполнения цилиндров всех известных четырёхтактных двигателей осуществляется через впускной клапан, который открывается с некоторым опережением до верхней мёртвой точки (в.м.т.). Если уменьшить опережение открытия впускного клапана, то вблизи в.м.т. проходное сечение его уменьшится, а поэтому сопротивление протеканию газа в цилиндр увеличится. Такое явление приводит к увеличению насосных потерь, уменьшению механического КПД и снижению мощности двигателя. Подобные явления происходят и в выпускном клапане. Так, например, если выпускной клапан закрывается раньше, чем это положено, то проходное сечение в районе в.м.т. будет меньше, при этом выхлопной газ при выпуске не будет успевать выходить из цилиндра. В тоже время при подходе поршня к в.м.т. произойдёт сжатие оставшегося газа, который затем расширяясь, уменьшает количество свежего заряда так как последний начинает поступать только с момента понижения давления в цилиндре до p_0 атмосферного. Анализируя работу клапанов, для соответствующих фаз газораспределения, видно, что для улучшения наполнения цилиндра и очистки его от выхлопных газов следует увеличивать среднее проходное сечение последних. Обычно в практике конструирования ДВС увеличивают диаметры клапанов, насколько это позволяют диаметры цилиндра и скорость клапана при движении его от седла до полного подъёма и обратно насколько это допускают силы инерции, возникающие в механизме газораспределения и прочность элементной базы последнего. В целом же такие технические мероприятия не оказывают существенного влияния на рабочие характеристики ДВС, но связаны с увеличением его металлоёмкости, а, следовательно, стоимости в производстве.

Учитывая вышеизложенное на кафедре прикладной механики и инженерной графики ЕГУ им. И. А. Бунина и кафедре мехатроники и международный инжиниринг ОрелГТУ в течение 2005 -2010 г. согласно договору с Управлением ЮВЖД филиал ОАО "РЖД" и Елец-

ким отделением ЮВЖД филиала ОАО «РЖД» приводится НИР на тему «Разработка рекомендаций по повышению качества эксплуатационной работы, а также надёжности и экономичности использования подвижного состава в грузовом и пассажирском движении на Юго-Восточной дороге», которая включена в план работ СКБ университета и по одному из ее разделов НИРС проводятся работы, связанные с модернизацией силовых установок, используемых в современных тепловозах. По результатам проведенного анализа библиографических и патентных источников университетом получен патент на изобретение RU2268373, связанный с модернизацией газораспределительного механизма четырехтактных и двухтактных ДВС.

Перспективный газораспределительный механизм отличается от известного, например, четырехтактного дизеля М756 используемого в конструкциях маневровых и промышленных тепловозов тем, что впускной и выпускной клапаны каждого из цилиндров блока в своих головках снабжены наклонными в вертикальной их плоскости каналами, начало которых находится на торцевой части головок, а концы на их рабочих поверхностях, причём начало и концы упомянутых каналов выполнены различного диаметра и большие из них расположены на внешних торцевых частях головок клапанов, а меньшие - на их рабочих поверхностях.

Рассмотрим упрощенные схемы газораспределительного механизма в виде серийного и модернизированного клапанов рисунок 1, представив их головки 1 в виде усеченного конуса, к малой образующей окружности которого присоединен жестко стержень 2. Согласно паспортных данных на двигатель М756 диаметр головки клапана $d_r = 65$ мм, угол образующей конуса головки клапана $\alpha = 45^\circ$, внутренний диаметр седла клапана $d_0 = 50$ мм, наружный диаметр седла клапана $D = 65$ мм, температура нагрева выпускных клапанов до $600-800^\circ\text{C}$, впускных $300-400^\circ\text{C}$, ход поршня $S = 200$ мм и ход клапана h , являющийся функцией от угла поворота кривошипа β , $h = f(\beta)$. Конструктивно примем, что в головке модернизированного клапана выполнено, пять отверстий диаметром $d_1 = 10$ мм. Ранее проведенные исследования [3] позволили дать оценку эффективности использования предложенного технического решения.

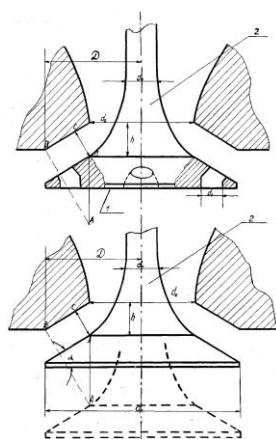


Рисунок 1- Схема серийного и модернизированного клапанов

Так выполненные расчеты применительно к дизелю 14Д40 тепловоза М62 показали, что уже в начальный момент открытия клапана, проходное сечение перспективного клапана выше, чем у серийного в 1,92 раза. В тоже время при прохождении газа в зоне, где диаметр выхлопного коллектора соответствует диаметру клапана $d_0 = 75$ мм., даже при наличии в этой области штока клапана $d_{ш} = 23$ мм, проходное сечение увеличивается в 1,39 раза в сравнении, когда использован серийный клапан. Как видно эффективность предложенного технического решения налицо. Следует также отметить, что процесс открытия и закрытия клапанов сопровождается значительными по величине ударными нагрузками на их сёдла, что влечёт к снижению эксплуатационной надёжности газораспределительных механизмов и всего ДВС в целом [1,2]. Однако, конструкция клапана, выполненная по патенту RU2268373 помимо повышения эффективности наполнения цилиндра и очистки его от отработанных газов, а так

же снижения тепловой напряжённости клапанов решает и другую важную задачу, связанную со снижением ударных нагрузок при контактировании головок клапанов с их седлами. Рассмотрим, например, работу выпускного клапана в процессе демпфирования им указанной ударной нагрузки используя индикаторную диаграмму, показанную на рисунке 2 [4].

Известно [1], что давление отработанных газов p_r в цилиндре, когда поршень находится в в.м.т., т.е в конце такта выпуска и выпускной клапан начинает закрываться, можно определить по эмпирической формуле:

$$p_r = p_m \left(1 + \alpha \frac{nS}{T_{occ}} \right), \quad (2)$$

где: p_m – давление в цилиндре в верхней мертвой точке, составляет 0,104 МПа;

n – частота вращения коленчатого вала, 1400 мин⁻¹;

S – ход поршня, 0,2 м [1];

T_{occ} – температура остаточного газа, 873–1073° К;

α – коэффициент равный 0,3–0,5 [1].

Из индикаторной диаграммы четырёхтактного двигателя аналогичного дизелю М756 представленной на рисунке 2 видно, что на её участке 4-5, характеризующего предварение выпуска газов выпускной клапан открывается примерно при 0,882 МПа, причём в дальнейшем на участке 5-6, где происходит выталкивание газов при давлении около 0,294 МПа оказывается ещё открытым и поршень ещё не дошёл до в.м.т. В первом случае примем указанные параметры характерные для полностью закрытого клапана и вычислим значение p_r по зависимости (2):

$$p_r = p_m \left(1 + \alpha \frac{nS}{T_{occ}} \right) = 1,07 \left(1 + 0,3 \frac{1400 \cdot 0,2}{873} \right) = 0,113 \text{ МПа.}$$

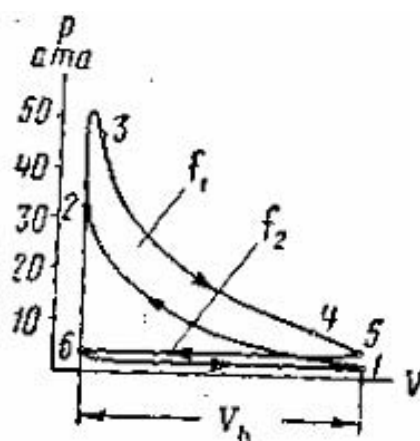


Рисунок 2- Индикаторная диаграмма четырёхтактного ДВС

Теперь предположим, что выпускной клапан полностью ещё не закрылся и между его головкой и седлом по круговой образующей их контактной поверхности имеется круговой зазор $\delta = 10^{-3}$ м (эта точка на индикаторной диаграмме находится несколько ниже от точки 6 когда происходит процесс продувки цилиндра и впускной клапан уже начал открываться, а выпускной закрываться) и тогда, учитывая, что отработанные газы продолжают поступать через каналы, выполненные в голове выпускного клапана в круговой зазор δ их давление будет соответствовать давлению газов находящихся в цилиндре и выдавливаемых поршнем т.е. равном 0,294 МПа. А так как контактная поверхность головки клапана примыкающая к седлу имеет площадь боковой поверхности усечённого конуса $S_{\delta} = \pi l(R+r) = 3,14 \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} (6,5 \cdot 10^{-2} + 2,5 \cdot 10^{-2}) = 3,4 \cdot 10^{-4}$ м², то усилие приложенное к головке клапана газами находящимися в зазоре со стороны седла составит $P_{\Pi} = p S_{\delta} = 0,294 \cdot 10^6 \cdot 3,4 \cdot 10^{-2} = 0,102$ МПа. При этом следует отметить, что при расчёте площади боковой поверхности усечённого конуса S_{δ} наличие пустот, образованных отверстиями каналов выполненных в головке клапана, не учтено

основываясь на предположении, что эти пустоты заполнены газом и поэтому можно считать поверхность S_δ выполненную из сплошного однородного материала. Известно [1], что в приводе механизма закрытия клапана газораспределительного механизма тепловозного дизеля М756 установлены одна в другой две пружин сжатия суммарной жёсткостью $C = 0,404$ МПа, при этом создаваемая рабочая нагрузка таким комплектом составляет 0,135 МПа. Видно, что усилие, создаваемое противодействием закрытию выпускного клапана меньше ($0,102 < 0,135$) в 1,3 раза, следовательно, ударная нагрузка на седло в какой-то степени будет демпфирована и клапан без значительного по величине удара войдёт в контакт с седлом. Из сказанного понятно, чем меньше будет величина зазора δ , тем выше окажется показатель демпфирования ударной нагрузки приложенной от клапана к его седлу.

Представленный пример, конечно же, не может полностью дать качественный анализ предложенного технического решения с отражением сущности термодинамических процессов протекающих в цилиндре четырёхтактного ДВС, однако он позволяет сделать в первом приближении вывод о возможности предложенного устройства снизить ударные нагрузки в зоне контакта клапанов с их седлами в процессе их прикрытия. В дальнейшем данное научное направление планируется продолжить не только с применением соответствующего математического аппарата, но и проведением стендовых испытаний макетного образца.

Результаты исследования переданы руководству Управления Юго-Восточной железной дороги филиал ОАО «РЖД» в виде промежуточного отчёта, а так же рекомендуются отечественным и зарубежным научным и производственным структурам проектирующим, изготавливающим и модернизирующим различные по назначению четырёхтактные ДВС для возможного внедрения перспективного газораспределительного механизма в практику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глаголев, Н. М. Тепловозные двигатели и газовые турбины [Текст] / Н. М. Глаголев и др. - Трансжелдориздат.: Москва, 1957.- 460 с.
2. Орлин, С. А. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / под. ред. А.С. Орлина и М.Т. Круглова. - М.: Машиностроение, 1990. - 288 с.
3. Сливинский, Е. В. К вопросу повышения КПД тепловозного двухтактного дизеля за счёт модернизации его газораспределительного механизма. Системы управления, технические системы: пути и методы исследования [Текст] / Е. В. Сливинский, О. А. Пивоваров // Материалы межвузовской научно-практической конференции. ЕГУ им. И.А. Бунина. Елец. – 2008. – 306 с.
4. Кумсков, В. Т. Основы теплотехники [Текст] / В. Т. Кумсков, М. Г. Маханько. - М.: Всесоюзное издательско-полиграфическое объединение МПС, 1962. – 231 с.
5. Пивоваров, О. А. Функциональные элементы дизельных двигателей тепловозов. Конструкторские решения. Методики расчёта [Текст]: монография / О. А. Пивоваров, Л. А. Савин, Е. В. Сливинский. – Орёл: Изд. Дом «ОРЛИК», 2010. - 124 с.

Пивоваров Олег Андреевич

«Госуниверситет – УНПК», г. Орёл

Адрес: 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29

Аспирант кафедры «Мехатроника и международный инжиниринг»

Тел. +7(4862)432943

E-mail: ole8lud@rambler.ru

Савин Леонид Алексеевич

«Госуниверситет – УНПК», г. Орёл

Адрес: 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29

Д-р техн. наук, профессор, академик РИА, заведующий кафедрой «Мехатроника и международный инжиниринг»

Тел. +7(4862)432943

E-mail: Savin@ostu.ru

Сливинский Евгений Васильевич

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина

Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика и инженерная графика»

Тел. +7(47467)63931

E-mail: evgeni_sl@mail.ru

L. A. SAVIN, O. A. PIVOVAROV, E. V. SLIVINSKY

EXTENSION OF FUNCTIONAL POSSIBILITIES OF DIESEL LOCOMOTIVE ENGINES DUE TO MODERNIZATION OF GAS DISTRIBUTION MECHANISMS

There are presented materials on the development of the perspective structure of gas distribution mechanism of diesel engines industrial diesel locomotives. The study is based on a new solution, assuming reduction of construction valve devices. The article presents the estimated ratio and the results of the performance of diesel engines. Development of recommended research and industrial structures in the field of mechanical engineering, and repair with the purpose of its further study and possible implementation in practice.

Keywords: gas distribution; diesel engines; construction valve devices.

BIBLIOGRAPHY

1. Glagolev, N. M. Teplovoznnye dvigateli i gazovye turbiny [Tekst] / N. M. Glagolev i dr. - Transzheldorizdat.: Moskva, 1957.- 460 s.
2. Orlin, S. A. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Ustroystvo i rabota porshnevykh i kombinirovannykh dvigateley [Tekst] / pod. red. A.S. Orlina i M.T. Kruglova. - M.: Mashinostroyeniye, 1990. - 288 s.
3. Slivinskiy, E. V. K voprosu povysheniya KPD teplovoznogo dvukhtaktnogo dizelya za schiot moderni-zatsii ego gazoraspre-delitel'nogo mekhanizma. Sistemy upravleniya, tekhnicheskie sistemy: puti i metody is-sledovaniya [Tekst] / E. V. Slivinskiy, O. A. Pivovarov // Materialy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy kon-ferentsii. EGU im. I.A. Bunina. Yelets. - 2008. - 306 s.
4. Kumskov, V. T. Osnovy teplotekhniki [Tekst] / V. T. Kumskov, M. G. Makhan'ko. - M.: Vsesoyuznoe izdatel'sko-poligraficheskoe ob"edineniye MPS, 1962. - 231 s.
5. Pivovarov, O. A. Funktsional'nye elementy dizel'nykh dvigateley teplovoznov. Konstruktorskie resheniya. Metodiki raschiota [Tekst]: monografiya / O. A. Pivovarov, L. A. Savin, E. V. Slivinskiy. - Oriol: Iz. Dom "ORLIK", 2010. - 124 s.

Pivovarov Oleg Andreevich

"State University - UNPK", Orel

Address: 302020, Orel, Naugorskoe Highway 29

Postgraduate of "Mechatronics and international engineering"

Tel. +7(4862)432943

E-mail: ole8lud@rambler.ru

Savin Leonid Alekseevich

"State University - UNPK", Orel

Address: 302020, Orel, Naugorskoe Highway 29

Doctor of Technical Sciences, professor, academician of the RIA, the head of "Mechatronics and the International Engineering"

Tel. +7(4862)432943

E-mail: Savin@ostu.ru

Slivinskii Yevgeny Vasil'evich

Yeletsky State University of I. A. Bunin

Dr. Sc. Sciences, professor, head of "Applied Mechanics and Engineering Graphics"

Tel. +7(47467)63931

E-mail: evgeni_sl@mail.ru

А. А. ДЕЕВ

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПРИРАБОТКИ СОПРЯЖЕНИЙ ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ПАРАМЕТРУ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

На основе экспериментальных исследований обоснована возможность повышения эффективности приработки сопряжений автомобильного двигателя. Исследовано влияние числовых характеристик амплитуды импульсов акустической эмиссии на процесс приработки сопряжения коренная шейка – вкладыш. Предложен способ проведения заводской обкатки на основе обратной связи, заключающийся в динамической корректировке нагрузочного режима двигателя в зависимости от величины контролируемого параметра акустической эмиссии, позволяющий сократить время ее проведения при повышении качества прирабатываемых сопряжений.

Ключевые слова: амплитуда импульсов акустической эмиссии, приработка сопряжений, обратная связь.

Как новый, так и отремонтированный автомобильный двигатель, перед вводом в эксплуатацию в соответствии с техническими условиями должен пройти заводскую обкатку. Назначение обкатки – приработка в едином комплексе всех сопряжений, входящих в состав агрегата.

Преодолев за последнее время множество тупиковых направлений, вопрос качества заводской обкатки автомобильных двигателей не достаточно отвечает потребностям практики. На это указывает зачастую преждевременный выход их из строя в начальный период эксплуатации, при этом, до 70% отказов двигателей приходится на детали кривошипно-шатунного механизма (КШМ) [1]. По этой причине вопросы разработки и внедрения на предприятия эффективных способов обкатки двигателей обеспечивающих полную и качественную приработку основных его сопряжений являются достаточно актуальными.

Приоритетным же способом обкатки на производственных предприятиях остается ступенчатый режим, при котором основным содержанием процесса приработки сопряжений является ступенчатое увеличение тормозной нагрузки на двигатель до 80 - 85 % от максимальной его мощности [1].

На сегодняшний день, имеется значительный объем работ, посвященных исследованиям заводской обкатки автомобильных двигателей, направленных на изыскание новых способов и средств, обеспечивающих сокращение сроков ее проведения при необходимом качестве приработки основных сопряжений. В частности, существует перспективное направление обкатки, заключающееся в поддержании постепенного непрерывно-ступенчатого изменения нагрузочного режима двигателя до максимальной его мощности, что может обеспечить не только сокращение времени обкатки, но и, кроме того, значительно увеличить несущую способность прирабатываемых сопряжений [2]. Однако, внедрение новых эффективных способов обкатки сдерживается из-за отсутствия достаточно информативной обратной связи, объективно отражающей характер взаимодействия прирабатываемых поверхностей трения [3].

В сложившейся ситуации особую роль приобретает вопрос диагностирования ответственных сопряжений двигателя в процессе его обкатки, а, следовательно, выбора оптимального контролируемого параметра, способного своевременно оценивать характер взаимодействия прирабатываемых поверхностей трения и прогнозировать их дальнейшую работоспособность.

Общепринятыми основными контролируемыми параметрами, характеризующими условия протекания приработки, являются величина коэффициента трения и температура поверхностей трения. В тоже время, фундаментальными исследованиями было установлено, что происходящие в процессе приработки упругие и пластические деформации микронеровностей, разрушение поверхностных смазочных слоев и образование микродефектов, являются причиной ряда акустико-эмиссионных процессов вызывающих значительное изменение энергетического состояния в сопряжении [4].

Очевидно, что параметры акустической эмиссии (АЭ), отражающие динамику изменения напряженно - деформированного состояния поверхностей трения должны не с меньшей точностью отслеживать различные стадии эволюции трибологической системы. Вследствие этого, для разработки методик диагностики сопряжений двигателя, а также для управления за процессом их приработки необходимо знать взаимосвязь и представлять характер изменения этих параметров от управляемых внешних факторов. Для этого был проведен ряд лабораторных экспериментальных исследований на триботехническом комплексе, основными элементами которого являются машина трения СМЦ-2 и акустико-эмиссионный прибор А-лайн 32Д (рис. 1).



Рисунок 1 - Триботехнический комплекс для исследований процесса приработки сопряжений

Исследования направлены на повышения эффективности приработки сопряжений автомобильных двигателей, в частности, двигателя КАМАЗ - 7403.10. Моделирование процесса приработки проводилось на сопряжении коренная шейка – вкладыш, являющееся самым нагруженным, а, следовательно, наиболее трудноприрабатываемым. В качестве основного параметра АЭ использовалась амплитуда импульсов АЭ. Данный параметр является перспективным для трибологических задач, так как связан с динамикой и энергетикой регистрируемых импульсов, легко применим в режиме реального времени, относительно прост при аппаратной его реализации [5].

Первая группа исследований была посвящена влиянию действующей нагрузки на изменение контролируемых параметров в процессе приработки исследуемого сопряжения (рис. 2).

Данный эксперимент показал, что при неизменных условиях трения при заданной нагрузке и скорости вращения, все контролируемые параметры по окончании приработки постепенно стабилизируются на определенном уровне, что указывает на переход сопряжения в устойчивое состояние. В частности, уменьшение и стабилизация амплитуды импульсов АЭ свидетельствует о снижении диссипации энергии в процессе трения и связанного с ней изнашивания контактирующих поверхностей.

Следует отметить, что во всех проведенных экспериментах наблюдалось отставание по времени стабилизации амплитуды импульсов АЭ от других рассматриваемых параметров. Установившимся значениям коэффициента трения и температуры поверхностей трения, соответствовала величина амплитуды импульсов АЭ составляющая в среднем 35 мкВ, после чего она продолжала уменьшаться и через некоторое время стабилизировалась при значении 25 мкВ. Это связано, прежде всего, с большей чувствительности амплитуды импульсов АЭ как к состоянию отдельных пятен контакта, так и к формированию завершающих физико-химических процессов в сопряжении [5].

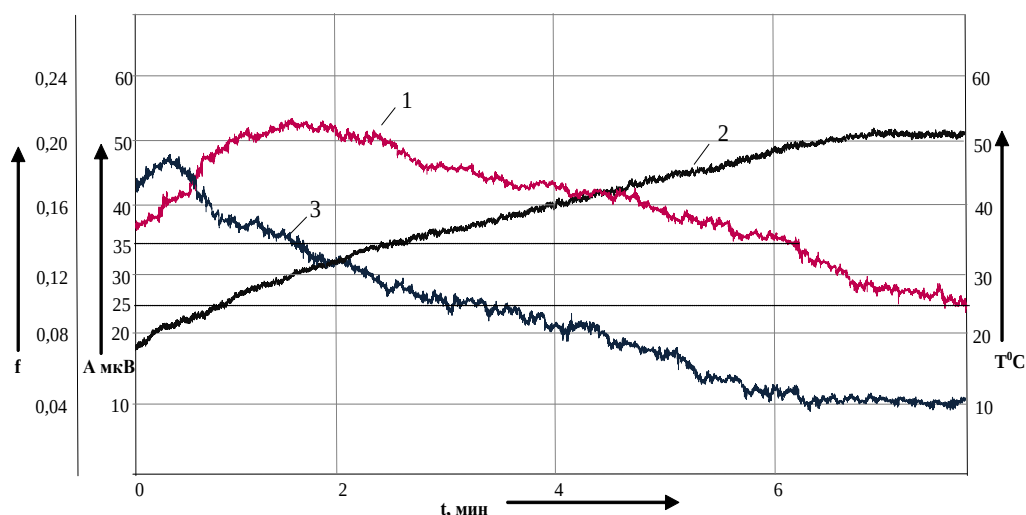


Рисунок 2 – Зависимость контролируемых параметров от времени приработки, при $P = 1 \text{ МПа}$, $v = 1000 \text{ об/мин}$

1 – амплитуда импульсов АЭ (А, мкВ); 2 – температура поверхностей трения ($T^{\circ}\text{C}$); 3 – коэффициент трения (f)

Известно, что сопряжение коренная шейка – вкладыш прирабатывается в различных условиях смазки. Ниже приводятся результаты второй группы экспериментальных исследований, показывающие возможность применения рассматриваемых параметров контроля приработки для определения переходных процессов в сопряжении, что позволяет определить момент разрушения смазочного граничного покрытия и развития микродефектов.

Для этого, осуществлялась приработка при сухом трении и неизменной нагрузке 1 МПа. Через некоторое время, посредством дозатора в сопряжение подавалась смазка капельным способом в течение 2 минут (рис. 3).

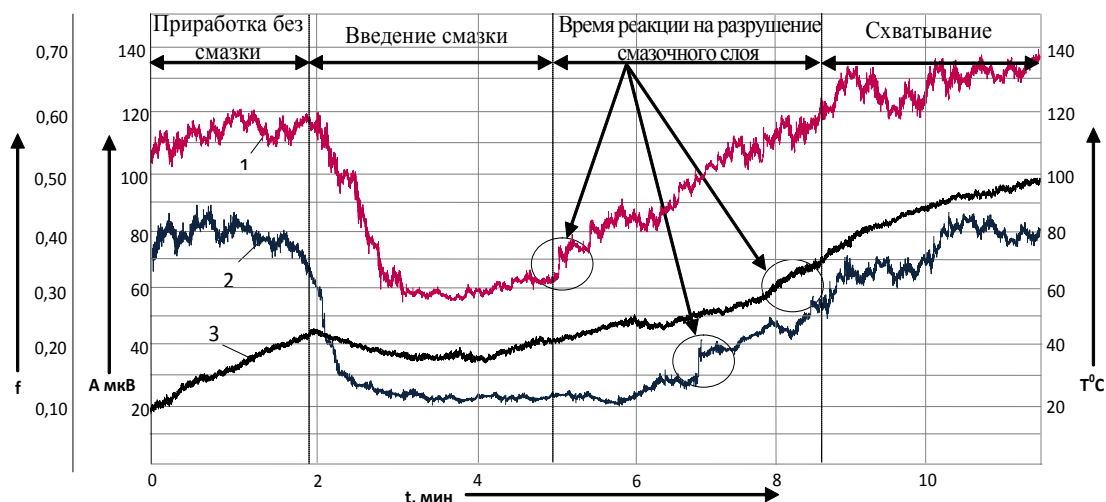


Рисунок 3 – Зависимость контролируемых параметров от условий смазки при $P = 1 \text{ МПа}$, $v = 1000 \text{ об/мин}$

1 – амплитуда импульсов АЭ (А, мкВ); 2 – температура поверхностей трения ($T^{\circ}\text{C}$); 3 – коэффициент трения (f)

В результате эксперимента было установлено, что наименьшее время реакции на разрушение смазочного граничного слоя имеет амплитуда импульсов АЭ, что характеризуется ее значительным скачкообразным увеличением с 76 до 140 мкВ. Повышение же дисперсии данного параметра является следствием схватывания при интенсивном разрушении поверхностных слоев прирабатываемых образцов вкладышей. Как видно из рисунка 3, резкое возрастание коэффициента трения и температуры поверхностей трения по мере разрушения смазочного слоя наступает значительно позднее. Это позволяет рассматривать амплитуду импульсов АЭ как наиболее информативный параметр контроля, позволяющий объективно и своевременно оценить характер протекания приработки в сопряжении [5].

Таким образом, с целью повышения эффективности приработки путем непрерывно - ступенчатого нагружения, по параметру АЭ можно точно и достоверно определить предельную нагрузку, при которой будет отсутствовать повреждение поверхностей трения.

С целью определения нагрузки выше, а также ниже критической, через равные промежутки времени производилось непрерывно-ступенчатое нагружение на исследуемое сопряжение с различной скоростью роста нагрузки, выбранной в соответствии из расчета максимальной эффективной и средней скорости нагружения двигателя КАМАЗ-7403.10 в процессе его горячей обкатки (табл. 1).

Таблица 1 - Режимы горячей обкатки двигателя Камаз-7403.10 и приращение удельных нагрузок на сопряжение коренная шейка – вкладыш в процессе ее проведения [6,7]

Вид обкатки	Этап	Нагрузка, кВт	Время, мин	Скорость нагружения двигателя в единицу времени, кВт/мин	Удельная нагрузка на сопряжение коренная шейка - вкладыш, МПа	Приращение удельной нагрузки на сопряжение коренная шейка - вкладыш в единицу времени, МПа/мин
Горячая	1	-	5	-	5,2	-
	2	33	5	6,6	7,8	0,52
	3	62	7	4,2	10,1	0,33
	4	96	10	3,4	12,8	0,28
	5	121	10	2,5	14,8	0,2
	6	154	15	2,2	17,4	0,18
	7	162	5	1,6	18,1	0,14
	8	169	5	1,4	18,6	0,12
Средняя скорость нагружения				3,2		0,26

Испытания проводились при дозированной подаче смазки капельным способом с интенсивностью 180 кап/с, при постоянной частоте вращения 2600 об/мин до образования задира в сопряжении (рис. 4-5). Для максимальной приближенности к реальным условиям обкатки, нагружение в установленном режиме осуществлялось после стабилизации амплитуды импульсов АЭ при удельной нагрузке 5,2 МПа, которая соответствует максимальному удельной нагрузке на сопряжение коренная шейка-вкладыш в процессе горячей обкатки без нагрузки.

Так, при благоприятных условиях приработки из рисунков 4 и 5 видно, что уровень амплитуды импульсов АЭ практически пропорционален росту нагрузки. По мере ее увеличения, происходит разрушение граничного смазочного слоя, что приводит к более интенсивному образованию частиц износа на поверхностях трения, выраженное, во всех случаях, последующим интенсивным ростом данного параметра. Максимально же допустимая нагрузка характеризуется величиной амплитуды импульсов АЭ в 110 мкВ, так как продолжение приработки в установленном режиме приводит к образованию задира, выраженного резким скачком амплитуды более чем в 2 раза, со значительным увеличением ее дисперсии при стабилизации нагрузки.

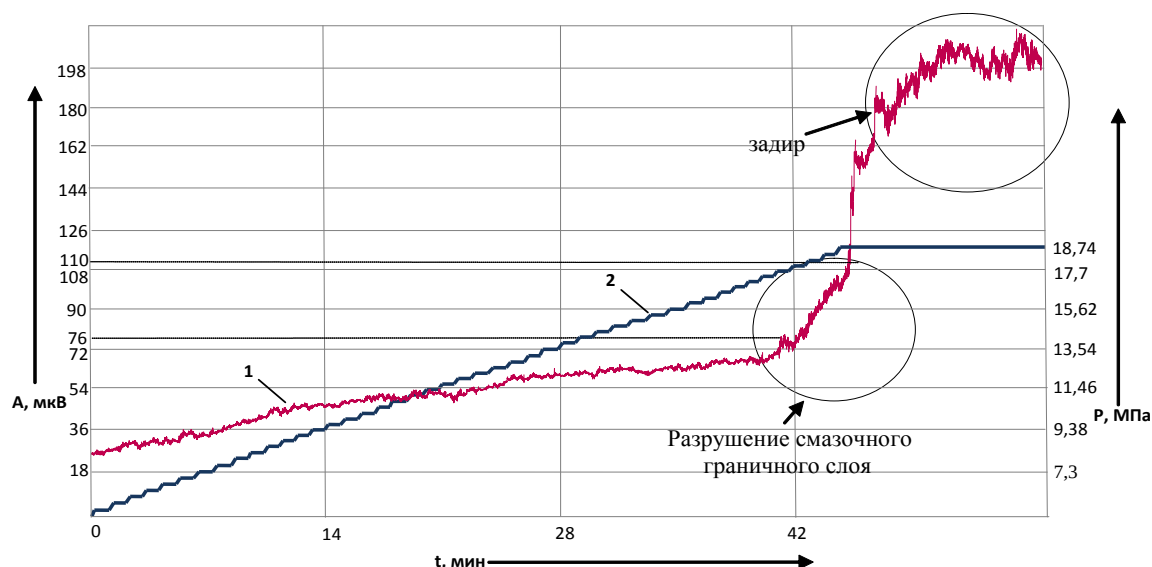


Рисунок 4 - Зависимость амплитуды импульсов АЭ от изменения нагрузки на сопряжение со скоростью $V_n = 0,26$ МПа/мин

1 – амплитуда импульсов АЭ (A, мкВ); 2 – нагрузка (P, МПа)

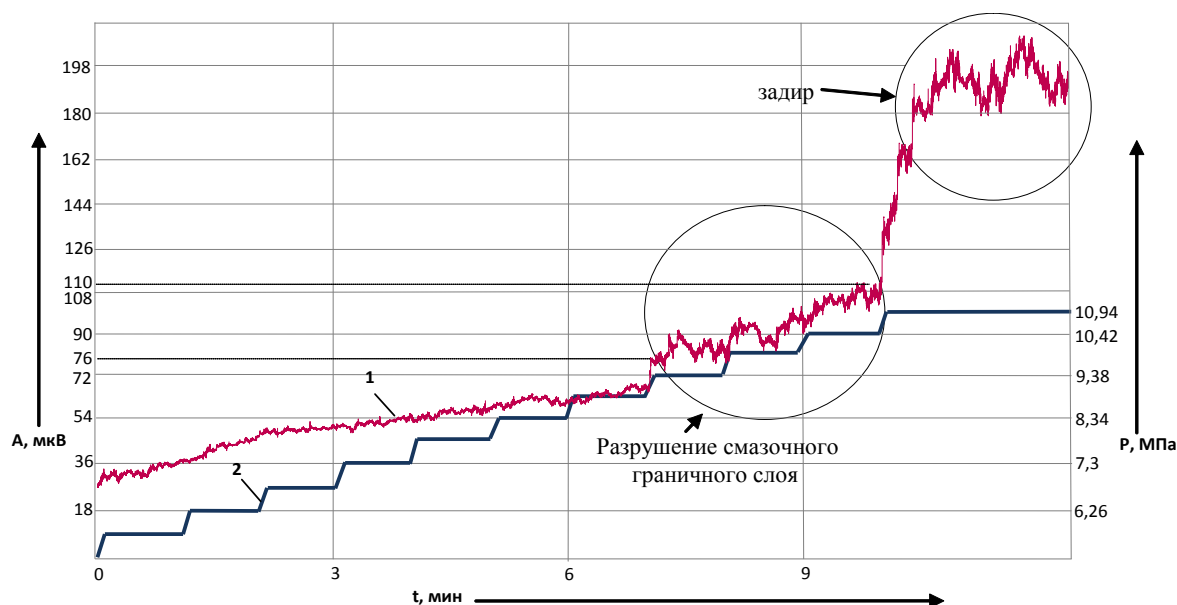


Рисунок 5 - Зависимость амплитуды импульсов АЭ от изменения нагрузки на сопряжение со скоростью $V_n = 0,52$ МПа/мин

1 – амплитуда импульсов АЭ (A, мкВ); 2 – нагрузка (P, МПа)

Следовательно, на основе анализа величины амплитуды импульсов АЭ во времени, можно контролировать все стадии формирования поверхностей трения и прогнозировать их состояние. В частности, образованию задира предшествует разрушение граничного смазочного слоя, характеризующееся резким скачкообразным увеличением параметра АЭ. В тоже время, при этом, не происходит быстрого и масштабного разрушения поверхностей трения, характеризующегося образованием дефекта. Таким образом, зона локального разрушения поверхностного слоя может либо катастрофически развиваться при дальнейшем увеличении нагрузки, приводя впоследствии к задирам в сопряжении, либо при своевременной корректировке внешних управляемых факторов, залечиваться, что, следовательно, приводит к уменьшению и постепенной стабилизации регистрируемого параметра АЭ.

При приращении нагрузки в 0,26 МПа/мин удастся достичь наибольшей несущей способности сопряжения, что при этом требует большой продолжительности приработки. При

нагрузении со скоростью 0,52 МПа/мин несущая способность значительно снижается, при этом время проведения приработки возможно существенно сократить при своевременной корректировке нагрузочного режима. В тоже время, достичь максимальных удельных нагрузок на исследуемое сопряжение за минимальный промежуток времени, представляется возможным только посредством определения оптимальной скорости нагружения при непрерывном ситуационном контроле за приработочными процессами, т.е. при объективной и своевременной обратной связи.

Проведенные предварительные экспериментальные исследования позволили определить факторы и уровни их варьирования, влияющие на продолжительность приработки (табл. 2). В качестве отклика была принята общая продолжительность приработки до достижения максимальной эксплуатационной нагрузки на сопряжение коренная шейка – вкладыш двигателя КАМАЗ – 7403.10, которая составляет 19,3 МПа.

Таблица 2 – Технологические факторы и уровни их варьирования

Технологические факторы	Кодовое обозначение	Интервал	Уровни варьирования		
			нижний	основной	верхний
Скорость нагружения (V_n , МПа/мин)	x_1	0,13	0,26	0,39	0,52
Критическая величина амплитуды ($A_{кр}$, мкВ)	x_2	17	76	93	110
Амплитуда стабилизации приработочных процессов ($A_{ст}$, мкВ)	x_3	5	25	30	35

Для проведения основного эксперимента был разработан алгоритм проведения приработки на основе обратной связи, состоящий из нескольких этапов нагружения до достижения максимальной нагрузки (рис. 6).

В результате статистической обработки данных полного факторного эксперимента, была получена математическая модель второго порядка (1), описывающая продолжительность процесса приработки сопряжения коренная шейка – вкладыш при рациональных значениях технологических факторов (табл. 3).

На основании полученных значений технологических факторов были проведены экспериментальные исследования процесса приработки исследуемого сопряжения, результаты которых представлены в таблице 4.

$$T_{пр} = 299,02 - 184,35V_n - 1,15A_{кр} - 9,9A_{ст} + 18,992V_n^2 + 0,006A_{кр}^2 + 0,1A_{ст}^2 - 1,24V_nA_{кр} + 4,74V_nA_{ст} + 0,02A_{кр}A_{ст} \quad (1)$$

Таблица 3 – Рациональные значения технологических факторов процесса приработки сопряжения коренная шейка – вкладыш (статистическая обработка)

Технологические факторы	Кодовое обозначение	Рациональные значения	Время, мин
Скорость нагружения (V_n , МПа/мин)	x_1	0,47	41,9
Критическая величина амплитуды ($A_{кр}$, мкВ)	x_2	110	
Амплитуда стабилизации приработочных процессов ($A_{ст}$, мкВ)	x_3	36	

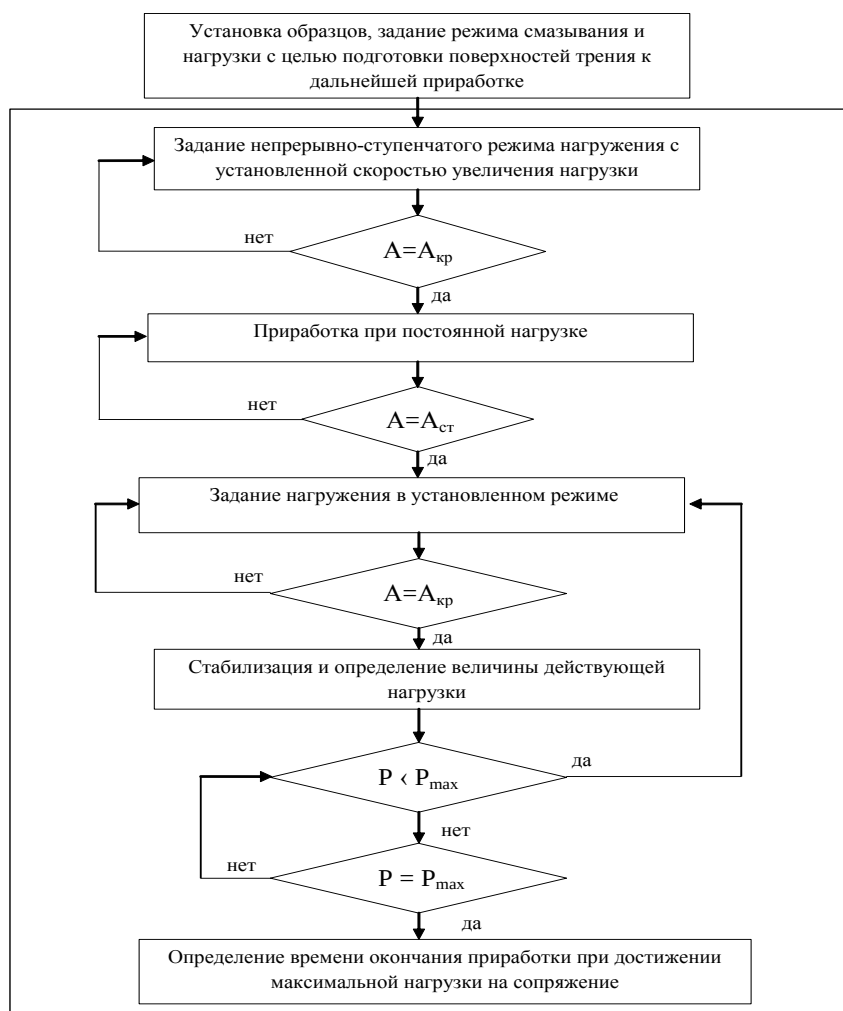


Рисунок 6 – Алгоритм проведения приработки сопряжения коренная шейка – вкладыш на основе обратной связи

Таблица 4 - Результаты экспериментальных исследований процесса приработки сопряжения коренная шейка – вкладыш на основе обратной связи

№ этапа	Скорость нагружения, V_n , МПа/мин	Изменение величины нагрузки в процессе приработки, P , МПа	Изменение величины амплитуды импульсов АЭ в процессе нагружения, A , мкВ	Изменение величины амплитуды импульсов при стабилизации нагрузки, A , мкВ	Время приработки на каждом этапе, $T_{пр}$, мин
1	0,47	5,22 – 11,8	25 - 110	110 - 36	18
2	0,47	11,8 – 16,5	36 – 110	110 - 36	14
3	0,47	16,5 – 19,32	36 – 110	110 - 35	10
Итого:					42

Как видно из таблицы 4, уровень достигнутой нагрузки, а следовательно, несущей способности сопряжения по окончанию приработки являлся максимальным (19,32 МПа). Общее ее время составило 42 минуты, что подтверждает адекватность полученной математической модели.

В соответствии с полученными в ходе лабораторного эксперимента числовыми значениями величины амплитуды импульсов АЭ и скорости приращения нагрузки на двигатель, которая с учетом пересчета составила 6 кВт/мин, на испытательной станции завода двигателей

ОАО «КАМАЗ» была проведена стендовая горячая обкатка двигателя КАМАЗ-7403.10. Испытательная установка для проведения обкатки на основе обратной связи представлена на рисунке 7. Датчики акустической эмиссии (ДАЭ) устанавливались на каждую крышку коренного подшипника двигателя и закреплялись посредством магнитных держателей (рис. 9). Выбор мест установки ДАЭ обоснован наиболее близким их расстоянием по отношению к исследуемым объектам, что позволяет достаточно информативно оценить протекание приработки деталей КШМ. Для реализации данного способа использовался технологический масляный поддон с отверстием под соединительные провода ДАЭ с блоком сбора данных АЭ – прибора А-Лайн 32Д. Результаты продолжительности горячей обкатки на основе обратной связи и значения контролируемых параметров в процессе ее проведения представлены в таблице 5.



Рисунок 7 – Установка для проведения обкатки двигателя на основе обратной связи

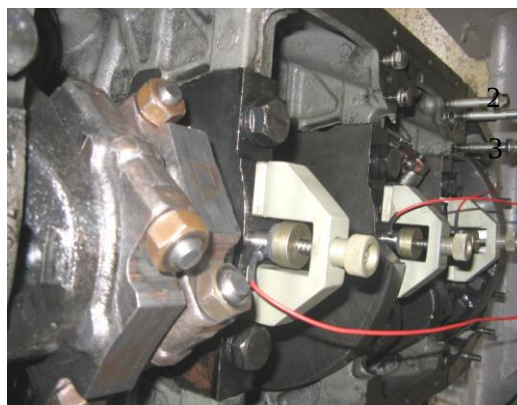


Рисунок 8 – Места установки ДАЭ на двигатель перед началом обкатки

Таблица 5 – Значения контролируемых параметров в процессе горячей обкатки двигателей КАМАЗ – 7403.10 на основе обратной связи

Вид обкатки	Этап	Значения контролируемых параметров в процессе горячей обкатки				
		Частота вращения коленчатого вала, п, об/мин	Тормозной крутящий момент, М _{кр} , Н·м	Нагрузка, N, кВт	Изменение величины амплитуды импульсов АЭ, А, мкВ	Время, мин
Горячая	1	2600	22 – 240	6 – 66	37 - 110	11
			140	66	110 - 36	5
	2		142 - 420	66 - 114	36 - 108	8
			420	114	108 - 36	4
	3		420 - 620	114-168	36 - 109	9
			620	168	109 - 36	4
	4		620 - 700	168-191	36 - 96	4
			700	191	96 - 35	3
Итого:						48

Проведенная стендовая горячая обкатка двигателя КАМАЗ – 7403.10 подтвердила эффективность разработанного способа. Превышения экспериментально установленных пределов амплитуды импульсов АЭ, характеризующих условия протекания приработки исследуемых сопряжений не наблюдалось. Уровень достигнутой мощности двигателя по завершению обкатки являлся максимальным (191 кВт), что выше, чем при обкатке по типовой технологии на 15%. Это может свидетельствовать о более полной приработке сопряжений двигателя, а, следовательно, их готовности к восприятию максимальных эксплуатационных нагрузок. Время обкатки составило 48 минут, что на 14 минут меньше, по сравнению с типовой технологией ее проведения.

Последующий контрольный осмотр деталей двигателя показал, что коренные, шатунные шейки коленчатого вала, вкладыши, приработаны без дефектов, в соответствии с требованиями конструкторской документации, что подтверждает высокую чувствительность амплитуды импульсов АЭ к состоянию исследуемых объектов.

Таким образом, разработанный способ заводской обкатки двигателей имеет как научную, так и практическую ценность. Внедрение в технологический процесс как изготовления, так и капитального ремонта двигателя предлагаемого способа обкатки на основе обратной связи, позволит обеспечить не только сокращение его трудоемкости, но и более качественно подготовить двигатель к восприятию дальнейших эксплуатационных нагрузок, за счет достижения его максимальной мощности при непрерывном ситуационном контроле за состоянием основных сопряжений, отвечающих за ресурс агрегата.

Дальнейшие исследования совершенствования процессов приработки сопряжений автомобильных двигателя могут производиться по следующим направлениям:

1. Разработка способов оценки качества приработки деталей цилиндрико-поршневой группы на основе обратной связи по параметрам АЭ.

2. Исследования повышения эффективности обкатки двигателей на основе обратной связи с применением различных присадок к маслам способствующих повышению качества приработки сопряжений.

3. Разработка и внедрение на производственные и авторемонтные предприятия программных комплексов оценки качества приработки заключающихся в автоматическом управлении режимами обкатки в зависимости от величины контролируемого параметра АЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горностаев, А. И. Повышение эффективности контроля качества приработки сопряжений методом акустической эмиссии [Текст] / А. И. Горностаев, А. А. Деев, Е. А. Панюков // Инновации в авиационных комплексах и системах военного назначения. – Воронеж, 2009. - № 2. – С. 27-31.
2. Дейнека, А. В. Способ интенсификации приработки сопряжений двигателей военной автомобильной техники на основе обоснования режимов нагружения [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 20.02.17: защищена 29.06.01: утв. 24.09.2001 / Андрей Владимирович Дейнека. – Рязань, 2001. – 135 с. – Библиогр.: с. 114-123.
3. Горностаев, А. И. Способ диагностирования трибосопряжений двигателей военной техники в процессе приработки [Текст] / А.И. Горностаев, А.А. Деев // Научный вестник академии военных наук Российской федерации. – Челябинск, 2010. – № 26 – С. 35-38.
4. Баранов, В. М. Акустическая эмиссия при трении [Текст] / В. М. Баранов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 215 с.
5. Деев, А. А. Акустические колебания в фрикционном контакте как способ контроля поверхностей трения на этапе приработки двигателей внутреннего сгорания [Текст] / А. А. Деев // Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина. – 2010. - № 4/29 – С. 132-147.
6. Программа методика испытаний двигателей КАМАЗ 740.3902010 ПМ [Текст]: офиц. текст – Набережные Челны: НТЦ КАМАЗ, 1999.– 12 с.
7. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – М.: Высшая школа, 2002. – 496 с.

Деев Андрей Александрович

Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище имени генерала – армии В.Ф. Маргелова
Адъюнкт кафедры восстановления военной техники
Адрес: г.Рязань, ул. Военных автомобилистов,12
Тел. +7(953)7318399
E-mail: aa-deev@yandex.ru

А. А. DEEV

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES THE PROCESS OF ALIGNMENT MATING PARTS OF ENGINE BASED ON FEEDBACK TO THE PARAMETER OF ACOUSTIC EMISSION

On the basis of experimental studies proved the possibility increase the efficiency alignment of mating parts of automotive engine. Studied the influence of numerical characteristics amplitude of the

pulses of acoustic emission to the process of alignment of mating parts such as radical neck - the liner. Proposed a method of the factory running engine on the basis of feedback, which consists in the dynamic adjustment of the engine load modes, depending on the size of the controlled parameter of acoustic emission, allowing to reduce running time and increase the quality of the aligned mating parts.

Keywords: *the pulse amplitude of acoustic emission, alignment of mating parts, feedback.*

BIBLIOGRAPHY

1. Gornostaev, A. I. Povyshenie effektivnosti kontrolya kachestva prirabotki sopryazheniy metodom akusticheskoy emissii [Tekst] / A. I. Gornostaev, A. A. Deev, E. A. Panyukov // Innovatsii v aviatsionnykh kompleksakh i sistemakh voennogo naznacheniya. - Voronezh, 2009. № 2. - S. 27-31.
2. Deyneka, A. V. Sposob intensivatsii prirabotki sopryazheniy dvigateley voennoy avtomobil'noy tekhniki na osnove obosnovaniya rezhimov nagruzheniya [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 20.02.17: zashchishchena 29.06.01: utv. 24.09.2001 / Andrey Vladimirovich Deyneka. - Ryazan', 2001. - 135 s. - Bibliogr.: s. 114-123.
3. Gornostaev, A. I. Sposob diagnostirovaniya tribosopryazheniy dvigateley voennoy tekhniki v pro-tsesse prirabotki [Tekst] / A.I. Gornostaev, A.A. Deev // Nauchnyy vestnik akademii voennykh nauk Rossiyskoy federatsii. - Chelyabinsk, 2010. - № 26 - S. 35-38.
4. Baranov, V. M. Akusticheskaya emissiya pri trenii [Tekst] / V. M. Baranov. - M.: Energoatomizdat, 1998. - 215 s.
5. Deev, A. A. Akusticheskie kolebaniya v friktsionnom kontakte kak sposob kontrolya poverkhnostey treniya na etape prirabotki dvigateley vnutrennego sgoraniya [Tekst] / A. A. Deev // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo universiteta imeni S.A. Esenina. - 2010. № 4/29 - S. 132-147.
6. Programma metodika ispytaniy dvigateley KAMAZ 740.3902010 PM [Tekst]: ofits. tekst - Nabe-rezhnye Chelny: NTTS KAMAZ, 1999.- 12 s.
7. Kolchin, A. I. Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigateley [Tekst] / A. I. Kolchin, V. P. Demi-dov. - M.: Vysshaya shkola, 2002. - 496 s.

Deev Andrei Alexandrovich

Ryazan Higher Airborne Command School named after General - Army V. F. Margelov

Adjunct of the Chair of the Restoration of military equipment

Address: Ryazan, Military drivers street, 12

Tel. +7(953)7318399

E-mail: aa-deev@yandex.ru

**Продолжается подписка на журнал
«Мир транспорта и
технологических машин»**

**Подписной индекс журнала:
16376 («Пресса России»)
Подписка через редакцию:
(с любого месяца)**

Информация о подписке на нашем сайте

www.gu-unpk.ru

Тел. +7 (4862) 43-48-90

УДК 629.1-4

А. Г. ПАСТУХОВ, Е. П. ТИМАШОВ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС РЕМОНТА ШАРНИРОВ КАРДАННЫХ ПЕРЕДАЧ: РАЦИОНАЛЬНОСТЬ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ

Представлен рациональный технологический процесс ремонта карданных шарниров путем постановки тонкостенной втулки с последующим техническим обслуживанием путем замены рабочих поверхностей подшипниковых узлов. Приведены сопоставительные расчеты параметров рациональности, технико-экономических и оценка конкурентоспособности существующих и предлагаемого способов.

Ключевые слова: технологический процесс, карданный шарнир, напрессовка, втулка, замена рабочих поверхностей, коэффициент конкурентоспособности.

Производственный процесс ремонта крестовин карданных шарниров состоит из следующих основных операций: прием карданных шарниров в ремонт, наружной мойки, разборки крестовины на детали, мойки деталей, дефектации, восстановления, сборки, смазки и сдачи отремонтированной крестовины [1].

Схема технологического процесса ремонта приведена на рисунке 1. На схеме стрелками показана технологическая последовательность выполнения отдельных операций.

Опишем предполагаемую схему ремонта. После приемки крестовин осуществляется их наружная мойка и снятие игольчатых подшипников. Далее промывают крестовины и игольчатые подшипники и проводят их дефектацию. Игольчатые подшипники с предельным радиальным зазором направляют на склад негодных деталей. Крестовины и игольчатые подшипники, не достигшие предельного состояния, направляют на комплектование, где методами селективной сборки подбирают друг к другу, собирают, смазывают и сдают заказчику. Крестовины со значительным износом шипов восстанавливают. Для этого шипы шлифуют под размер ремонтной втулки. Втулки подбирают к шипам таким образом, чтобы получить требуемый натяг в соединении. После чего производится напрессовка втулок на шипы. У отремонтированных таким образом крестовин контролируют диаметры шипов и размеры по торцам крестовин. Далее, крестовины комплектуют новыми игольчатыми подшипниками с отверстием. В смазочные каналы и подшипники закладывается смазка, и крестовину собирают. По предлагаемой схеме ремонта разработана технологическая документация на восстановление крестовины.

В сфере технического сервиса огромное значение приобретает деятельность предприятий по восстановлению работоспособности отдельных узлов и деталей, а не полнокомплектных машин. Ранее в период плановой экономики существовали централизованные предприятия, занимающиеся капитальным ремонтом техники, в которых существовали цеха по восстановлению изношенных деталей различными способами. При этом объем работ данных предприятий, а соответственно цехов восстановления, был заранее запланирован и определен количественно, что приводило к снижению качества ремонта изделий. В условиях рыночной экономики современные предприятия, занимающиеся ремонтом техники, с целью повышения конкурентоспособности обязаны поддерживать высокое качество ремонта изделий, предоставлять более широкий перечень услуг по техническому сервису изделий с учетом пожеланий и финансовых возможностей заказчика. При этом предоставление услуг по восстановлению изношенных деталей может быть отдельной статьей доходов предприятия так как, использование восстановленных деталей снижает себестоимость ремонта техники, становится возможным восстановление деталей на заказ и цены на восстановленные детали по сравнению с новыми существенно ниже.

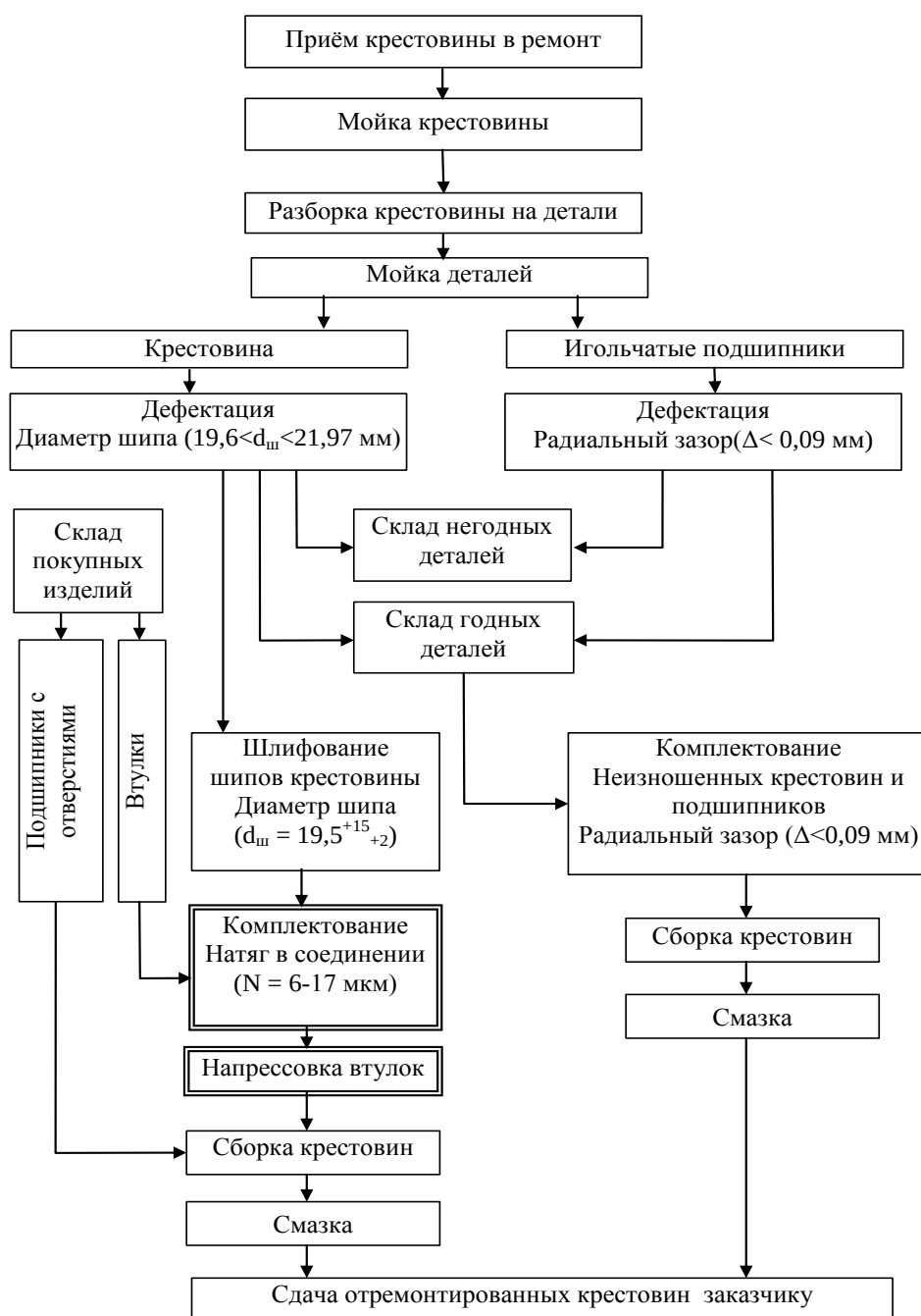


Рисунок 1 – Схема технологического процесса ремонта

Таким образом, для достижения цели интенсивного развития производства особо актуальным является решение задачи обеспечения конкурентоспособности продукции и услуг технического сервиса при достаточном уровне качества [2].

С целью рациональной организации производственного процесса технического сервиса изделий разработан обобщенный технологический процесс, структурная схема которого представлена на рисунке 2. Данная схема обоснована при организации технического сервиса в основном дорогостоящих изделий, поэтому в отдельных случаях некоторые пункты схемы исключают. Курсивом показаны ремонтные документы, сопровождающие процесс сервиса, правильное оформление которых позволяет облегчить взаимоотношения между заказчиком и исполнителем, тем самым, повышая качество оказания услуг.

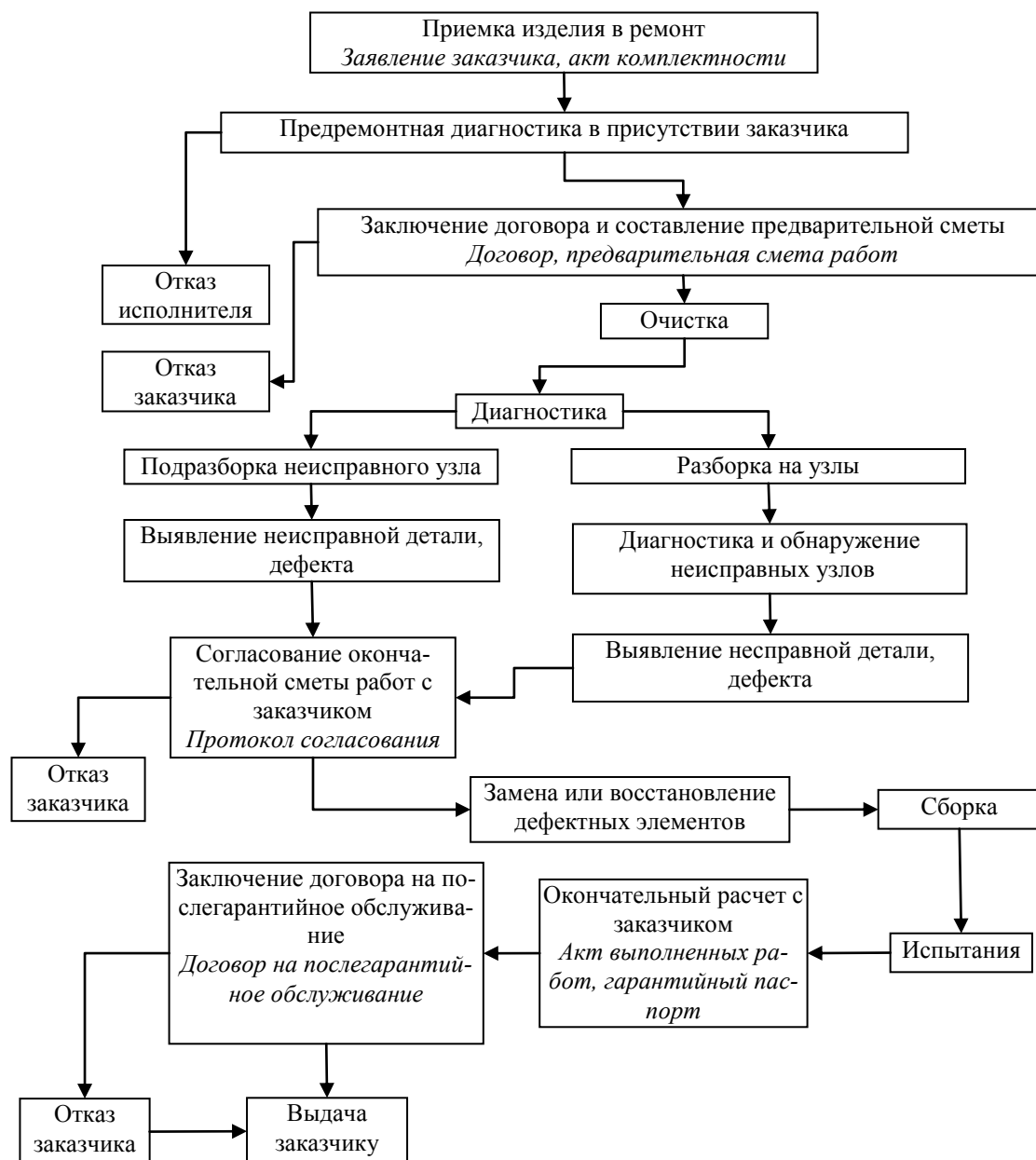


Рисунок 2 - Схема технологического процесса технического сервиса на специализированном предприятии

Сущность обобщенного технологического процесса заключается в реализации принципов дифференцированности назначения ремонтно-обслуживающих воздействий в соответствии с финансовыми возможностями заказчика и с учетом технических и технологических возможностей производства.

Следовательно, выбор рационального метода восстановления с целью представления продукции в диапазоне цен и соответствующего качества имеет первостепенное значение для предприятий технического сервиса. В этой связи задача оценки рыночной конкурентоспособности различных способов ремонтно-обслуживающих воздействий изношенных деталей и узлов является актуальной. В качестве объекта исследований рассмотрим технологические процессы ремонта карданных шарниров сельскохозяйственной техники.

В практике ремонта карданных шарниров известны способы восстановления изношенных крестовин вибродуговой наплавкой (1), описанный В.С. Малаховым [3], электролитическое железнение (2), исследованный Н.М. Рогава [4], электроконтактная приварка стальной ленты (3) и газопламенное напыление (4), описанные В.И. Черноивановым [2] и замена

изношенной крестовины в сборе новой деталью (5), наиболее часто используемый в настоящее время.

С целью расширения перечня и повышения эффективности мероприятий повышения долговечности карданных шарниров нами разработан технологический процесс ремонта на основе постановки дополнительной ремонтной детали-втулки на шипы крестовины и последующего технического обслуживания в виде замены рабочих поверхностей при повороте подшипникового узла и втулки по техническому решению RU 2232309 (6).

Ввиду разнообразия способов восстановления карданных шарниров возникает необходимость выбора наиболее конкурентоспособного способа с учетом всех возможных воздействий. Классическим считается трехкритериальный метод выбора рационального способа восстановления деталей с учетом технологического, технического и технико-экономического критериев, разработанный В.А. Шадричевым. Однако данный метод не учитывает всей специфики ремонтно-обслуживающих воздействий, поэтому для оценки конкурентоспособности отремонтированных карданных шарниров предлагается использовать безразмерный интегральный критерий — коэффициент конкурентоспособности K_{KV} .

Технологический процесс ремонта карданных шарниров последовательным применением восстановления и технического обслуживания по патенту RU 2232309 реализован на примере КШ IV типоразмера, применяемого в трансмиссиях привода вала отбора мощности Беларус 80.1/82.1 с валом приема мощности КПРН-3,0 и РОУ-6А, автомобиля ГАЗ-САЗ-53А и др. Производственная апробация способа проведена в условиях ЗАО «Ремонтно-механический завод» п. Волоконовка Белгородской области. По прайс-листу торговой организации «ЮГТЕХКОМПЛЕКТ» г. Ростов-на-Дону (www.utks.ru), стоимость крестовины IV типоразмера равна 155,0 руб, а цена игольчатого подшипника 804704 составляет 22,0 руб.

В качестве оценочных принимаем показатели рациональности, эффективности и целесообразности способов ремонта, характеризующие упомянутые способы по экономическим, техническим и технико-экономическим величинам: стоимость восстановления детали (1), стоимость восстановленной детали в сборе (2), коэффициент долговечности (3), отношение стоимости восстановления к коэффициенту долговечности (4), минимальную цену восстановленной детали (5), экономическую эффективность восстановления крестовины в сборе (6), стоимость восстановленной детали от цены новой в процентах (7).

Заводскую себестоимость восстановления детали C_{3i} , руб, с определенным сочетанием дефектов, можно определить по формуле

$$C_{3i} = \sum_{i=1}^n C_{Bi} + D_{\Pi} + C_{\Phi}, \quad (1)$$

где C_{Bi} — себестоимость устранения i -го сочетания дефектов без учета затрат на очистку и дефектацию детали, руб;

D_{Π} — стоимость дополнительных работ (очистка и дефектация), руб;

C_{Φ} — затраты на приобретение ремонтного фонда (стоимость изношенной крестовины), руб.;

n — количество дефектов.

Стоимость дополнительных работ рекомендуется принимать 10 % от себестоимости устранения дефектов

$$D_{\Pi} = 0,1 \cdot \sum_{i=1}^n C_{Bi}. \quad (2)$$

Стоимость изношенных деталей рекомендуется принимать 10 % от цены новой детали

$$C_{\Phi} = 0,1 \cdot C_H. \quad (3)$$

Себестоимость восстановления изношенных крестовин определяется согласно удельной стоимости восстановления единицы площади поверхности деталей в соответствии с рекомендациями МГАУ и ГОСНИТИ, а также с учетом значений коэффициентов переоценки стоимостных величин [38, 100]

$$C_B = C_y \cdot S, \quad (4)$$

где C_y – удельная себестоимость восстановления, руб/дм²;

S – полная площадь восстанавливаемой поверхности, дм².

Для зоны износа цилиндрической поверхности шипов крестовины площадь определяют с учетом количества шипов $n_{ш}$ и их размеров:

$$S = \eta \cdot n_{ш} \cdot \pi \cdot d \cdot l_B, \quad (5)$$

где d – диаметр шипа, мм;

l_B – длина восстановления шипа, мм;

η – коэффициент повреждения поверхности шипа (принимается 0,5).

При восстановлении износа цилиндрической и торцевой поверхностей шипов крестовины площадь поверхности составляет

$$S = n_{ш} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (d^2 - d_0^2)}{4} + \pi \cdot d \cdot l_B \right), \quad (6)$$

где d_0 – диаметр отверстия шипа, мм.

Экономическую эффективность $\mathcal{E}_B$, руб, восстановления изношенных деталей следует определять по формуле

$$\mathcal{E}_B = \left(\frac{C_H - C_{Ocm}^H}{L_{ha}^H} + \frac{C_B - C_{Ocm}^B}{L_{ha}^B} \right) \cdot L_{ha}^B, \quad (7)$$

где C_H, C_B – цена новой и восстановленной деталей, соответственно, руб;

C_{Ocm}^H, C_{Ocm}^B – остаточная стоимость новой и восстановленной деталей после эксплуатации, руб;

L_{ha}^H, L_{ha}^B – ресурсы новой и восстановленной деталей, ч.

Потребитель заинтересован приобрести восстановленную деталь вместо новой в случае, если затраты на единицу ресурса при использовании восстановленной детали будут меньше, чем при использовании новой детали:

$$\frac{C_B}{K_0} < C_H, \quad (8)$$

откуда максимальная цена восстановленной детали определяется выражением

$$C_{B\max} < C_H \cdot K_0. \quad (9)$$

Минимальная цена изделия для производителя соответствует выражению

$$C_{B\min} = C_{zi} + P, \quad (10)$$

где C_{zi} – заводская себестоимость восстановления детали, руб;

P – планируемая балансовая прибыль, руб, определяемая по формуле

$$P = \frac{H_{пр} \cdot C_{zi}}{100}, \quad (11)$$

где $H_{пр}$ – норма прибыли, %, рекомендуется принимать не менее 20 %.

Согласно расчетным зависимостям (1) – (11) выполним сравнение рассмотренных ранее способов восстановления (1) – (6). Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что: 1) минимальная стоимость восстановления крестовины и наименьший технико-экономический критерий достигаются при восстановлении способами электролитического железнения (2) и постановки ремонтной втулки с последующим техническим обслуживанием (6); 2) стоимость восстановленной крестовины в сборе для большинства способов составляет 58...80 % от цены новой детали; 3) экономическая целесообразность и эффективность восстановления крестовин карданных шарниров по способу RU 2232309 подтверждается, при этом разброс цен на восстановленную деталь существенно шире, что позволяет утверждать о рыночной привлекательности данных изделий.

Таблица 1 - Результаты расчета показателей конкурентоспособности

№ п/п	Показатели	Кодирование способов восстановления					
		1	2	3	4	5	6
1	Стоимость восстановления крестовины, руб.	75	38	64	90	155	75
2	Стоимость восстановленной детали, руб.	179	142	168	194	243	179
3	Коэффициент долговечности	0,62	0,80	0,80	0,60	1,0	1,5
4	Технико-экономический критерий, руб.	121	48	80	150	155	50
5	Стоимость восстановленной детали от цены новой, %	74	58	69	80	100	74
6	Минимальная цена восстановленной детали, руб.	215	170	202	233	243	215
7	Максимальная цена восстановленной детали, руб.	151	194	194	146	243	365
8	Разброс цены восстановленной детали, руб.	0	24	0	0	0	150
9	Экономическая эффективность восстановления крестовины в сборе при минимальной цене детали, руб.	138	183	151	120	61	138

Для принятия окончательного решения о выборе рационального, а значит наивыгоднейшего способа ремонта карданных шарниров, применим геометрический метод [5], позволяющий увязать разноразмерные критерии в одном интегральном коэффициенте конкурентоспособности.

В качестве примера рассмотрим определение коэффициента конкурентоспособности на основе коэффициента долговечности, технико-экономическом критерии и стоимости восстановленной детали от цены новой.

Для сравнения указанных способов показатели сравнения должны быть равновесными (стремиться к минимуму или максимуму). Так как технико-экономический критерий и стоимость восстановленной детали от цены новой стремятся к минимуму, а коэффициент долговечности – к максимуму, то в качестве оценочного показателя принимаем обратную величину.

Сравнение способов произведем графически. В трехмерном пространстве построим шесть пирамид, боковые ребра которых расположены вдоль осей абсцисс, ординат и аппликата и в масштабе выражают численные значения показателей. Пирамида с минимальным объемом будет соответствовать наиболее конкурентоспособному способу восстановления.

Объем пирамиды определяем по следующей формуле

$$V = \frac{1}{6} \left(K_{тэ} \cdot C \cdot \frac{1}{K_d} \right), \quad (12)$$

где V – объем пирамиды;

$K_{тэ}$ - технико-экономический критерий;

C - стоимость восстановленной детали от цены новой;

K_d - коэффициент долговечности.

Для ранжирования и оценки конкурентоспособности произведем сравнение способов восстановления с наименее эффективным способом.

Коэффициент конкурентоспособности вычислим по следующей формуле

$$K_{KV} = \frac{V_i}{V_{\max}}, \quad (13)$$

где K_{KV} – коэффициент конкурентоспособности;

V_i – объем i -й пирамиды;

$V_{\max}$ – объем пирамиды, соответствующий способу с наибольшим объемом пирамиды.

Основные значения принятых показателей сравнения способов восстановления, величины коэффициента конкурентоспособности и ранг способа приведены в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2 - Результаты определения объема пирамид и рангов

№	Показатели	Способы восстановления					
		1	2	3	4	5	6
1	Технико-экономический критерий ($K_{ТЭ}$), руб.	121	48	80	150	155	50
2	Стоимость восстановленной детали от цены новой (C), %	74	58	69	80	100	74
3	Обратный коэффициент долговечности ($1/K_d$)	1,61	1,25	1,25	1,67	1,0	0,67
4	Объем пирамиды, V_i	2403	580	1150	3340	2583	413
5	Коэффициент конкурентоспособности, K_{KV}	0,72	0,17	0,34	1,0	0,77	0,12
6	Ранг способа восстановления	4	2	3	6	5	1

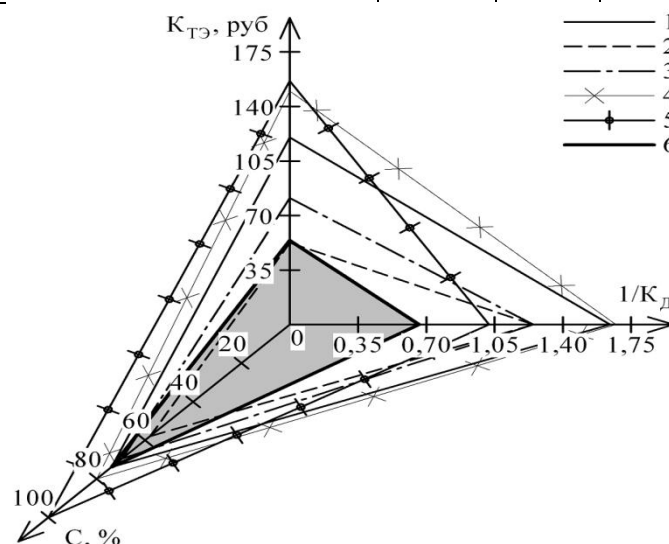


Рисунок 3 - Графическое сравнение конкурентоспособности способов восстановления

Таким образом, анализ данных таблицы 2 и рисунка 2 показывает, что минимальный объем пирамиды и наименьший коэффициент конкурентоспособности соответствуют предлагаемому авторами способу повышения долговечности карданных шарниров по техническому решению RU 2232309. Наименее выгодным является способ газопламенного напыления (4).

Обобщение представленного выше материала позволяет констатировать следующие результаты.

1. Разработан технологический процесс ремонта крестовин карданных шарниров постановкой ремонтных втулок, разработана технологическая документация на восстановление крестовины и произведена апробация данного процесса на ремонтных предприятиях Белгородской области.

2. На основании исследований и анализа практического опыта работы ремонтных предприятий предложен обобщенный технологический процесс сервисного сопровождения изделий. Основными принципами данной схемы являются дифференцированность ремонтно-обслуживающих воздействий и ориентация на пожелания и финансовые возможности заказчика.

3. Эффективным методом выбора рациональных и экономически выгодных способов ремонта изделий является многокритериальная оценка конкурентоспособности на основе графического метода определения минимума оценочной функции в виде объема пирамид и минимума коэффициента конкурентоспособности при сравнении значений функции с наименее выгодным способом.

4. Апробация методики оценки конкурентоспособности показывает, что методика работоспособна, наглядна и практична в действии, кроме того, в качестве показателей оценочной функции объема пирамиды можно принимать последовательно различные показатели рациональности и технико-экономической эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев, Л. Н. Технология машиностроения и ремонт машин [Текст] / Л. Н. Воробьев. – М.: Высшая школа, 1981. – 344 с.
2. Черноиванов, В. И. Научные основы технической эксплуатации сельскохозяйственных машин [Текст] / В. И. Черноиванов, В. М. Михлин, М. А. Халфин и др. – М.: ГОСНИТИ, 1996. – 360 с.
3. Малахов, В. С. Ремонт тракторов Т-150 и Т-150К [Текст] / В. С. Малахов, А. С. Мудрук, П. М. Кривенко. – М.: Колос, 1982. – 222 с.
4. Рогава, Н. М. Исследование и разработка технологии восстановления электролитическим железоникелевым сплавом деталей чаесборочных и подрезочных машин, работающих при повторно-переменных нагрузках [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Н. М. Рогава. – Тбилиси: Изд-во ГрузНИИМЭСХ, 1981. – 23 с.
5. Репетов, А. Н. Методика принятия технического решения [Текст] / А. Н. Репетов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1993. - № 12. - С. 28-30.

Пастухов Александр Геннадиевич

БелГСХА им. В.Я. Горина

Д-р техн. наук, доцент, профессор, заведующий кафедрой общетехнических дисциплин

Тел. +7(960)6276818

E-mail: pastukhov_ag@mail.ru

Тимашов Евгений Петрович

БУКЭП

Канд. техн. наук, доцент кафедры сервиса и туризма

Тел. +7(905)6701397

E-mail: timachov@mail.ru

A. G. PASTUKHOV, E. P. TIMACHOV

TECHNOLOGICAL PROCESS OF REPAIR OF HINGES OF DRIVE LINES: RATIONALITY AND COMPETITIVENESS

Rational technological process of repair cardan hinges by statement of the thin-walled barrel with the subsequent maintenance operation by replacement of work faces of bearing mount assemblies is presented. Comparative calculations of parameters of rationality, technical and economic and an estimation of competitiveness existing and offered modes are resulted.

Keywords: technological process, cardan the hinge, press fitting, the barrel, replacement of work faces, competitiveness factor.

BIBLIOGRAPHY

1. Vorob`ev, L. N. Tekhnologiya mashinostroeniya i remont mashin [Tekst] / L. N. Vorob`ev. - M.: Vysshaya shkola, 1981. - 344 s.
2. Chernoiivanov, V. I. Nauchnye osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii sel'skokhozyaystvennykh mashin [Tekst] / V. I. Chernoiivanov, V. M. Mikhlin, M. A. Halfin i dr. - M.: GOSNITI, 1996. - 360 s.
3. Malakhov, V. S. Remont traktorov T-150 i T-150K [Tekst] / V. S. Malakhov, A. S. Mudruk, P. M. Krivenko. - M.: Kolos, 1982. - 222 s.
4. Rogava, N. M. Issledovanie i razrabotka tekhnologii vosstanovleniya elektroliticheskim zhelezo-nikelevym splavom detaley chaesborochnykh i podrezochnykh mashin, rabotayushchikh pri povtorno-peremennykh na-gruzkakh [Tekst]: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk / N. M. Rogava. - Tbilisi: Izd-vo GruzNIIMESH, 1981. - 23 s.
5. Repetov, A. N. Metodika prinyatiya tekhnicheskogo resheniya [Tekst] / A. N. Repetov // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. - 1993. - № 12. - S. 28-30.

Pastuhov Aleksandr Gennadievich

BelGSHA them. V. J. Gorin

Dr. tech., associate professor, professor, head of general technical disciplines

Tel. +7(960)6276818

E-mail: pastukhov_ag@mail.ru

Timashov Eugene Petrovich

BUKEP

Candidate tech. Sciences, Associate Professor of Service and Tourism

Tel. +7(905)6701397

E-mail: timachov@mail.ru

В. И. САРБАЕВ, Ю. В. ГАРМАШ, И. И. ПОНОМАРЕВА

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Целью работы является разработка адаптивной системы управления электроприводом постоянного тока, способной подстраиваться под изменение входных параметров на примере управления температурой салона автотранспортного средства. Задача создания простого и дешевого устройства регулирования микроклимата в салоне автотранспортного средства решается регулировкой скорости воздушного потока отопителя салона.

Ключевые слова: адаптация, широтно-импульсная модуляция, скорость воздушного потока, электропривод постоянного тока, закон изменения напряжения питания.

ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является разработка адаптивной системы управления электроприводом постоянного тока, способной подстраиваться под изменение входных параметров. Рассмотрим применение подобной системы в автомобильной технике на примере управления температурой салона автотранспортного средства.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Автоматическое регулирование микроклимата в салоне в современных автомобилях обеспечивается кондиционерами. Однако их стоимость достаточно велика (около 1500 \$ США), в связи с чем они не нашли еще широкого применения в отечественном автомобилестроении. Задача создания простого и дешевого устройства регулирования микроклимата в салоне автотранспортного средства является актуальной. Подобную задачу можно решить, регулируя скорость воздушного потока отопителя салона, которая определяется скоростью вращения вентилятора. Предлагаемый «кондиционер» позволяет поддерживать заданную температуру в салоне автомобиля при температуре воздуха ниже заданной, что в нашем климате бывает довольно часто.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Из теории двигателей постоянного тока (ДПТ) [1] известно, что скорость вращения якоря определяется: напряжением питания, сопротивлением в цепи якоря и магнитным потоком. Варьировать режим работы двигателя возможно [2,3] при применении широтно-импульсной модуляции (ШИМ), которая характеризуется коэффициентом заполнения

$$\gamma = t_u / T,$$

где t_u – длительность импульса управления,

$T = f^{-1}$ – период повторения импульсов.

Если период следования импульсов T остается постоянным, а длительность импульса t_u изменяется, то постоянная составляющая U_{cp} (среднее напряжение) всей последовательности импульсов тоже будет изменяться. Это регулируемое U_{cp} можно использовать для питания двигателя.

Среднее напряжение на ДПТ:

$$U = U_{bat} \frac{t_u}{T},$$

где U_{bat} – напряжение бортовой сети автомобиля, В.

В этом случае вполне возможно плавное регулирование постоянной составляющей напряжения на ДПТ и, следовательно, плавное изменение скорости вращения якоря двигателя.

С повышением f выше 100 Гц двигатель из-за инерционности реагирует не на отдельные импульсы, а только на среднее значение напряжения.

Рассмотрим применение ШИМ в системе автоматического регулирования микроклимата в салоне автотранспортного средства. Поддерживать высокую скорость вращения вентилятора после того, как салон уже прогрелся, никакой необходимости нет. Однако, в высокой скорости воздушного потока нет необходимости при низкой температуре воздуха, поступающего из отопителя при непрогретых салоне и радиаторе отопителя (после длительной стоянки автомобиля). Скорость воздушного потока должна быть высокой только тогда, когда салон еще не прогрет, а температура воздуха, поступающего из отопителя, уже достаточно высока.

Функциональная схема устройства, работающего описанным выше образом, представлена на рисунке 1.

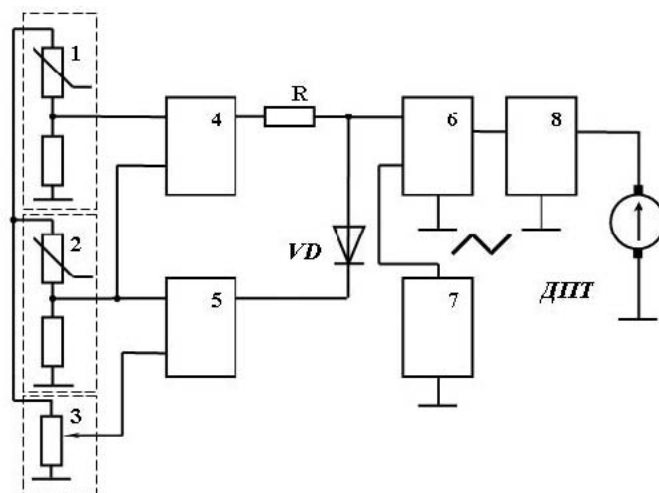


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматического регулятора частоты вращения вентилятора отопителя салона

1 – датчик температуры отопителя, 2 – датчик температуры салона, 3 – задающее устройство, 4 – первый разностный усилитель, 5 – второй разностный усилитель, 6 – компаратор, 7 – генератор пилообразного напряжения, 8 – выходной каскад ШИМ

Работа схемы основана на использовании двух разностных усилителей 4 и 5. Усилитель 4 сравнивает температуру воздуха, поступающего из отопителя в салон, и температуру в салоне. Напряжение на его выходе прямо пропорционально разности этих температур. Усилитель 5 сравнивает температуру в салоне и температуру, установленную задающим устройством.

Работает устройство следующим образом. После пуска ДВС, из отопителя поступает холодный воздух, температура которого много ниже, чем установленная задающим устройством 3. При этом на выходе второго разностного усилителя 5 получается высокий уровень напряжения. Диод VD находится в закрытом состоянии и второй разностный усилитель 5 не влияет на работу формирователя ШИМ сигнала. При близких температурах воздуха в салоне и воздуха, поступающего из радиатора, выходное напряжение первого разностного усилителя 4 близко к нулю. Оно сравнивается компаратором 6 с напряжением, которое вырабатывает генератор пилообразного напряжения 7. На выходе компаратора 6 и формируется сигнал ШИМ, имеющий в данном случае близкий к нулю коэффициент заполнения. Скорость вращения вентилятора при этом минимальна. По мере прогрева охлаждающей жидкости, циркулирующей по радиатору отопителя, температура поступающего в салон из него воздуха возрастает, напряжение на выходе разностного усилителя 4 повышается, что приводит к увеличению коэффициента заполнения ШИМ сигнала на выходе компаратора 6. При этом скорость вращения вентилятора растет и, по мере увеличения разности температур воздуха отопителя и салона, скорость воздушного потока увеличивается.

При прогреве салона разность между реальной температурой салона и температурой, установленной задающим устройством 3, уменьшается. Напряжение на выходе второго разностного усилителя 5 также начинает уменьшаться. При сближении реальной и установленной температур салона диод VD открывается и напряжение в точке соединения открывшего-

ся диода и сопротивления R , определится напряжением на выходе усилителя 5 и открытым диоде. Напряжение на входе компаратора 6 задается уже выходным напряжением усилителя 5. Это приводит к уменьшению коэффициента заполнения ШИМ сигнала и уменьшению среднего напряжения на электродвигателе вентилятора. Поэтому скорость вращения вентилятора уменьшается по мере сближения реальной и установленной температур салона.

Схема 8 выходного каскада ШИМ предназначена для подачи напряжения на электродвигатель вентилятора и может быть реализована следующим образом (рис. 2).

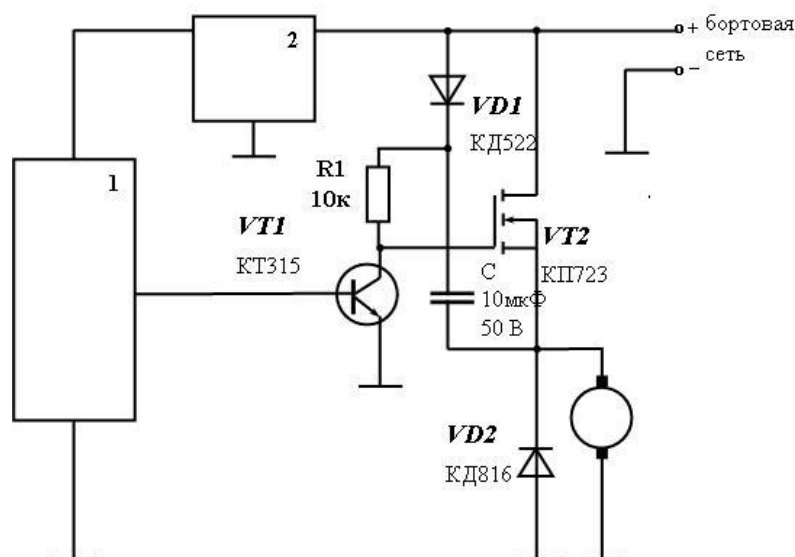


Рисунок 2 – Регулятор частоты вращения с электродвигателем вентилятора, подключенным к корпусу:
1 – ШИМ - модулятор, 2 – стабилизатор напряжения

При закрытом полевом транзисторе конденсатор C заряжается до напряжения бортовой сети через диод $VD1$ и электродвигатель вентилятора. При поступлении импульса от схемы 1 ШИМ через усилитель на транзисторе $VT1$ на затвор полевого транзистора $VT2$ он открывается, напряжение на электродвигателе вентилятора возрастает и, следовательно, повышается потенциал на нижней по схеме обкладке конденсатора. Напряжение на емкости не может измениться мгновенно, поэтому возрастает потенциал на верхнем по схеме выводе C .

Следовательно, напряжение на усилителе $VT1$ увеличивается практически до удвоенного напряжения бортовой сети. Диод $VD1$ предотвращает быстрый разряд конденсатора. Заряда конденсатора C хватает для такого «динамического» удержания $VT2$ в открытом состоянии во время действия импульса. После окончания импульса происходит подзаряд конденсатора C до напряжения бортовой сети.

Устройство выполнено в корпусе, по размерам соответствующему стандартному переключателю режимов работы электрооборудования (рисунок 3).

Основные характеристики устройства: погрешность поддержания установленной температуры $\pm 3^{\circ}\text{C}$; диапазон регулировки скорости вращения вентилятора от 5 до 95 %; диапазон рабочих температур от -40°C до 50°C ; частота ШИМ сигнала 5 кГц; напряжение бортовой сети 12 или 24 В.

Мощность, рассеиваемая при открытом ключе на полевом транзисторе мала из-за малого сопротивления канала (для примененного транзистора КП723 - около 0,05 Ом) и, соответственно, небольшого падения напряжения на нем. При закрытом ключе - рассеиваемая мощность также мала из-за высокого (порядка сотен МОм) сопротивления канала.

Мощность при переключении небольшая, поскольку время переключения (десятки наносекунд) много меньше периода сигнала. Мощность, рассеиваемая на полевом транзисторе в ключевом режиме, настолько мала (до 6 Вт), что позволяет использовать его с небольшим радиатором охлаждения вплоть до номинальных мощностей двигателей вентилятора в 180 Вт. Поэтому применение подобной регулировки скорости вращения вентилятора

отопителя позволяет существенно повысить коэффициент полезного действия системы отопления и обеспечить заданные комфортные температурные условия.



Рисунок 3 - Внешний вид автомобильного устройства регулирования микроклимата

Установка устройства на автомобиль оказывается достаточно простой и не требует существенного изменения конструкции – достаточно подключить провод, идущий от вентилятора к выходу устройства и запитать устройство от бортовой сети. Корпус "кондиционера" размещается в штатном гнезде переключателя режимов работы отопителя салона.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Отметим, что подобного рода регулировка с использованием ШИМ – преобразования оказывается достаточно эффективной и в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания [4]. Для реализации такой регулировки следует по мере прогрева двигателя внутреннего сгорания плавно увеличивать скорость вращения вентилятора системы охлаждения вплоть до выхода температуры двигателя на номинальный режим (принцип пропорционального регулирования). Подобное устройство позволяет повысить точность поддержания температуры двигателя внутреннего сгорания и ресурс его работы, уменьшить скорость износа.

Отметим еще одну особенность предложенного решения – устройство может работать при различных напряжениях бортовой сети (как 12 В, так и 24 В) без каких-либо изменений, как в схеме, так и в конструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный экономичный способ управления электроприводом можно применить не только в автомобильной технике, но и при проведении экспериментальных исследований с целью термостатирования исследуемых устройств, а также во многих других случаях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блажкин, А. Т. Общая электротехника [Текст] / Под ред. А. Т. Блажкина. - Л.: Энергоатомиздат, 1986. - 591 с.
2. Пряшников, В. А. Электроника [Текст]: Курс лекций. – С.Пб.: Корона – принт, 1998. - 399 с.
3. Интегральные микросхемы. Микросхемы для импульсных источников питания и их применение [Текст]. – М.: Додека, 2000. - 608 с.
4. Пат. 2366582 Российская Федерация, МПК В60К 11/02, F04D 27/00. Система управлением электро-вентилятором охлаждения двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Гармаш Ю.В., Шевченко Н.П., Михневич Л.Е., Семин В.И.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военный автомобильный институт № 2008118619; опубл. 10.09.2009. Бюл. № 25.

Сарбаев Владимир Иванович

Московский государственный индустриальный университет

Д-р техн. наук, профессор, почетный работник транспорта РФ, заведующий кафедрой эксплуатации транспортных средств

Адрес: ул. Автозаводская, 16

Тел. +7(495)6740785

E-mail: sarbev@mail.msiu.ru

Гармаш Юрий Владимирович

Современный технический институт

Адрес: 390048, г. Рязань, ул. Новоселов, д. 35А

Канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой энергетики

Тел: +7(4912)300630

E-mail: yury.garmasch@yandex.ru

Пономарева Ирина Ивановна

Рязанское военное воздушно-десантное училище (военный институт)

Адрес: 390031 г. Рязань-31, пл. Маргелова, д. 1

Ст. преподаватель

Тел: +7(4912)377611

V. I. SARBAEV, U. V. GARMASH, V. I. PONOMAREV

MANAGEMENT DC MOTOR VEHICLES

The purpose of work is development of an adaptive control system by the electric drive of the direct current, capable to be arranged under change of entrance parameters on an example of management in temperature of interior of the vehicle. The problem of creation of the simple and cheap device of regulation of a microclimate in interior of the vehicle is solved adjustment of speed of an air stream of a heater of interior.

Keywords: adaptation, pulse-width modulation, air speed, DC motor, the variation of the voltage supply.

BIBLIOGRAPHY

1. Blazhkin, A. T. Obshchaya elektrotehnika [Tekst] / Pod red. A. T. Blazhkina. - L.: Energoatomizdat, 1986. - 591 s.
2. Pryashnikov, V. A. Elektronika [Tekst]: Kurs lektsiy. - S.Pb.: Korona - print, 1998. - 399 s.
3. Integral'nye mikroskhemy. Mikroskhemy dlya impul'snykh istochnikov pitaniya i ikh primeneniye [Tekst]. - M.: Dodeka, 2000. - 608 s.
4. Pat. 2366582 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V60K 11/02, F04D 27/00. Sistema upravleniem elektro-ventilyatorom okhlazhdeniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Tekst] / Garmash YU.V., Shevchenko N.P., Mikhnevich L.E., Semin V.I.; Zayavitel' i patentoobladatel' Ryazanskiy voennyi avtomobil'nyy institut № 2008118619; opubl. 10.09.2009. Byul. № 25.

Sarbaev Vladimir Ivanovich

Moscow State Industrial University

Dr. tech., professor, honored worker of Transport, Head of the operation of vehicles

Address: g. Moscow, ul. Avtozavodskaya, 16

Tel. 7(495)6740785

E-mail: sarbev@mail.msiu.ru

Garmash Yuriy Vladimirovich

Modern Institute

Address: 390048, Ryazan, ul. Novoselov, etc. 35A

Candidate tech., Professor, Head of the Department of Energy

Tel: 7(4912)300630

E-mail: yury.garmasch@yandex.ru

Ponomareva Irina Ivanovna

Ryazan Military Airborne School (Military Institute)

Address: 390 031 Ryazan-31, pl. Margelov, 1

Art. teacher

Tel: 7(4912)377611

Л. С. УШАКОВ, А. В. ЩЕКОЧИХИН

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье представлена математическая модель гидропневматической силовой импульсной системы. Применен объектно-ориентированный метод моделирования, позволивший создать библиотеку типовых элементов.

Ключевые слова: математическая модель, гидропневматическая силовая импульсная система, объектно-ориентированный метод.

В настоящее время выпускается большее 1000 моделей гидромолотов [1], которые можно использовать в качестве сменного оборудования современных высокопроизводительных строительных и дорожных машин. Повышенные требования к гидроприводу такой машины необходимы, чтобы реализовать возможности гидромолота как преобразователя гидравлической энергии в механическую энергию удара. Существуют различные варианты подключения гидромолота, который, как правило, навешивается на манипулятор и находится на периферии по отношению к гидронасосу. В связи с этим гидравлическая силовая импульсная система характеризуется протяженностью и большим числом различных включенных в нее элементов, сложностью характера функционирования. Повышение эффективности такой системы представляет собой актуальную научно-техническую задачу. Для ее решения применяют метод математического моделирования.

Известные модели, построенные с помощью декомпозиции исходной схемы [2] имеют относительно упрощенное описание отдельных элементов, таких как трубопроводы, предохранительный клапан и другие, недостаточное для углубленного исследования динамики гидропневматических силовых импульсных систем на современном уровне. Поэтому при разработке математической модели гидропневматической силовой импульсной системы важными задачами были тщательное изучение каждого элемента, физических процессов внутри него и процессов взаимодействия между такими элементами. Возможность применения подобных математических моделей и их совершенствование связано в первую очередь с развитием ЭВМ и программных средств автоматизации исследований. Не смотря на то, что существуют такие программы, как HYDRA, SIMHYD, SimulationX, MATLAB (SIMULINK) и другие [3], имеющие библиотеки стандартных элементов, а также свободно распространяемые пакеты, например, Scilab применение их для решения поставленных задач обходится достаточно дорого, особенно при исследовании и проектировании систем, требующих расчетов различных вариантов структурных схем. Понятно, что чем чаще используется программа и чем меньше изменений необходимо в ней делать при переходе от одной задачи к другой, тем быстрее она окупается. Этому требованию полностью удовлетворяет объектно-ориентированный подход [4] к моделированию реализованный в пакете Model Vision [5]. Он позволяет создавать библиотеки типовых компонентов, модифицировать их, устанавливать связи между ними, и тем самым существенно экономить время разработки новых проектов.

С помощью объектно-ориентированного метода разработана математическая модель реальной гидропневматической силовой импульсной системы (рис. 1).

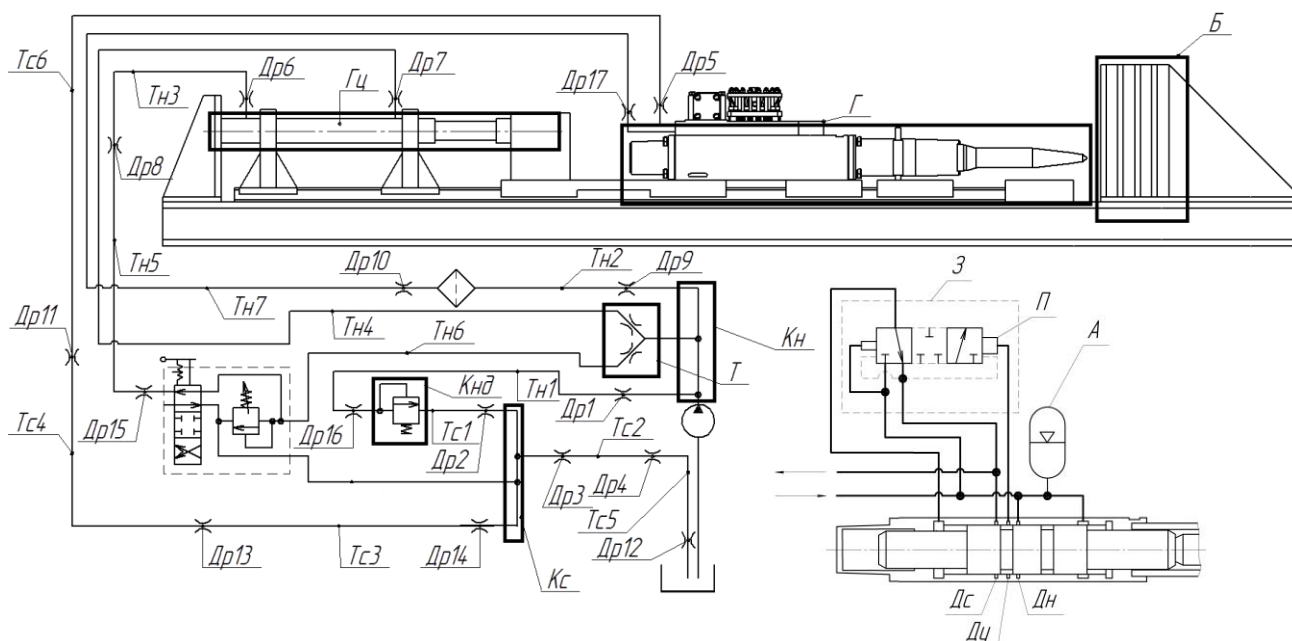


Рисунок 1 - Анализ принципиальной гидравлической схемы гидропневматической силовой импульсной системы и выделение объектов: А - аккумулятор напорный пневмогидравлический; Б - буфер;

Г – гидроцилиндр (в модели объект «ГУУД» - гидравлическое устройство ударного действия);

Гц - гидроцилиндр; Дн, Дс, Ду - давления в напорной, сливной и управления расточках, соответственно;

Др - дроссель; З - золотник; Кн - коллектор напорный, Кс - коллектор сливной (в модели описаны в объекте «коллектор»); Кнд - клапан непрямого действия; П - плунжер; Т - тройник; Тн1-8 - напорные трубопроводы;

Тс1-7 - сливные трубопроводы

При анализе принципиальной схемы (рис. 1) были выделены функциональные элементы и процессы: коллектор, гидроцилиндр, дроссель, тройник, клапан непрямого действия, трубопроводы напорные и сливные, гидроцилиндр (в модели объект «ГУУД» - гидравлическое устройство ударного действия), реакция, давление, буфер и удар. Причем, в гидроцилиндре: напорный пневмогидравлический аккумулятор, золотник, плунжер, датчик, давления в напорной, сливной и управления расточках, соответственно. Затем каждый функциональный элемент и процесс представлены как активные динамические объекты в соответствии с принципами языка MVL пакета моделирования Model Vision.

В качестве примера модели объекта, рассмотрим объект «клапан непрямого действия» (Кнд) - составной, поэтому разделен на три объекта: «основной клапан», «вспомогательный клапан» и «подача», в котором рассчитывается давление в напорной полости основного клапана, сливной полости основного и вспомогательного клапанов и общий расход на выходе из клапана. Расчетная схема давлений и расходов на рисунке 2.

Объект «основной клапан» имеет три состояния, представленные на карте поведения (рис. 2): полностью закрыт - 1; движение запорного элемента - 2; полностью открыт - 3. Каждому состоянию соответствует система уравнений. При моделировании были сделаны допущения: остановка плунжеров основного и вспомогательного клапанов в крайних положениях мгновенная, без ударов, гидродинамические силы давления жидкости не учитываются, корпус клапана абсолютно жесткий.

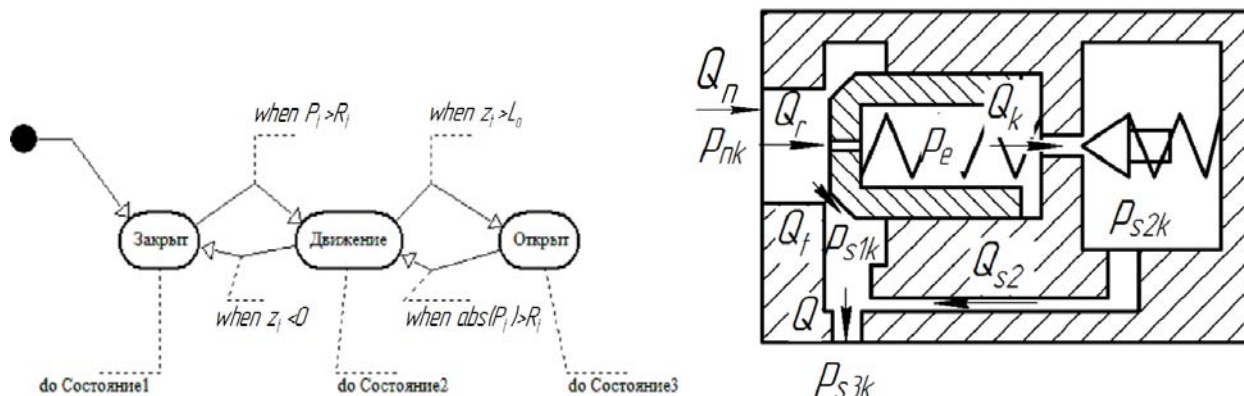


Рисунок 2 - Расчетная схема давлений и расходов клапана непрямого действия и карта поведения объекта «основной клапан»

Приведем систему уравнений, определяющих состояние № 2 - "движение" запорного элемента основного клапана:

$$\frac{d^2 z_t}{dt^2} = \frac{S_r \cdot p_{nk} - S_i \cdot p_e - \frac{v \cdot \rho \cdot S_{ek} \cdot v_t - R_t \cdot \text{sign}(v_t) - C \cdot (z_t + z_o)}{\Delta_{ek}}}{M + M_s}; \quad (1)$$

$$v_t = \frac{dz_t}{dt}; \quad (2)$$

$$P_t = S_r \cdot p_{nk} - S_i \cdot p_e - C \cdot (z_t + z_o); \quad (3)$$

$$\frac{dQ_t}{dt} = B_2 \cdot \left(\mu_1 \cdot \pi \cdot D \cdot z_t \cdot \text{sign}(p_{nk} - p_{s1k}) \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \text{abs}(p_{nk} - p_{s1k})} - Q_t \right); \quad (4)$$

$$B_2 = \sqrt{\frac{1}{\rho \cdot l_1} \cdot \text{abs}(p_{nk} - p_{s1k}) \cdot \frac{\zeta_1}{2 \cdot l_1}}; \quad (5)$$

$$R_t = M \cdot g \cdot f_{sl}; \quad (6)$$

$$\frac{dp_e}{dt} = \frac{E}{V - S_i \cdot z_t} \cdot (Q_r - Q_k + S_i \cdot v_t); \quad (7)$$

$$\frac{dQ_r}{dt} = B_k \cdot \left(\mu_k \cdot S \cdot \text{sign}(p_{nk} - p_e) \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \text{abs}(p_{nk} - p_e)} - Q_r \right); \quad (8)$$

$$B_k = \sqrt{\frac{1}{\rho \cdot l_k} \cdot \text{abs}(p_{nk} - p_e) \cdot \frac{\zeta_k}{2 \cdot l_k}}. \quad (9)$$

где z_t - текущая координата центра тяжести плунжера основного клапана, м;

v_t - скорость центра тяжести плунжера основного клапана, м/с;

P_t - сумма сил давления жидкости и сжатия пружины, действующих на плунжер клапана, Н;

R_t - сила трения, Н;

M - масса плунжера клапана, кг;

f_{sl} - коэффициент трения;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

S_r, S_i - рабочие площади плунжера клапана со стороны напорной линии и межклапанной полости, соответственно, м²;

C - жесткость пружины основного клапана, Н/м;

z_o - предварительное сжатие пружины основного клапана, м;

V - объем межклапанной полости, м³;

μ_k - коэффициент расхода через жиклерное отверстие;

S - площадь жиклерного отверстия клапана, м²;

ρ - плотность жидкости, кг/м³;

B_k - параметр [6], характеризующий расход через жиклерное отверстие клапана, с^{-1} ;
 l_k - длина жиклерного отверстия основного клапана, м;
 ζ_k - коэффициент гидравлического сопротивления жиклерного отверстия;
 B_2 - параметр, характеризующий расход через основной клапан, с^{-1} ;
 S_{ek} - площадь щели в сопряжении основной клапан - втулка, м^2 ;
 ν - кинематическая вязкость рабочей жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$;
 Δ_{ek} - зазор в сопряжении основной клапан - втулка, м;
 M_s - присоединенная масса пружины и жидкости [7], равная 0,5 массы пружины, кг;
 D - диаметр плунжера клапана, м;
 μ_1 - коэффициент расхода через клапан;
 l_1 - длина столба жидкости в отверстии клапана, м;
 ζ_1 - коэффициент гидравлического сопротивления основного клапана;
 p_{nk}, p_e, p_{s1k} - давления (рис. 2), Па;
 Q_r, Q_k, Q_t - расходы (рис. 2), $\text{м}^3/\text{с}$.

Таким образом, рассмотрены объекты «вспомогательный клапан» и «подача». Структурная схема составного объекта «клапан непрямого действия» ($Kнд$) показана на рисунке 3.

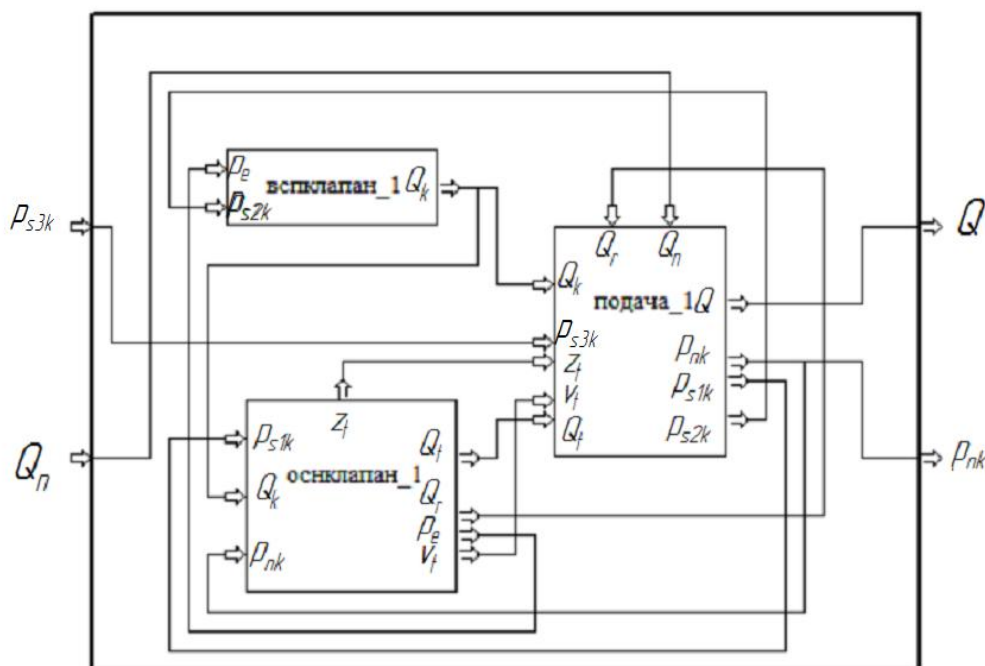


Рисунок 3 - Структура составного объекта «клапан непрямого действия»

На рисунке 3 показано, что объекты «основной клапан», «вспомогательный клапан» и «подача» обмениваются рассчитанными значениями переменных. Причем на вход каждого объекта может подаваться лишь одно значение переменной в данный момент времени, а рассчитанное в объекте значение переменной может быть передано сразу в несколько объектов. Например, из объекта «подача» значение переменной p_{nk} передается в объект «основной клапан», чтобы подставить его в уравнение (1), также оно передается на выход объекта «клапан непрямого действия» ($Kнд$), чтобы затем его использовать для расчета расхода жидкости, поступающей в клапан непрямого действия - Q_n с помощью объекта «дрессель».

После разработки моделей всех объектов составляется схема модели - рисунок 4. Для реализации модели разработана программа «Ударник» [8].

Пользователь задает требуемые параметры каждого объекта. Затем выбирает стандартный метод решения дифференциальных уравнений, задает погрешности и проводит вы-

числительный эксперимент. В результате получают временную диаграмму изменения требуемой переменной, например, скорости бойка и давления в напорном коллекторе рисунок 5.

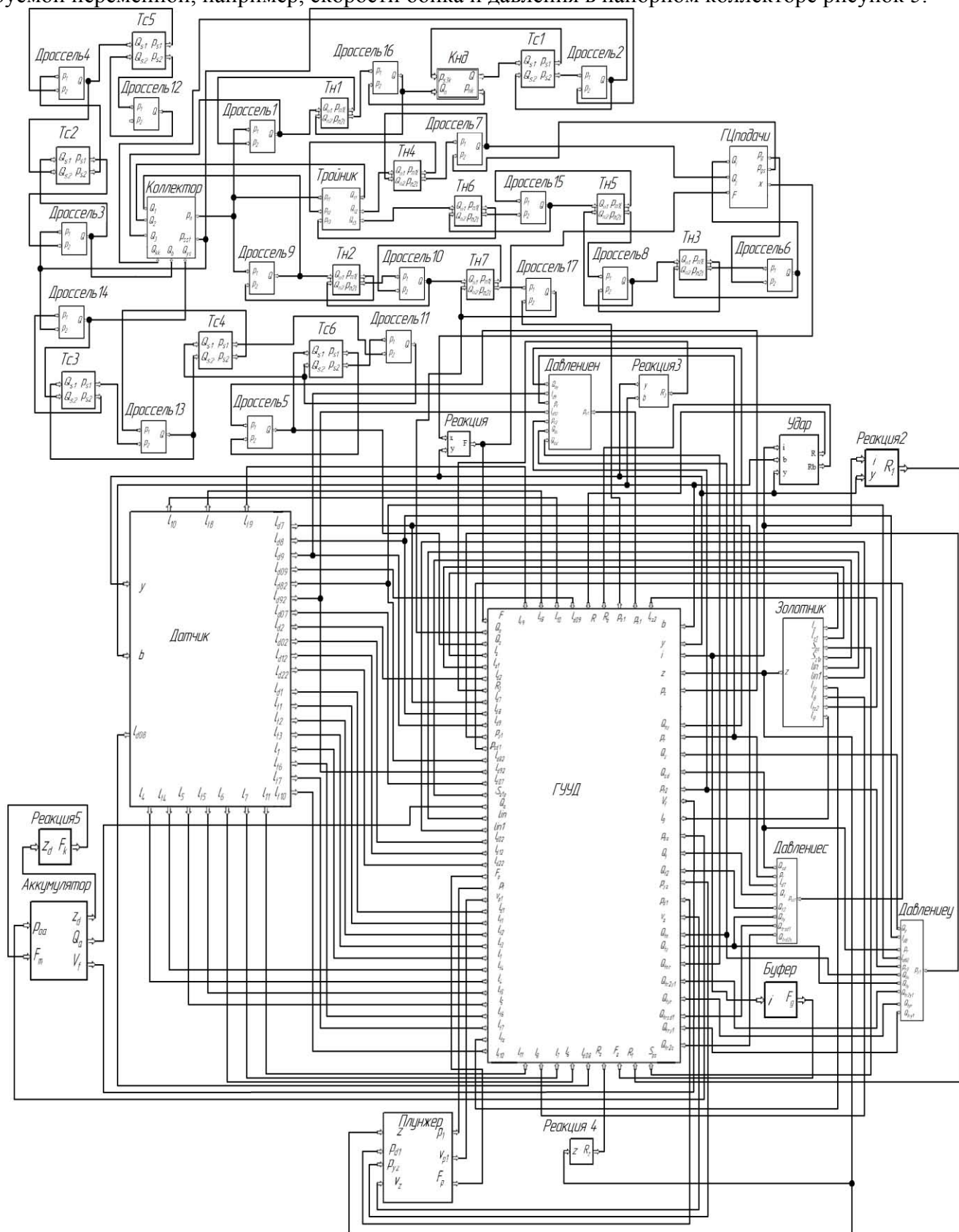


Рисунок 4 - Схема объектно-ориентированной модели

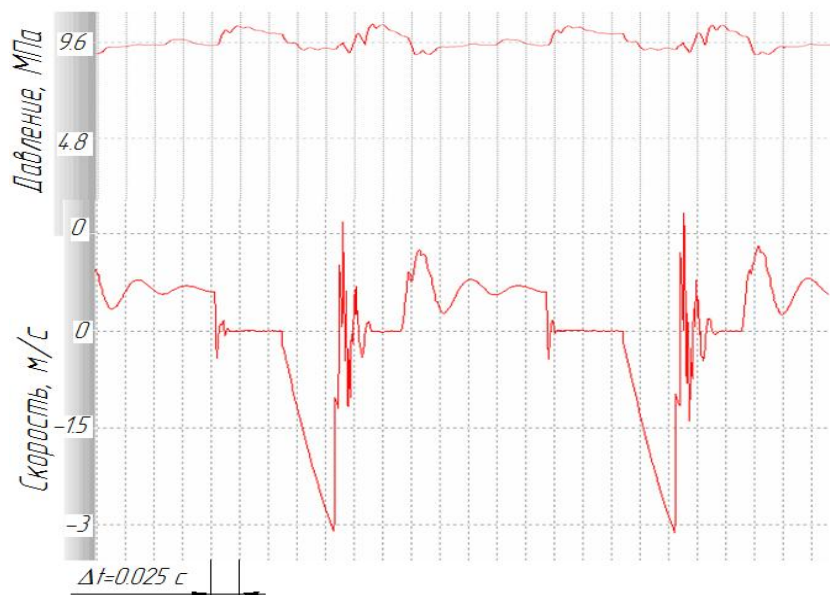


Рисунок 5 - Расчетные диаграммы изменения скорости бойка и давления в напорном коллекторе

Разработанная модель и программа для ее реализации «Ударник» позволяют исследовать влияние различных факторов на эффективность сложной гидропневматической силовой импульсной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щекочихин, А. В. Гидромолоты: идентификация как способ получения информации [Текст] / Л.С. Ушаков // Строительные и дорожные машины №2/2011 - С. 10-12.
2. Сагинов А.С., Янцен И.А., Ешуткин Д.Н., Пивень Г.Г. Теоретические основы создания гидроимпульсных систем ударных органов машин. - Алма-Ата Наука, 1985. - 256 с.
3. Полянин В.А., Холкин И. Н., Черняков А. А. Программные средства автоматизации исследований в гидроприводе. - Ковров.: Изд-во КГТА, 1998. - 62 с.
4. Колесов Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. -СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. - 240 с.
5. Среда программирования MvStudium версия 4.2.22 Персональная лицензия SK2240282.3255349
6. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ/ Под ред. Е. Ю. Малиновского. - М.: Машиностроение, 1980. - 216 с., ил.
7. Машиностроительная гидравлика. Башта Т. М., "Машиностроение", 1971, стр. 672.
8. «Ударник»: свидет. о регистр. прог. для ЭВМ 2011610771 Рос. Федерация: / А.В. Щекочихин, В.А. Кравченко, Л.С. Ушаков; заявитель и правообладатель Орловский гос. технич. ун-т. - №2010615930; заяв. 28.09.10; зарег. 13.01.11.

Ушаков Леонид Семенович

Государственный университет-УНПК, г. Орел

Д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «ПТиСДМ»

E-mail: oushakov2007@mail.ru

Щекочихин Александр Викторович

Государственный университет-УНПК

Адрес: г. Орел, ул. Московская, 77

Инженер УИЛ «Импульсные технологии»

Тел. +7(4862)734351

E-mail: shekochihin.alek@mail.ru

L. S. USHAKOV, A. V. SHCHEKOSHIKHIN

MATHEMATICAL MODEL OF HYDROPNEUMATIC FORSE PULSE SYSTEM BASED ON THE METHOD OF OBJECT-ORIENTED MODELING

The article presents a mathematical model of hydropneumatic force pulse system. Applied to an object-oriented modeling method, which allowed to create a library of standard elements.

Keywords: *mathematical model; hydropneumatic force pulse system; object-oriented method.*

BIBLIOGRAPHY

1. Shchekochikhin, A. V. *Gidromoloty: identifikatsiya kak sposob polucheniya informatsii* [Tekst] / L.S. Ushakov // *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* №2/2011 - S. 10-12.
2. Saginov A.S., YAntsen I.A., Eshutkin D.N., Piven` G.G. *Teoreticheskie osnovy sozdaniya gidroimpul'snykh sistem udarnykh organov mashin.* - Alma-Ata Nauka, 1985. - 256 s.
3. Polyanin V.A., Holkin I. N., Chernyakov A. A. *Programmnye sredstva avtomatizatsii issledovaniy v gidroprivodostroenii.* - Kovrov.: Izd-vo KGTA, 1998. - 62 s.
4. Kolesov YU.B. *Ob'ektno-orientirovannoe modelirovanie slozhnykh dinamicheskikh sistem.* - SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2004. - 240 s.
5. *Sreda programmirovaniya MyStudium versiya 4.2.22 Personal'naya litsenziya SK2240282.3255349*
6. *Raschet i proektirovanie stroitel'nykh i dorozhnykh mashin na EVM/ Pod red. E. YU. Malinovskogo.* - M.: Mashinostroenie, 1980. - 216 s., il.
7. *Mashinostroitel'naya gidravlika.* Bashta T. M., "Mashinostroenie", 1971, str. 672.
8. "Udarnik": svidet. o registr. prog. dlya EVM 2011610771 Ros. Federatsiya: / A.V. Shchekochikhin, V.A. Kravchenko, L.S. Ushakov; zayavitel' i pravoobladatel' Orlovskiy gos. tekhnich. un-t. - №2010615930; zayav. 28.09.10; zareg. 13.01.11.

Ushakov Leonid Semenovich

State University-UNPK, Orel

Address: g. Orel, Moscovs Street., 77

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. department "PTaSDM"

E-mail: oushakov2007@mail.ru

Shchekochikhin Aleksandr Viktorovich

State University-UNPK

Address: g. Orel, Moscovs Street., 77

Engineer TRL «Pulse technologies»

Tel. +7(8462)734351

E-mail: shekochihin.alek@mail.ru

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе 2-ой

международной научно-практической

интернет-конференции

**«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИННОВАЦИОННОГО
РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА»,**

которая будет проводиться в период

со 2 апреля - 25 мая 2012 года.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ОСЕВОЙ СИЛЫ ПРИГРУЗА, РАЗВИВАЕМОЙ МАШИНОЙ ДЛЯ ПОГРУЖЕНИЯ ВИНТОВЫХ ЯКОРЕЙ В ГРУНТ

Предложены аналитические зависимости, позволяющие обосновать минимально необходимую осевую силу пригруза, развиваемую машиной для погружения винтовых якорей в грунт, с учетом геометрических параметров винтовых якорей и физико-механических свойств грунта.

Ключевые слова: винтовой якорь; погружение; грунт; машина; осевая сила пригруза; срез грунта; буксование.

ВВЕДЕНИЕ

Основным назначением винтовых якорей является закрепление оттяжек, обеспечивающих устойчивость различных сооружений (например, опор высоковольтных линий электропередачи, радиомачт и башен линий сотовой связи). Также винтовые якоря находят широкое применение при строительстве нефте- и газопроводов на заболоченных, просадочных и пучинистых грунтах. За рубежом винтовые якоря часто используют для закрепления шпунтовых стенок при отрывке глубоких котлованов, усилении откосов и оползневых склонов.

Несмотря на перспективность конструкции и достоинства винтовых якорей, широкое их применение сдерживается отсутствием специальных серийно выпускаемых машин и оборудования для погружения их в грунт. Поэтому вопросы, связанные с исследованием и созданием таких машин, представляются актуальными.

Одним из основных параметров, необходимых для выбора технических характеристик машин для завинчивания винтовых якорей в грунт, является развиваемая машиной осевая сила пригруза. Осевая сила пригруза необходима, чтобы не допустить срыва и рыхления грунта на начальной фазе погружения винтового якоря, и далее, на протяжении всего процесса погружения, не допускать его буксования с целью сохранения естественной структуры грунта [1]. И особое значение имеет вопрос определения минимально необходимой величины осевой силы пригруза, т.к. с её увеличением возрастает величина крутящего момента завинчивания якоря в грунт [2, с. 49, 57].

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДАННОЙ ПРОБЛЕМЕ

Вопрос определения минимально необходимой осевой силы пригруза из условия обеспечения внедрения винтового якоря в грунт на начальной фазе погружения рассмотрен в работе [2, с. 57-61]. Однако в предлагаемой зависимости не учтено осевое сопротивление внедрению режущей кромки винтовой лопасти (которое может составлять до 10% от осевого сопротивления внедрению конусного наконечника), а также не выявлено влияние угла заострения конусного наконечника и коэффициента трения на осевое сопротивление внедрению его в грунт. Также в [2] не рассматривалась возможность пробуксовки винтового якоря в грунте.

Условия отсутствия буксования винтовых анкеров и свай в более глубоких слоях грунта рассмотрены в работе [1]. Однако при получении зависимостей расчетная схема принята несколько упрощенной и не учтено уплотнение грунта в радиальном направлении вследствие внедрения ствола анкера/свай (предполагается гидростатическое напряженное состояние грунта).

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Получение аналитических зависимостей для определения минимальной осевой силы пригруза, необходимой для нормального погружения винтового якоря в грунт, с учетом геометрических параметров якоря и физико-механических свойств грунта.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ОСЕВОЙ СИЛЫ ПРИГРУЗА, НЕОБХОДИМОЙ НА НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ ПОГРУЖЕНИЯ ВИНТОВОГО ЯКОРЯ

На начальной фазе погружения винтового якоря осевая сила пригруза необходима для преодоления осевых сил сопротивления внедрению конусного наконечника и режущей кромки винтовой лопасти якоря в грунт (рис. 1), т.к. винтовая лопасть ещё недостаточно защемлена грунтом и не создает тягового усилия. Пренебрегая осевым сопротивлением от трения поверхностей лопасти и ствола о грунт, получим условие выбора минимально необходимой осевой силы пригруза:

$$Q_{min} > F_k + F_{кр} - F_g, \quad (1)$$

где F_k – осевая сила сопротивления внедрению конусного наконечника;

$F_{кр}$ – осевая сила сопротивления внедрению кромки винтовой лопасти;

F_g – сила тяжести якоря и ключа для завинчивания.

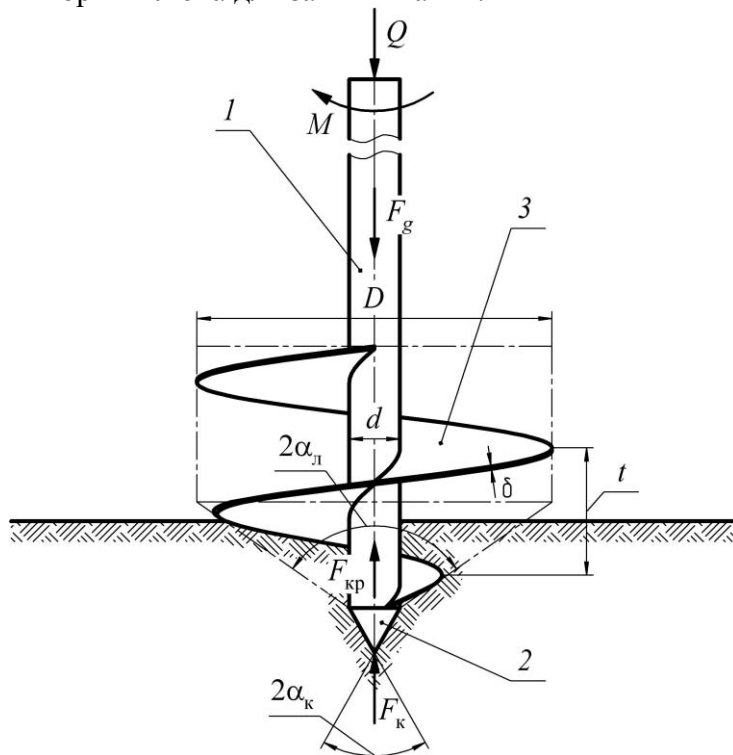


Рисунок 1 – Расчетная схема к начальной фазе погружения винтового якоря:

1 – ствол; 2 – конусный наконечник; 3 – винтовая лопасть

Подробно вопрос определения осевых сил сопротивления F_k и $F_{кр}$ рассмотрен в [3]. Ниже приведены только расчетные формулы.

Осевая сила сопротивления внедрению конусного наконечника в грунт

$$F_k = \frac{2\pi\sigma_r}{\cos\alpha_k} \cdot \left[\frac{d^2}{8} + \left(\frac{f \cdot k}{\cos\alpha_k} \right) \frac{\sqrt{0.25d^2 + k^2} - k}{\sin\alpha_k} + \left(\frac{f \cdot k}{\cos\alpha_k} \right)^2 \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{0.25d^2 + k^2} - f \cdot k \cdot \operatorname{tg}\alpha_k}{k - f \cdot k \cdot \operatorname{tg}\alpha_k} \right) \right], \quad (2)$$

где d – диаметр ствола винтового якоря, м;

$2\alpha_k$ – угол конусности наконечника;

$$k = \frac{t}{2\pi \cdot \cos\alpha_k}, \text{ м;}$$

t – шаг винтовой лопасти, м;

f – коэффициент трения конусного наконечника о грунт;

σ_r – радиальное напряжение на поверхности конусного наконечника, Н/м² [3].

Осевая сила сопротивления внедрению в грунт кромки винтовой лопасти

$$F_{кр} = f \cdot q \cdot t \cdot n_{зах}, \quad (3)$$

где f – коэффициент трения кромки о грунт;

$q = \sigma_{пр} \cdot \delta$ – удельная сила внедрения кромки в грунт, Н/м;

δ – толщина кромки, м;

$\sigma_{пр} = k_{пр} \cdot \sigma_o$ – приведенное сопротивление грунта сжатию, Н/м²;

$k_{пр} = 2,8$ – коэффициент приведения, учитывающий схему взаимодействия винтовой лопасти с грунтом;

$\sigma_o = 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$ – сопротивление грунта одноосному сжатию, Н/м²;

c – удельное сцепление грунта, Н/м²;

φ – угол внутреннего трения грунта;

t – шаг винтовой лопасти, м;

$n_{зах}$ – число витков заходной (конической) части лопасти.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО НЕОБХОДИМОЙ ОСЕВОЙ СИЛЫ ПРИГРУЗА ИЗ УСЛОВИЯ ОТСУТСТВИЯ БУКСОВАНИЯ ВИНТОВОГО ЯКОРЯ

По мере погружения якоря тяговая способность винтовая лопасть возрастает, и после того, как несущий виток лопасти погрузится на глубину $(2...3)D$, в большинстве случаев обеспечивается возможность дальнейшего завинчивания якоря без приложения осевой силы пригруза. В этом случае перемещение якоря осуществляется за счет взаимодействия верхней поверхности винтовой лопасти с грунтом. Как следствие, возникают значительные напряжения сдвига грунта на граничных поверхностях, охватывающих кромку винтовой лопасти якоря (рис. 2), что может вызвать срез грунта по этим граничным поверхностям. В этом случае якорь будет погружаться с буксованием, существенно нарушая структуру грунта, а в предельном случае – повернется на месте; и его нормальное завинчивание будет возможно только с дополнительным осевым пригрузом.

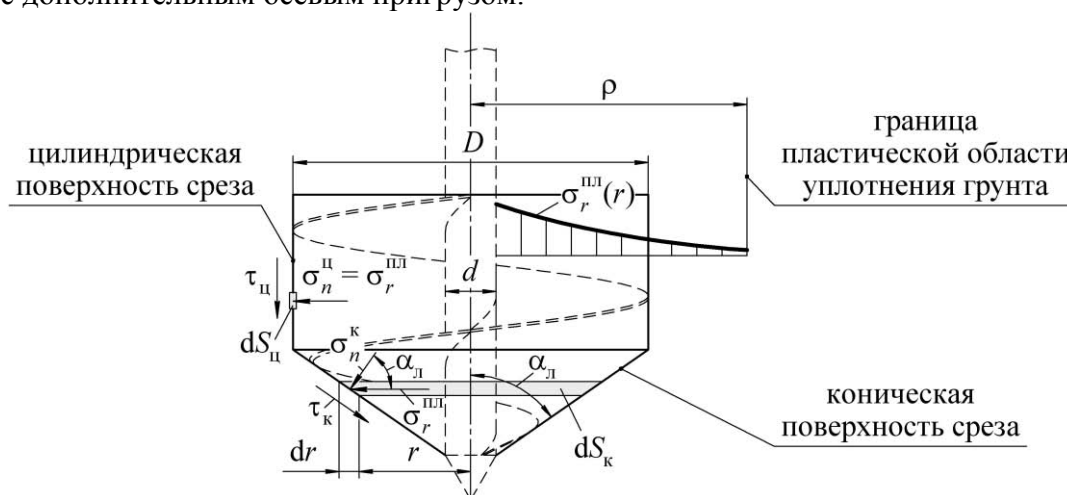


Рисунок 2 – Расчетная схема к определению сопротивлений грунта срезу по граничным поверхностям винтовой лопасти

Выбор минимальной осевой силы пригруза в этом случае необходимо производить из условия, чтобы осевая сила, передаваемая верхней поверхностью винтовой лопасти якоря на грунт, не превышала осевой силы сопротивления грунта срезу по граничным поверхностям. Тогда

$$Q_{min} > F_{кр} + F_k + F_{ст} - F_g - F_{ср}, \quad (4)$$

где $F_{кр}$ – осевая сила сопротивления внедрению кромки винтовой лопасти;

F_k – осевая сила сопротивления внедрению конусного наконечника;

$F_{ст}$ – осевая сила сопротивления на боковой поверхности ствола;

F_g – сила тяжести якоря и ключа для завинчивания;

F_{cp} – осевая сила сопротивления грунта срез по граничным поверхностям.

Осевые силы сопротивления F_k и F_{kp} определяются по формулам (2) и (3) соответственно. Осевая сила сопротивления на боковой поверхности ствола якоря [3]:

$$F_{ст} = \frac{\pi \cdot d \cdot t}{\sqrt{\pi^2 d^2 + t^2}} \cdot \sum (f_{ci} \cdot h_i), \quad (5)$$

где d – диаметр ствола, м;

t – шаг винтовой лопасти, м;

h_i – мощность i -го слоя грунта, м;

$f_{ci} = k \cdot f_{ni}$ – средняя величина удельного сопротивления на стволе якоря для i -го слоя грунта, Н/м²;

f_{ni} – расчетное сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности ствола при работе якоря, Н/м²; принимается согласно [4, табл. 7.2] в зависимости от типа и свойств грунта и глубины его залегания;

k – коэффициент условий работы; согласно [5, с. 107-108] в практических расчетах можно принимать $k = 1.0$ для пластичных грунтов (глины и суглинки малой и средней плотности с $I_L \geq 0.4$) и $k = 0.8$ для плотных грунтов (глины и суглинки с $I_L < 0.4$).

Осевая сила сопротивления грунта срез по граничным поверхностям, охватывающим кромку винтовой лопасти якоря (рис. 2), складывается из двух составляющих:

$$F_{cp} = F_{cp}^k + F_{cp}^ц, \quad (6)$$

где F_{cp}^k – осевая сила сопротивления грунта срез по граничной конической поверхности;

$F_{cp}^ц$ – осевая сила сопротивления грунта срез по граничной цилиндрической поверхности.

Составляющие осевой силы сопротивления грунта срез определяются интегрированием по соответствующим граничным поверхностям (рис. 2):

$$F_{cp}^k = \iint_{S_k} \tau_k \cdot \cos \alpha_{л} dS_k; \quad (7)$$

$$F_{cp}^ц = \iint_{S_ц} \tau_ц dS_ц, \quad (8)$$

где τ_k и $\tau_ц$ – предельное сопротивление грунта срез по конической и цилиндрической граничной поверхности соответственно, Н/м²;

$2\alpha_{л}$ – угол конусности винтовой лопасти.

В соответствии с известной зависимостью Кулона:

$$\tau = \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (9)$$

где σ_n – нормальное напряжение в грунте на поверхности среза, Н/м²;

φ – угол внутреннего трения грунта;

c – удельное сцепление грунта, Н/м².

На основании исследований [6] считаем, что вследствие внедрения ствола винтового якоря происходит уплотнение грунта в направлении, перпендикулярном к его оси, сопровождающееся увеличением нормальных напряжений и, следовательно, увеличением предельных сопротивлений грунта срез по граничным поверхностям винтовой лопасти.

Согласно [7], зона уплотнения грунта вокруг ствола винтового якоря разделяется на пластическую и упругую области (рис. 3).

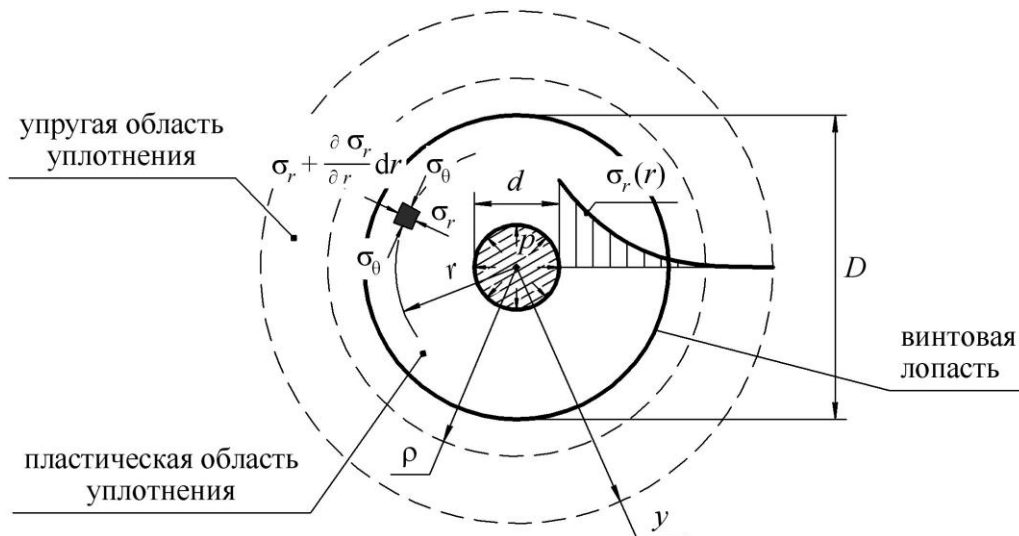


Рисунок 3 – Схема радиального уплотнения грунта вокруг ствола винтового якоря

Для любых грунтов значения радиальных нормальных напряжений в пластической и упругой областях уплотнения можно определить по аналитическим зависимостям [7, с.78-83]:

$$\sigma_r^{\text{пл}} = (p + \bar{c} \cdot \text{ctg} \varphi) \cdot \left(\frac{2r}{d} \right)^{\xi-1} - \bar{c} \cdot \text{ctg} \varphi, \quad 0.5d \leq r \leq \rho; \quad (10)$$

$$\sigma_r^{\text{уп}} = \frac{A}{r^2} + p_0, \quad \rho \leq r \leq y, \quad (11)$$

где d – диаметр ствола якоря, м;

r – расстояние от оси якоря до рассматриваемой точки, м;

$p = \left[\frac{E}{4p_H(1-\mu^2) - 2p_0(2-\mu)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot (p_H + \bar{c} \cdot \text{ctg} \varphi) - \bar{c} \cdot \text{ctg} \varphi$ – напряжение обжатия на стволе якоря, Н/м²;

E – модуль деформации грунта в зоне уплотнения (в первом приближении принимается равным модулю упругой деформации $E_{\text{упр}}$ грунта [7, с. 82]), Н/м²;

$\bar{c} = c - p_0 \cdot \text{tg} \varphi$, Н/м²;

$p_0 = \frac{\mu \cdot \gamma \cdot h}{1-\mu}$ – природное горизонтальное давление покоя грунта с объемным весом γ на рассматриваемой глубине h , Н/м²;

μ – коэффициент поперечного расширения грунта: в практических расчетах для песка можно принять $\mu = 0.5(1 - \sin \varphi)$, для суглинков и глин – $\mu = 0.1(1 + 3 \cdot I_L)$, для супесей – $\mu = 0.15(1 + I_L)$ [7, с. 84];

I_L – индекс текучести глинистого грунта;

$\xi = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ – коэффициент активного сопротивления грунта;

$A = \rho^2 \left[(p + \bar{c} \cdot \text{ctg} \varphi) \cdot \left(\frac{2\rho}{d} \right)^{\xi-1} - \bar{c} \cdot \text{ctg} \varphi - p_0 \right]$ – константа уравнения, Н;

$\rho = \frac{d}{2} \left[\frac{p + \bar{c} \cdot \text{ctg} \varphi}{p_H + \bar{c} \cdot \text{ctg} \varphi} \right]^{\frac{1}{1-\xi}}$ – радиус, ограничивающий область пластических деформаций, м;

$$\rho = \frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} + \frac{A}{p_0(1-2\mu)}} - \text{внешний радиус упругой области, м;}$$

$p_H = \frac{2(p_0 + \bar{c} \cdot \operatorname{ctg} \varphi)}{1 + \xi} - \bar{c} \cdot \operatorname{ctg} \varphi$ – давление, при котором начинается образование области предельного равновесия, Н/м².

При медленном продавливании грунта можно принять $p_0 = 0$ [7, с. 97]. Тогда $p_H = c \cdot \cos \varphi$, $\bar{c} = c$,

$$p = \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot c \cdot (\cos \varphi + \operatorname{ctg} \varphi) - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi = \text{const}.$$

С учетом этой зависимости (10) и (11) принимают вид:

$$\sigma_r^{\text{пл}} = \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot c \cdot (\cos \varphi + \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \left(\frac{2r}{d} \right)^{\xi-1} - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi; \quad (12)$$

$$\sigma_r^{\text{упр}} = \frac{A}{r^2}.$$

Расчеты показывают, что при рациональном соотношении диаметров винтовой лопасти и ствола якоря ($D/d \leq 5$) радиус пластической области $\rho > 0,5D$, т.е. при погружении якоря винтовая лопасть полностью перемещается в пластической области уплотнения грунта. Тогда нормальное напряжение σ_n^{II} на цилиндрической поверхности среза можно принять равным радиальному нормальному напряжению $\sigma_r^{\text{пл}}$ (рис. 2). Подставив $r = 0,5D$ в (12), получим:

$$\sigma_n^{\text{II}} = \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot c \cdot (\cos \varphi + \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \left(\frac{D}{d} \right)^{\xi-1} - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi = \text{const}. \quad (13)$$

Нормальное напряжение σ_n^{K} в данной точке конической поверхности среза будет зависеть от расстояния r ; кроме того, следует учитывать угол отклонения образующей конической поверхности среза от оси якоря, равный $\alpha_{\text{Л}}$ (рис. 2):

$$\sigma_n^{\text{K}} = \sigma_r^{\text{пл}} \cdot \cos \alpha_{\text{Л}} = \left\{ \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot c \cdot (\cos \varphi + \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \left(\frac{2r}{d} \right)^{\xi-1} - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi \right\} \cdot \cos \alpha_{\text{Л}}. \quad (14)$$

Подставив (13) и (14) поочередно в (9), найдем предельные сопротивления грунта срезу по цилиндрической и конической граничным поверхностям соответственно (рис. 2):

$$\tau_{\text{ц}} = \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot c \cdot (1 + \sin \varphi) \cdot \left(\frac{D}{d} \right)^{\xi-1} = \text{const}; \quad (15)$$

$$\tau_{\text{к}} = \left\{ \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot c \cdot (1 + \sin \varphi) \cdot \left(\frac{2r}{d} \right)^{\xi-1} - c \right\} \cdot \cos \alpha_{\text{Л}} + c. \quad (16)$$

При $\tau_{\text{ц}} = \text{const}$ интеграл (8) решается просто:

$$F_{\text{ср}}^{\text{II}} = \tau_{\text{ц}} \cdot S_{\text{ц}}, \quad (17)$$

где $S_{\text{ц}}$ – площадь цилиндрической поверхности среза, м^2 :

$$S_{\text{ц}} = \pi \cdot D \cdot t \cdot n_{\text{ц}}; \quad (18)$$

D – диаметр несущего витка винтовой лопасти, м ;

t – шаг винтовой лопасти, м ;

$n_{\text{ц}}$ – число витков цилиндрической части лопасти.

Подставив (15) и (18) в (17), после преобразований получим расчетную формулу для осевой силы сопротивления грунта срезу по цилиндрической поверхности:

$$F_{\text{ср}}^{\text{ц}} = \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot (1 + \sin \varphi) \cdot \pi \cdot c \cdot t \cdot n_{\text{ц}} \cdot \frac{D^{\xi}}{d^{\xi-1}}. \quad (19)$$

Подставив (16) в (7), после преобразований получим:

$$F_{\text{ср}}^{\text{к}} = \iint_{S_{\text{к}}} \left\{ \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot c \cdot (1 + \sin \varphi) \cdot \left(\frac{2r}{d} \right)^{\xi-1} - c \right\} \cdot \cos^2 \alpha_{\text{л}} dS_{\text{к}} + c \cdot \cos \alpha_{\text{л}} \cdot S_{\text{к}}.$$

Принимая в качестве элемента $dS_{\text{к}}$ элементарный конус с радиусами оснований r и $r+dr$ (рис. 2) и используя известное выражение $dS_{\text{к}} = \frac{2\pi r}{\sin \alpha_{\text{л}}} dr$, перейдем от поверхностного интеграла к простому и после некоторых преобразований получим:

$$F_{\text{ср}}^{\text{к}} = \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot c \cdot (1 + \sin \varphi) \cdot \frac{2\pi \cdot \cos^2 \alpha_{\text{л}}}{\sin \alpha_{\text{л}}} \cdot \left(\frac{2}{d} \right)^{\xi-1} \cdot \int_{0.5d}^{0.5D} r^{\xi} dr - c \cdot \frac{2\pi \cdot \cos^2 \alpha_{\text{л}}}{\sin \alpha_{\text{л}}} \cdot \int_{0.5d}^{0.5D} r dr + c \cdot \cos \alpha_{\text{л}} \cdot S_{\text{к}}, \quad (20)$$

где $S_{\text{к}}$ – площадь конической поверхности среза, м^2 :

$$S_{\text{к}} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4 \cdot \sin \alpha_{\text{л}}}. \quad (21)$$

Решив интегралы в выражении (20), с учетом (21) после преобразований получим расчетную формулу для осевой силы сопротивления грунта срезу по конической поверхности:

$$F_{\text{ср}}^{\text{к}} = \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{1 + \xi} \cdot \frac{\pi \cdot c}{2} \cdot \frac{\cos \alpha_{\text{л}}}{\text{tg} \alpha_{\text{л}}} \cdot \left(\frac{D^{\xi+1}}{d^{\xi-1}} - d^2 \right) + \frac{\pi \cdot c}{4} \cdot \frac{1 - \cos \alpha_{\text{л}}}{\text{tg} \alpha_{\text{л}}} \cdot (D^2 - d^2). \quad (22)$$

После подстановки (19) и (22) в (6) получим расчетную формулу осевой силы сопротивления грунта срезу по граничным поверхностям винтовой лопасти якоря:

$$F_{\text{ср}} = \left[\frac{E}{4c \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1-\xi}{2}} \cdot (1 + \sin \varphi) \cdot \pi \cdot c \cdot \left[t \cdot n_{\text{ц}} \cdot \frac{D^{\xi}}{d^{\xi-1}} + \frac{1}{1 + \xi} \cdot \frac{\cos \alpha_{\text{л}}}{2 \cdot \text{tg} \alpha_{\text{л}}} \cdot \left(\frac{D^{\xi+1}}{d^{\xi-1}} - d^2 \right) \right] + \frac{\pi \cdot c}{4} \cdot \frac{1 - \cos \alpha_{\text{л}}}{\text{tg} \alpha_{\text{л}}} \cdot (D^2 - d^2). \quad (23)$$

ВЫВОДЫ

Полученные зависимости позволяют с учетом геометрических параметров винтового якоря и физико-механических свойств грунта определить минимально необходимую осевую силу пригруза, обеспечивающую нормальное завинчивание якоря в грунт, и могут быть использованы при проектировании машин для погружения винтовых якорей. Полученные за-

висимости можно также использовать при проектировании винтовых якорей для выбора геометрических параметров, обеспечивающих наименьшее значение требуемой осевой силы пригруза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железков, В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства [Текст] / В. Н. Железков. – СПб. : Прагма, 2004. – 128 с.
2. Пенчук, В. А. Винтовые сваи и анкеры для опор [Текст] / В. А. Пенчук. – К.: Будівельник, 1985. – 96 с.
3. Ромакин, Н. Е. Сопротивление завинчиванию винтовой сваи в грунт [Текст] / Н. Е. Ромакин, С. В. Лебедев // Строительные и дорожные машины. – 2011. – № 9. – С. 37–42.
4. СП 50–102–2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов [Текст]: одобр. Госстроем России 21.06.2003: – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 110 с.
5. Богорад, Л. Я. Винтовые сваи и анкеры в электросетевом строительстве [Текст] / Л. А. Богорад. – М. : Энергия, 1967. – 200 с.
6. Иродов, М. Д. Применение винтовых свай в строительстве [Текст] / М. Д. Иродов. – М. : Стройиздат, 1968.
7. Лапшин, Ф. К. Расчет свай по предельным состояниям [Текст] / Ф. К. Лапшин. – Саратов : Изд-во СГУ, 1979. – 152 с.

Лебедев Сергей Владимирович

Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал) Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.

Адрес: 413800, Саратовская обл., г. Балаково, ул. Факел Социализма, д.16, кв. 8

Аспирант кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины»

Тел. +7(927)1230007

E-mail: lebedeff-mail@mail.ru

S. V. LEBEDEV

A RESEARCH OF AXIAL CROWD FORCE OF MACHINE FOR IMMERSION OF SCREW ANCHORS INTO GROUND

This paper presents analytical models to predict the minimum axial crowd force of the machine for the immersion of the screw anchors into the ground. The models were developed taking account of the anchors' geometrical parameters and physico-mechanical ground's parameters.

Keywords: screw anchor, immersion, ground, machine, axial crowd force, shear of ground, slippage.

BIBLIOGRAPHY

1. ZHelezkov, V. N. Vintovye svai v energeticheskoy i drugikh otraslyakh stroitel'stva [Tekst] / V. N. ZHelezkov. - SPb. : Pragma, 2004. - 128 s.
2. Penchuk, V. A. Vintovye svai i ankery dlya opor [Tekst] / V. A. Penchuk. - K.: Budivel'nik, 1985. - 96 s.
3. Romakin, N. E. Soprotivlenie zavinchivaniyu vintovoy svai v grunt [Tekst] / N. E. Romakin, S. V. Lebedev // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. - 2011. - № 9. - S. 37-42.
4. SP 50-102-2003. Proektirovanie i ustroystvo svaynykh fundamentov [Tekst]: odobr. Gosstroem Ros-sii 21.06.2003: - M.: FGUP TSPP, 2004. - 110 s.
5. Bogorad, L. YA. Vintovye svai i ankery v elektrosetevom stroitel'stve [Tekst] / L. A. Bogorad. - M. : Energiya, 1967. - 200 s.
6. Irodov, M. D. Primenenie vintovykh svay v stroitel'stve [Tekst] / M. D. Irodov. - M. : Stroyizdat, 1968.
7. Lapshin, F. K. Raschet svay po predel'nyim sostoyaniyam [Tekst] / F. K. Lapshin. - Saratov : Izd-vo SGU, 1979. - 152 s.

Lebedev Sergey Vladimirovich

Balakovo Institute of Technique, Technology and Management (branch) of Saratov State Technical University in the name of Yu.A. Gagarin

Post-graduate Student of the Department of «Pick-and-place, Construction and Road Building Machinery»

Address: 413 800, Saratov region., Balakovo, st. The torch of Socialism, 16, Apt. 8

Tel. +7(927)1230007

E-mail: lebedeff-mail@mail.ru

О. В. ФОМИНОВА, Е. Б. БЕЛОЗЁРОВА, В. И. ЧЕРНЫШЕВ

УПРАВЛЯЕМАЯ ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ ОБЪЕКТА С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Исследуются динамические свойства системы управляемой виброизоляции объекта с двумя степенями свободы. Показано, что формирование диссипативной силы как субоптимального компенсационного воздействия позволяет существенно уменьшить интенсивность динамических реакций и длительность переходных процессов по сравнению с пассивным аналогом.

Ключевые слова: виброизолятор с управляемым демпфером; прерывистое демпфирование; субоптимальное компенсационное воздействие.

В технологических машинах для виброизоляции виброактивного оборудования (двигателей, гидронасосов и т.п.), как правило, используются упругодемпфирующие опоры пассивного типа. Существенное повышение эффективности процесса виброизоляции обеспечивается за счет использования управляемых упругодемпфирующих опор (управляемых виброизоляторов).

Рассмотрим типовой виброактивный объект – балку, которая установлена на виброизоляторах с управляемым демпфером и подвергается периодическому силовому воздействию $P(t) = P_0 \cos \omega t$ (рис. 1).

Конструктивное исполнение левого и правого виброизоляторов одинаково. Кроме несущего упругого элемента и пассивного демпфера вязкого сопротивления они содержат управляемый демпфер, у которого диссипативная сила изменяется пропорционально смещению и периодически «обнуляется». В результате этого управляемые демпферы формируют прерывистые компенсационные воздействия (соответственно Q_1 и Q_2) субоптимального типа [1,2].

Запишем систему дифференциальных уравнений, которая описывает вынужденные колебания балки на виброизоляторах с управляемым демпфером. Учитывая компенсационные воздействия Q_1 и Q_2 , имеем:

$$\begin{cases} m \ddot{y} + c \left(y + \frac{l}{2} \varphi \right) + b \left(\dot{y} + \frac{l}{2} \dot{\varphi} \right) + c \left(y - \frac{l}{2} \varphi \right) + b \left(\dot{y} - \frac{l}{2} \dot{\varphi} \right) = P(t) + Q_1 + Q_2, \\ J \ddot{\varphi} + \frac{l}{2} \left[c \left(y + \frac{l}{2} \varphi \right) + b \left(\dot{y} + \frac{l}{2} \dot{\varphi} \right) \right] - \frac{l}{2} \left[c \left(y - \frac{l}{2} \varphi \right) + b \left(\dot{y} - \frac{l}{2} \dot{\varphi} \right) \right] = P(t) \left(z_0 - \frac{l}{2} \right) - Q_1 \cdot \frac{l}{2} + Q_2 \cdot \frac{l}{2}. \end{cases} \quad (1)$$

В системе дифференциальных уравнений (1) субоптимальные компенсационные воздействия прерывистого типа Q_1 и Q_2 определяются из соотношений:

$$Q_1 = if \left[\left(y - \frac{l}{2} \varphi \right) \left(\dot{y} - \frac{l}{2} \dot{\varphi} \right) < 0, \ g \left(y - \frac{l}{2} \varphi \right), 0 \right], \quad (2)$$

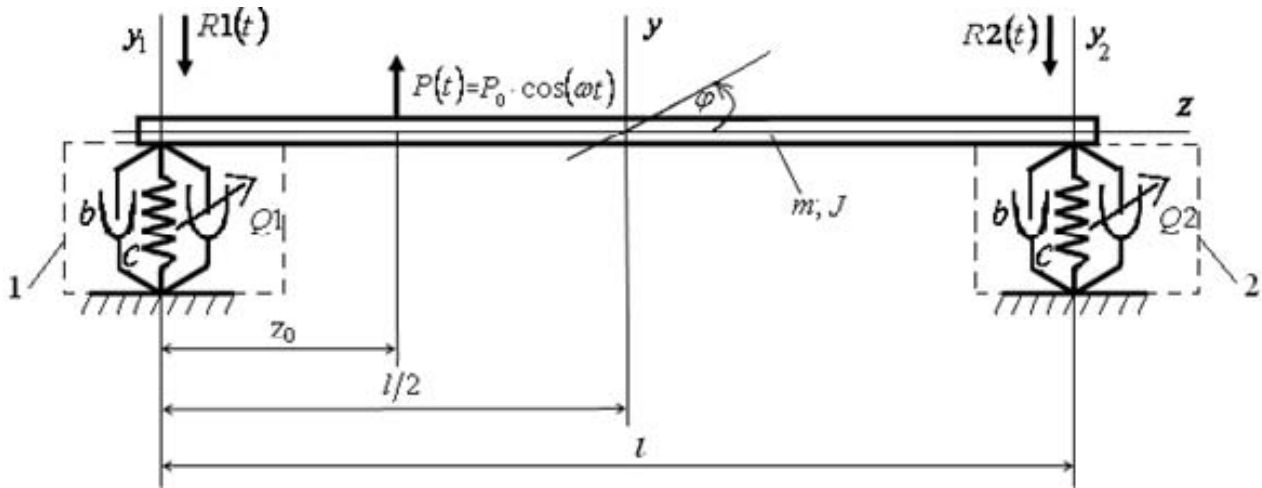


Рисунок 1 – Расчетная схема балки на управляемых виброизоляторах:

1 – левый виброизолятор; 2 – правый виброизолятор; m – масса балки; J – осевой момент инерции; c – жесткость упругого элемента; b – вязкое сопротивление пассивного демпфера (фоновое сопротивление среды); $Q1$, $Q2$ – компенсационные воздействия, формируемые управляемыми демпферами.

$$Q2 = if \left[\left(y + \frac{l}{2} \varphi \right) \left(\dot{y} + \frac{l}{2} \dot{\varphi} \right) < 0, g \left(y + \frac{l}{2} \varphi \right), 0 \right], \quad (3)$$

Здесь λ – коэффициент, характеризующий прогнозируемые (усредненные) динамические свойства демпфера прерывистого действия в рабочем диапазоне частот.

Преобразуем исходную систему дифференциальных уравнений (1), а также соотношения (2) и (3), переходя к обобщенным координатам y_1 и y_2 . Учитывая, что $y = 0,5 \cdot (y_1 + y_2)$, а $\varphi = l^{-1}(y_2 - y_1)$, получим:

$$\begin{cases} \ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 + \frac{2}{m} b \dot{y}_1 + \frac{2}{m} c y_1 + \frac{2}{m} b \dot{y}_2 + \frac{2}{m} c y_2 = \frac{2}{m} P(t) + \frac{2}{m} (Q1 + Q2), \\ -\ddot{y}_1 + \ddot{y}_2 + \frac{l^2}{2J} (c y_2 + b \dot{y}_2) - \frac{l^2}{2J} (c y_1 + b \dot{y}_1) = \frac{l}{J} P(t) \left[z_0 - \frac{l}{2} \right] - Q1 \frac{l^2}{2J} + Q2 \frac{l^2}{2J}, \end{cases} \quad (4)$$

$$Q1 = \lambda \cdot c \cdot y_1 \cdot if [y_1 \dot{y}_1 < 0, 1, 0], \quad (5)$$

$$Q2 = \lambda \cdot c \cdot y_2 \cdot if [y_2 \dot{y}_2 < 0, 1, 0]. \quad (6)$$

Далее, используя соотношения $\tau = \omega \cdot t$, $\eta = \omega \cdot k^{-1}$, $\varepsilon d = b \cdot (m \cdot k)^{-1}$ ($k^2 = 2 \cdot c \cdot m^{-1}$), преобразуем систему дифференциальных уравнений (4) к безразмерному виду

$$\begin{cases} \ddot{\xi}_1 = -A1 \cdot \xi_1 - A2 \cdot \xi_2 - B1 \cdot \dot{\xi}_1 - B2 \cdot \dot{\xi}_2 + D1 \cdot \cos(\tau) + DU1 \cdot \xi_1 \cdot if [\xi_1 \cdot \dot{\xi}_1 < 0, 1, 0] + \\ + DU2 \cdot \xi_2 \cdot if [\xi_2 \cdot \dot{\xi}_2 < 0, 1, 0], \\ \ddot{\xi}_2 = -A2 \cdot \xi_1 - A1 \cdot \xi_2 - B2 \cdot \dot{\xi}_1 - B1 \cdot \dot{\xi}_2 + D2 \cdot \cos(\tau) + DU2 \cdot \xi_1 \cdot if [\xi_1 \cdot \dot{\xi}_1 < 0, 1, 0] + \\ + DU1 \cdot \xi_2 \cdot if [\xi_2 \cdot \dot{\xi}_2 < 0, 1, 0]. \end{cases} \quad (7)$$

Здесь приняты следующие безразмерные переменные:

$$\xi_1 = \frac{c}{P_0} y_1, \dot{\xi}_1 = \frac{c}{P_0 \omega} \dot{y}_1, \ddot{\xi}_1 = \frac{c}{P_0 \omega^2} \ddot{y}_1, \quad (8)$$

$$\xi_2 = \frac{c}{P_0} y_2, \dot{\xi}_2 = \frac{c}{P_0 \omega} \dot{y}_2, \ddot{\xi}_2 = \frac{c}{P_0 \omega^2} \ddot{y}_2 \quad (9)$$

и безразмерные параметры:

$$A1 = \frac{0,5}{\eta^2} \left(1 + \frac{m \cdot l^2}{4J} \right), \quad A2 = \frac{0,5}{\eta^2} \left(1 - \frac{m \cdot l^2}{4J} \right), \quad (10)$$

$$B1 = \frac{\varepsilon d}{\eta} \left(1 + \frac{m \cdot l^2}{4J} \right), \quad B2 = \frac{\varepsilon d}{\eta} \left(1 - \frac{m \cdot l^2}{4J} \right), \quad (11)$$

$$D1 = \frac{0,5}{\eta^2} \left(1 - \frac{m \cdot l}{2J} \left(z_0 - \frac{l}{2} \right) \right), \quad D2 = \frac{0,5}{\eta^2} \left(1 + \frac{m \cdot l}{2J} \left(z_0 - \frac{l}{2} \right) \right), \quad (12)$$

$$DU1 = \frac{0,5 \cdot \lambda}{\eta^2} \left(1 + \frac{m \cdot l^2}{4J} \right), \quad DU2 = \frac{0,5 \cdot \lambda}{\eta^2} \left(1 - \frac{m \cdot l^2}{4J} \right). \quad (13)$$

Компенсационные воздействия (5) и (6), а также динамических реакций

$$R1 = -cy_1 - b\dot{y}_1 + Q1, \quad (14)$$

$$R2 = -cy_2 - b\dot{y}_2 + Q2, \quad (15)$$

будем сопоставлять с соответствующими статическими реакциями на левой и правой опоре.

В результате имеем:

$$Q1 \Rightarrow Qd1 = \lambda \cdot \xi_1 \cdot \frac{\text{if}(\xi_1 \cdot \dot{\xi}_1 < 0, 1, 0)}{\text{if}(\xi_0 \leq 0,5, 1 - \xi_0, \xi_0)}, \quad (16)$$

$$Q2 \Rightarrow Qd2 = \lambda \cdot \xi_2 \cdot \frac{\text{if}(\xi_2 \cdot \dot{\xi}_2 < 0, 1, 0)}{\text{if}(\xi_0 \leq 0,5, 1 - \xi_0, \xi_0)}, \quad (17)$$

$$R1(t) \Rightarrow Rd1 = \frac{-\xi_1 - 2 \cdot \eta \cdot \varepsilon d \cdot \dot{\xi}_1 + \lambda \cdot \xi_1 \cdot \text{if}(\xi_1 \cdot \dot{\xi}_1 < 0, 1, 0)}{\text{if}(\xi_0 \leq 0,5, 1 - \xi_0, \xi_0)}, \quad (18)$$

$$R2(t) \Rightarrow Rd2 = \frac{-\xi_2 - 2 \cdot \eta \cdot \varepsilon d \cdot \dot{\xi}_2 + \lambda \cdot \xi_2 \cdot \text{if}(\xi_2 \cdot \dot{\xi}_2 < 0, 1, 0)}{\text{if}(\xi_0 \leq 0,5, 1 - \xi_0, \xi_0)}. \quad (19)$$

где $if(\xi_0 \leq 0,5, 1 - \xi_0, \xi_0)$ – статическая реакция, в случае когда $P_0 = 1$.

Запишем также расчетные формулы для нахождения коэффициентов динамичности (для установившихся колебаний балки):

$$Kd1 = 0,5 \cdot |\max(Rd1) - \min(Rd1)|, \quad (20)$$

$$Kd2 = 0,5 \cdot |\max(Rd2) - \min(Rd2)|. \quad (21)$$

Выборочные результаты моделирования установившихся режимов колебаний балки представлены в таблице 1 и на рисунках 2 – 4.

Таблица 1 – Коэффициенты динамичности на левой упругодемпфирующей опоре виброактивного объекта при установившихся режимах колебаний ($\lambda = 1,4$)

η εd	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2
0,2	$\frac{1,846}{1,155}$	$\frac{2,071}{0,939}$	$\frac{1,252}{0,820}$	$\frac{0,888}{0,702}$	$\frac{0,823}{0,614}$	$\frac{0,778}{0,531}$	$\frac{0,696}{0,469}$
0,3	$\frac{1,612}{1,096}$	$\frac{1,618}{0,924}$	$\frac{1,229}{0,815}$	$\frac{0,951}{0,723}$	$\frac{0,817}{0,642}$	$\frac{0,735}{0,578}$	$\frac{0,665}{0,519}$
0,4	$\frac{1,448}{1,068}$	$\frac{1,407}{0,934}$	$\frac{1,179}{0,831}$	$\frac{0,975}{0,748}$	$\frac{0,842}{0,685}$	$\frac{0,752}{0,623}$	$\frac{0,684}{0,571}$
0,5	$\frac{1,337}{1,034}$	$\frac{1,288}{0,933}$	$\frac{1,137}{0,853}$	$\frac{0,985}{0,783}$	$\frac{0,869}{0,722}$	$\frac{0,783}{0,668}$	$\frac{0,717}{0,620}$

Примечания: 1) сила прикладывается в точке $z_0 = 1,5 м$ ($\xi_0 = 0,25$), 2) в числителе приведены значения коэффициентов динамичности пассивного виброизолятора (без управления), в знаменателе – управляемого виброизолятора.

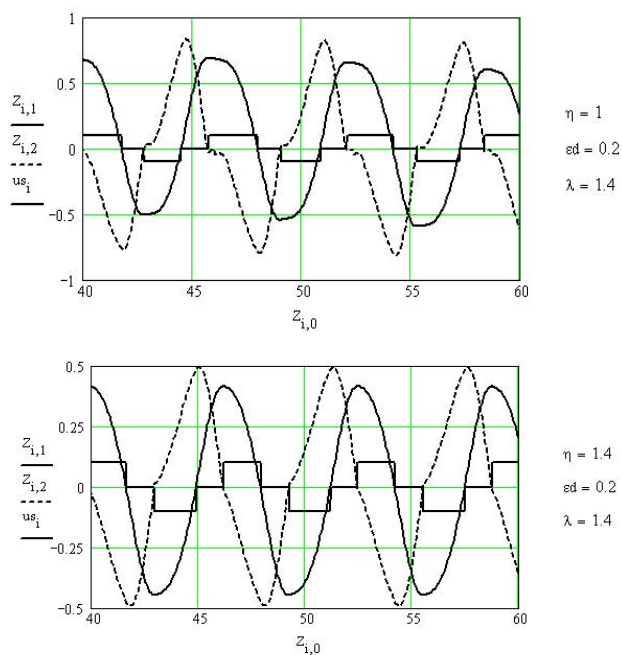


Рисунок 2 – Графики фазовых координат на левой опоре $Z_{i,1} \Rightarrow y_1$, $Z_{i,2} \Rightarrow \dot{y}_1$ и информационной составляющей управления $u_{s1} = \text{sign}[Q1]$

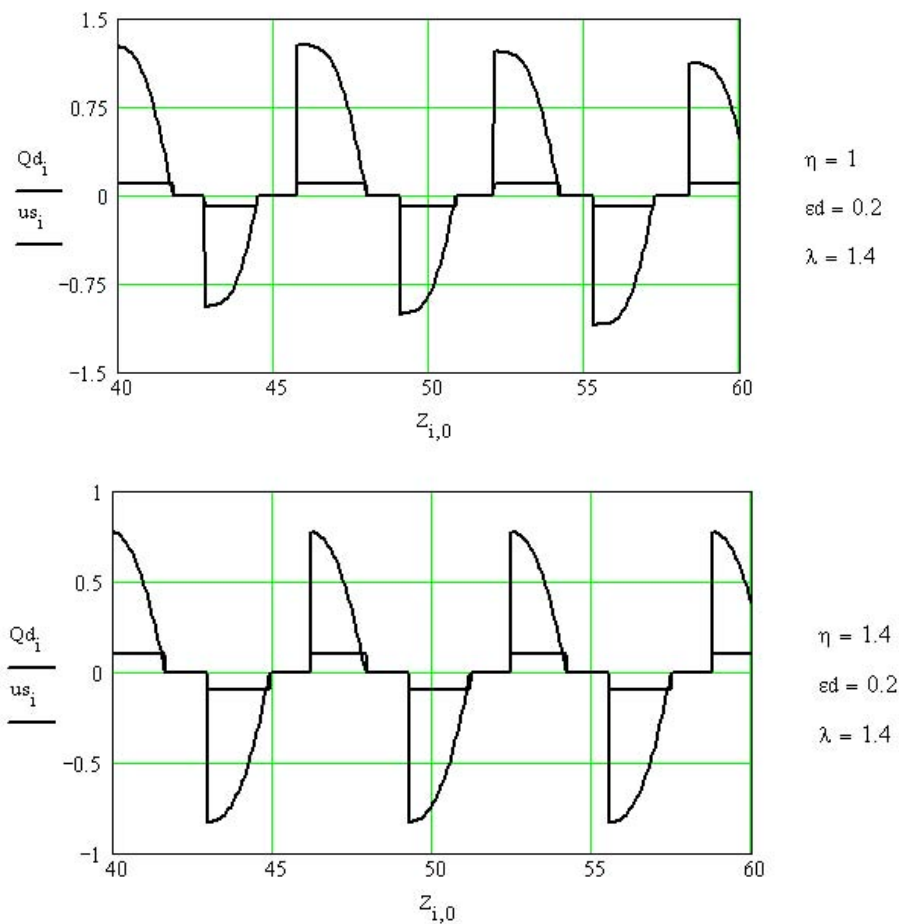


Рисунок 3 – Графики субоптимального компенсационного воздействия Qd_1 на левой опоре и его знаковая функция $us_1 = \text{sign}[Q1]$ – информационная составляющая управления

Как и следовало ожидать, в рассматриваемом диапазоне частот $0,8 \leq \eta \leq 2$ значения коэффициента динамичности (20) на левой опоре с управляемым демпфером приблизительно, в 1,4 раза меньше соответствующих значений коэффициента динамичности, которые получаются, если использовать демпфер пассивного типа.

При увеличении вязкого сопротивления ed значения коэффициента динамичности в области низких частот уменьшаются, приближаясь к единице, а в области высоких частот увеличиваются, оставаясь при этом меньше соответствующих значений коэффициента динамичности для пассивной системы балки как абсолютно жесткого тела на упругодемпфирующих опорах.

Из сопоставления графиков фазовых координат на рисунке 2, когда $\eta = 1$ и $\eta = 1,4$ следует, что колебательные процессы идентичны. Следовательно, резонансные явления не проявляются.

Субоптимальное компенсационное воздействие (рис. 3) на интервалах, где демпфер включен в работу, изменяется пропорционально перемещению виброактивного объекта, т.е. по закону, близкому к закону изменения косинуса. Причем в моменты включения демпфера в работу субоптимальное компенсационное воздействие принимает максимальное по модулю значение $\lambda \cdot c \cdot |y_1|_{\max}$, а в моменты выключения демпфера из работы – нулевое значение.

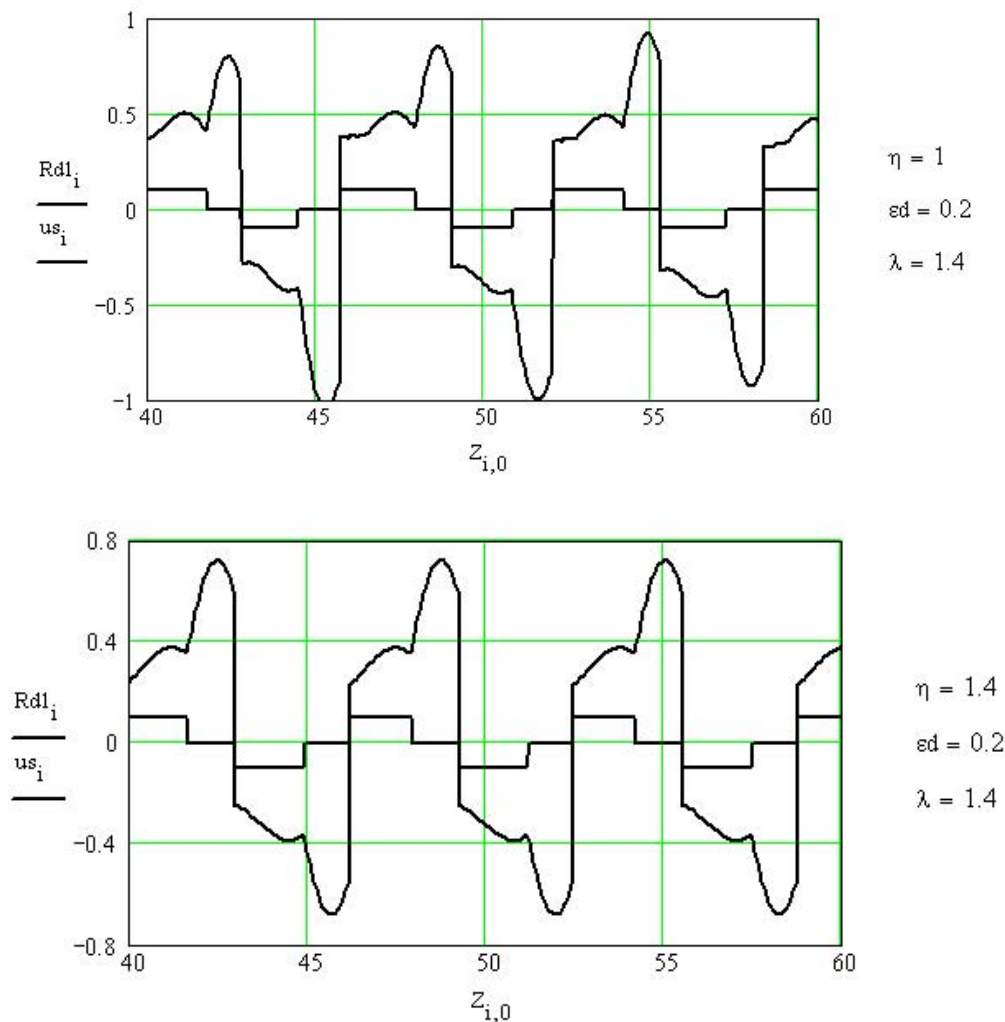


Рисунок 4 – Графики динамических реакций на левой опоре $Rd1_i = (Q1 - R1)/R0$ и информационной составляющей управления $us_i = \text{sign}[Q1]$

Следует заметить, что при очередном включении демпфера в работу, знак компенсационного воздействия изменяется – с плюса на минус или наоборот.

Графики динамических реакций являются кусочно-нелинейными функциями с разрывами первого рода (рис. 4). Скачки (разрывы) динамических реакций происходят в моменты включения демпфера в работу, причем они кососимметричны относительно среднего значения динамических реакций.

На интервалах, где демпфер включен в работу и выключен из работы, график динамической реакции имеет характерные дугообразные формы с ярко выраженными экстремумами. Причем, экстремальные значения динамических реакций, где демпфер выключен из работы, на порядок превышают (приблизительно в два раза) максимальные по абсолютной величине значения динамических реакций на интервалах, где демпфер включен в работу. Для того чтобы «сравнить» экстремальные значения динамических реакций необходимо увеличить длительность интервалов, где демпфер включен в работу, т.е. определить «задержку» со знаком плюс.

Выборочные результаты моделирования переходных режимов колебаний балки на упругодемпирующих опорах представлены в таблице 2 и на рисунке 5.

Таблица 2 – Показатели качества переходных процессов: пиковые значения и длительность (время)

η	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2
$\max Rd _n$	1,876	2,006	1,451	1,188	1,035	0,892	0,834
$\max Rd _y$	1,256	1,164	1,083	1,010	0,942	0,886	0,818
t_n	0,192	0,159	0,136	0,117	0,101	0,091	0,083
t_y	0,139	0,113	0,095	0,082	0,073	0,066	0,059

Примечание: 1) индексы n и y обозначают соответственно показатели качества пассивной и управляемой системы; 2) $\alpha d = 0,2$; $\xi_0 = 0,25$.

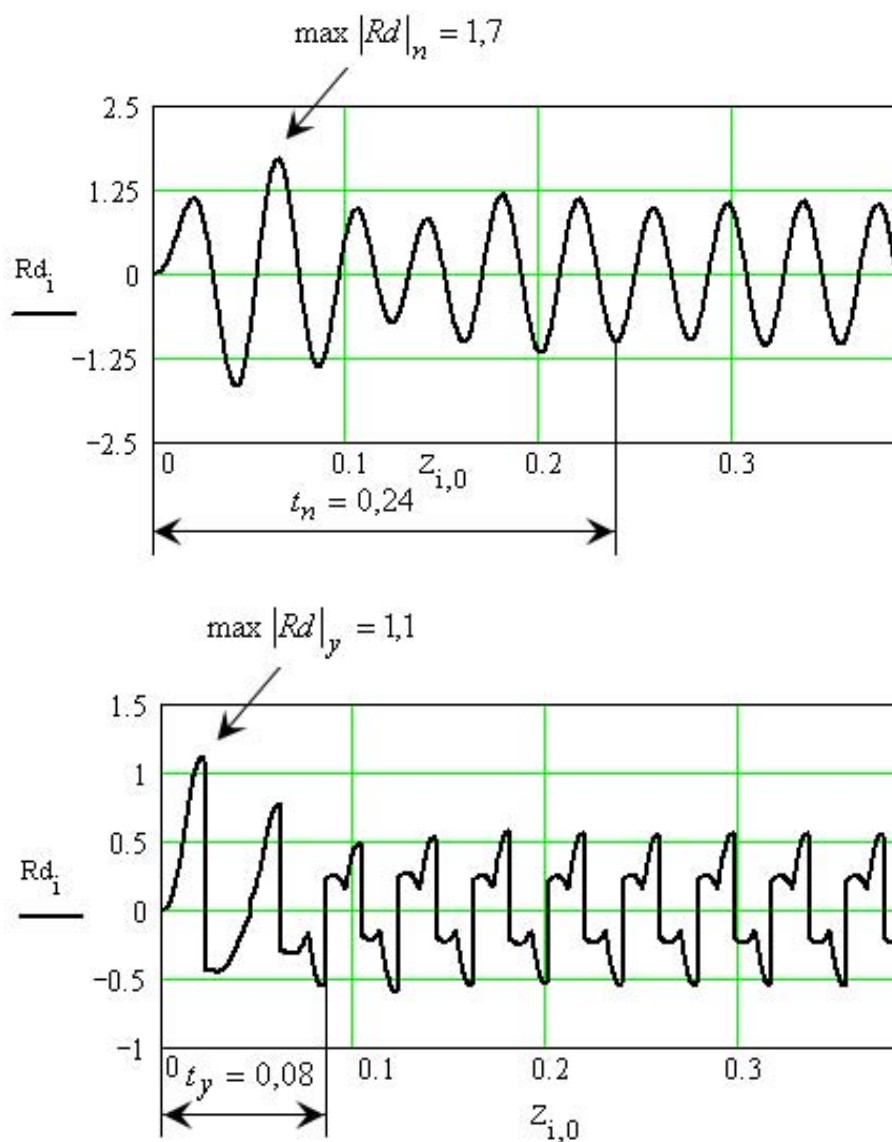


Рисунок 5 – Графики динамических реакций:

$\eta = 1,4$, $\alpha d = 0,1$; $\lambda = 1,4$; $\xi_0 = 0,5$

Данные таблицы 2 подтверждают сделанный ранее вывод об улучшении качества переходных процессов: происходит существенное уменьшение пиковых значений динамических реакций, а периодические колебания устанавливаются через 1,5...2,0 периода.

В области низких частот, где $0,8 \leq \eta \leq 1,2$ и высоких частот, где $1,4 \leq \eta \leq 2$ пиковые значения динамических реакций уменьшаются в среднем в 1,5 раза и в 1,2 раза соответственно.

Что касается длительности переходных процессов, то вне зависимости от частоты, имеем $t_y < t_n$. Причем временной интервал в среднем уменьшается в 1,4 раза.

В качестве иллюстрации переходных процессов на рисунке 5 приведены характерные графики динамических реакций, которые подтверждают сделанный ранее вывод об эффективности использования управляемых виброизоляторов по сравнению с виброизоляторами пассивного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомина, О.В. Постановка задачи оптимальной виброизоляции [Текст] / О.В. Фомина, Е.Б. Белозерова // Материалы II Международной дистанционной научно-технической конференции «Актуальные проблемы динамики и прочности материалов и конструкций: модели, методы, решения». – Орел: Госуниверситет–УНПК, 2011. – с. 147–148.
2. Фомина, О.В. Прерывистое демпфирование в системах виброзащиты: основы теории, приложения [Текст] / Под общей редакцией Ю.С. Степанова. – М.: Машиностроение–1, 2005. – 256 с.

Фомина Ольга Владимировна

Государственный университет – УНПК, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика»
Адрес: 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +7(4862)419872
E-mail: termeh@ostu.ru

Белозёрова Елизавета Борисовна

Государственный университет – УНПК, г. Орел
Соискатель кафедры «Теоретическая и прикладная механика»
Адрес: 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +7(4862)419849
E-mail: gavriloa_bgu@mail.ru

Чернышев Владимир Иванович

Государственный университет – УНПК, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Динамика и прочность машин»
Адрес: 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +7(4862)419849
E-mail: malinin@ostu.ru

O. V. FOMINOVA, E. B. BELOZEROVA, V. I. CHERNICHEV

THE CONTROLLING VIBRO-INSULATOR OF OBJECT WITH TWO DEGREES OF FREEDOM

The dynamical properties of the system of controlling vibro-insulator of object with two degrees of freedom is studied. There is shown that the forming of dissipative force as suboptimum balance influence allow to reduce the degree of dynamical reaction and duration of passing processes with the comparison of passive analog.

Keywords: vibro-insulator with controlling damper; interrupted damping; suboptimum balance influence.

BIBLIOGRAPHY

1. Fominova, O.V. Postanovka zadachi optimalnoy vibroizolizyuzii / O.V. Fominova, E.B. Belozeroval // Materialy II Mezhdunarodnoi distanzionnoi nauchno-texnicheskoi konferentsii «Aktualnie problemi dinamiki i prochnosti materialov i konstrukzii: modeli, metodi, resheniy». – Orel: Gosuniversitet–UNPK, 2011. – s. 147–148.

2. Fominova, O.V. Prerivistoe dempfirovanie v sistemax vibrozaziti: osnovi teorii, prilozhenii / Pod obzei redakziei U.S. Stepanova. – M.: Mashinostroenie–1, 2005. – 256 s.

Fominova Olga Vladimirovna

State University - UNPK, Orel

Ph.D., assistant professor of "Theoretical and Applied Mechanics"

Address: 302020, Orel, Naugorskoe highway, 29

Tel. 7(4862)419872

E-mail: termeh@ostu.ru

Belozerova Elizabeth Borisovna

State University - UNPK, Orel

The applicant chair "Theoretical and Applied Mechanics"

Address: 302020, Orel, Naugorskoe highway, 29

Tel. 7(4862)419849

E-mail: gavrilo_bgu@mail.ru

Chernyshev Vladimir Ivanovich

State University - UNPK, Orel

Doctor of Technical Sciences, Professor, "Dynamics and Strength of Machines"

Address: 302020, Orel, Naugorskoe highway, 29

Tel. 7(4862)419849

E-mail: malinin@ostu.ru

*Продолжается подписка на журнал
«Мир транспорта и
технологических машин»*

*Подписной индекс журнала:
16376 («Пресса России»)
Подписка через редакцию:
(с любого месяца)*

Информация о подписке на нашем сайте

www.gu-unpk.ru

Тел. +7 (4862) 43-48-90

А. И. ШУТОВ, С. В. КУЩЕНКО, Н. А. ЗАГОРОДНИЙ

ВОЗМОЖНЫЙ ПРИНЦИП МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ СТОЯНОК

Рассмотрено модельное представление улично-дорожной сети и автомобильных стоянок в виде простой электрической цепи. Предложена методика моделирования транспортных потоков, предусматривающая учет массы движущихся в транспортном потоке автомобилей и сопротивление движению транспортных средств, с последующим применением разработанной методики к расчету основных транспортных параметров автомобильных стоянок.

Ключевые слова: транспортный поток, автомобильная стоянка, электромоделирование, вместимость автомобильной стоянки.

Предлагаемые методики расчетов [1, 2, 3] по организации дорожного движения консервативны, далеки от совершенства и практически не используют современные методы анализа, в том числе, методы моделирования. Вместе с тем, опыт ряда смежных наук неоднократно доказывает эффективность применения методов моделирования явлений и процессов, которые в сочетании с современной компьютерной техникой дают высокий эффект в техническом и экономическом аспекте.

Предлагается вариант электромоделирования транспортных потоков автомобилей, позволяющий решать целый ряд задач организации дорожного движения, до последнего времени недоступных при традиционном подходе.

Главной задачей исследования явилось установление аналогий между основополагающими характеристиками (сила тока, напряжение, сопротивление) и характеристиками транспортного потока. На первом этапе имеем: односторонний транспортный поток на маршруте длиной l . Усредненная масса одного автомобиля - m , усредненная скорость движения «колонны» - $\bar{v}$, обгонов и остановок нет. Количество автомобилей в единице объема материального транспортного потока

$$n = \frac{N}{l \cdot S},$$

где N - общее количество автомобилей на выбранном маршруте,

S - условная площадь поперечного сечения потока.

При выбранных исходных данных плотность материального потока выражается по формуле:

$$j = m \frac{N}{l \cdot S} \bar{v}, \quad (1)$$

а его интенсивность (аналог силы тока) $I = j \cdot S$, отсюда получаем выражение:

$$I = m \frac{N}{l} \bar{v}. \quad (2)$$

Если вернуться к формулировкам Г.И. Клиновштейна [1], то интенсивность

$$II = \bar{v} \cdot q,$$

где q - плотность потока (авт/км).

При этом понятна связь интенсивности материального потока и интенсивности потока автомобилей:

$$I = m \cdot II.$$

Важным моментом в попытке электро моделирования транспортных потоков является поиск аналога электрическому напряжению. Используем формулировку для электрического напряжения справочника [4]: электрическое напряжение между двумя точками электрической цепи равно работе электрического поля по перемещению единичного заряда из одной точки в другую. По правилам формальной логики аналогом электрическому напряжению в дорожной сети должна быть работа по перемещению единичного транспортного средства (автомобиля) массой m на расстояние l в данных дорожных условиях:

$$W = mg(\psi \pm i)l, \quad (3)$$

где g - ускорение свободного падения

ψ - коэффициент сопротивления качению колеса в данных дорожных условиях,

$i = \cos \alpha$ - коэффициент продольного подъема (+), уклона (-) дорожного полотна.

Как известно, главным соотношением в любом электрическом явлении является закон Ома:

$$I_{\dot{Y}} = \frac{U_{\dot{Y}}}{R_{\dot{Y}}},$$

где I - сила тока,

U - напряжение,

R - сопротивление, причем индекс «э» подчеркивает, что речь идет об электрическом токе. Поскольку аналоги $I_{\dot{Y}}$ и $U_{\dot{Y}}$ уже определены, найдем транспортный эквивалент величины $R_{\dot{Y}}$.

По формальным признакам

$$R_{\dot{Y}} = \frac{U_{\dot{Y}}}{I_{\dot{Y}}},$$

Следовательно, с учетом соотношений (2) и (3) имеем:

$$R = \frac{mg(\psi \pm i)l}{mq\bar{v}},$$

$$R = \frac{g(\psi \pm i)}{n\bar{v}} \cdot \frac{l}{S}, \quad (4)$$

или

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

где $\rho = \frac{g(\psi \pm i)}{n\bar{v}}$ - удельное сопротивление движению транспортного потока.

При однорядном движении автомобилей в одном уровне (простая колонна) на участке длиной l

$$\rho = \frac{g(\psi \pm i) \cdot lS'}{N\bar{v}},$$

а сопротивление движению транспортного потока

$$R = \frac{g(\psi \pm i)l^2 S'}{N\bar{v}S'},$$

$$R = \frac{g(\psi \pm i)l}{q\bar{v}}.$$

С точки зрения формальной логики данное выражение справедливо: сопротивление движению возрастает с увеличением ψ , l и уменьшается с увеличением интенсивности q и скорости $\bar{v}$. Подъемы (уклоны) действуют адекватно.

Таким образом, можно составить таблицу научно обоснованной аналогии параметров транспортного (материального) потока и электрического тока (табл. 1)

Таблица 1 – Аналогии параметров транспортного (материального) потока и электрического тока

Электрический ток	Транспортный (материальный) поток
$I_{\bar{v}}$ - сила тока	I - интенсивность материального потока $I = m \frac{N}{l} \bar{v}$
$U_{\bar{v}}$ - напряжение	U - напряжение материального потока $U = mg(\psi \pm i)l$
$R_{\bar{v}}$ - сопротивление	R - сопротивление движению материального потока $R = \frac{g(\psi \pm i)l}{q\bar{v}}$

Установленные аналогии позволяют в дальнейшем использовать принципы Кирхгофа для расчета сложных транспортных сетей [4].

На основании вышеизложенного появляется возможность установить основные транспортные характеристики автомобильных стоянок. Пусть вместимость стоянки - $N_{\bar{n}\bar{o}}$. Имеется 1 (один) въезд и 1 (один) выезд. Разрешенная скорость движения по территории стоянки $v_{\bar{n}\bar{o}}$ км/ч. Если общая длина стоянки $Z_{\bar{n}\bar{o}}$, то максимальная плотность потока на выезде определяется по формуле:

$$q_{\bar{n}\bar{o}} = \frac{N_{\bar{n}\bar{o}}}{Z_{\bar{n}\bar{o}}}.$$

Расчетная (максимальная) интенсивность движения по территории стоянки:

$$I_{\bar{n}\bar{o}} = q_{\bar{n}\bar{o}} \cdot v_{\bar{n}\bar{o}} = \frac{N_{\bar{n}\bar{o}} \cdot v_{\bar{n}\bar{o}}}{Z_{\bar{n}\bar{o}}}.$$

Имеем магистраль длиной l и известными параметрами ψ , i (рис. 1). Пусть v - разрешенная скорость движения, I - номинальная предельная интенсивность движения, тогда I_1 - образовавшийся «перегруз» интенсивности.

В этом случае избыточная интенсивность $\Delta I = I_1 - I$ должна быть отведена на перехватывающую стоянку, то есть должно быть обеспечено шунтирование участка дороги длиной $Z_{\bar{a}} = Z_{\bar{n}\bar{o}}$, причем $\Delta I = I_{\bar{n}\bar{o}}$.

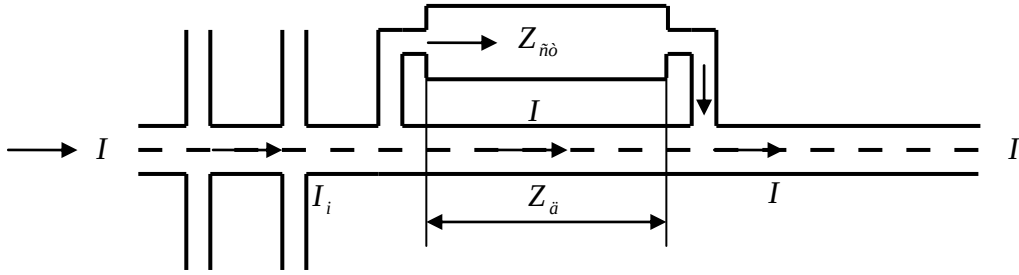


Рисунок 1 – Автомобильная магистраль с прилегающей стоянкой

При вместимости стоянки $N_{\tilde{n}\tilde{o}}$ автомобилей и заданной (нормативной) скорости движения автомобилей в пределах стоянки $v_{\tilde{n}\tilde{o}}$.

$$I_{\tilde{n}\tilde{o}} = q_{\tilde{n}\tilde{o}} \cdot v_{\tilde{n}\tilde{o}},$$

где максимальная плотность потока в пределах стоянки:

$$q = q_{\tilde{n}\tilde{o}} = \frac{N_{\tilde{n}\tilde{o}}}{Z_{\tilde{n}\tilde{o}}}.$$

Таким образом,

$$I_{\tilde{n}\tilde{o}} = \frac{N_{\tilde{n}\tilde{o}}}{Z_{\tilde{n}\tilde{o}}} v_{\tilde{n}\tilde{o}},$$

а общая вместимость автомобильной стоянки (парковки):

$$N_{\tilde{n}\tilde{o}} = I_{\tilde{n}\tilde{o}} \frac{Z_{\tilde{n}\tilde{o}}}{v_{\tilde{n}\tilde{o}}}$$

Параметр $I_{\tilde{n}\tilde{o}}$ найдем из следующих соображений. Участки движения дороги и стоянка параллельны друг другу, следовательно, интенсивности потоков в ветвях «дорога-стоянка» обратно пропорциональны сопротивлениям движению в них:

$$\frac{I_{\tilde{n}\tilde{o}}}{I} = \frac{R}{R_{\tilde{n}\tilde{o}}},$$

откуда

$$I_{\tilde{n}\tilde{o}} = I \frac{R}{R_{\tilde{n}\tilde{o}}},$$

а вместимость

$$N_{\tilde{n}\tilde{o}} = I \frac{R}{R_{\tilde{n}\tilde{o}}} \cdot \frac{Z_{\tilde{n}\tilde{o}}}{v_{\tilde{n}\tilde{o}}}.$$

Таким образом, вместимость стоянки определяется интенсивностью движения по шунтируемому участку дороги I , длиной $Z_{\tilde{n}\tilde{o}}$ и скоростью $v_{\tilde{n}\tilde{o}}$.

Найдем отношение $\frac{R}{R_{\tilde{n}\tilde{o}}}$, зная, что

$$R = \frac{mg(\psi + i)l}{qv},$$

для шунтируемого участка:

$$R = \frac{mg(\psi + i)Z_{\tilde{n}\tilde{o}}}{q\bar{v}}.$$

Применительно к стоянке $i = 0$, $l = Z_{\tilde{n}\tilde{o}}$, $\bar{v} = v_{\tilde{n}\tilde{o}}$, следовательно:

$$R_{\tilde{n}\tilde{o}} = \frac{mg \psi Z_{\tilde{n}\tilde{o}}}{q_{\tilde{n}\tilde{o}} v_{\tilde{n}\tilde{o}}},$$

отсюда

$$\frac{R}{R_{\tilde{n}\tilde{o}}} = \frac{mg(\psi + i)Z_{\tilde{n}\tilde{o}} q_{\tilde{n}\tilde{o}} v_{\tilde{n}\tilde{o}}}{q \bar{v} mg \psi Z_{\tilde{n}\tilde{o}}},$$

$$I_{\tilde{n}\tilde{o}} = I \frac{(\psi + i)q_{\tilde{n}\tilde{o}} v_{\tilde{n}\tilde{o}}}{q \bar{v} \psi},$$

а вместимость

$$N_{cm} = I \frac{(\psi + i)q_{cm} v_{cm} Z_{cm}}{q \bar{v} \psi v_{cm}},$$

$$N_{cm} = I \frac{(\psi + i)q_{cm} Z_{cm}}{q \bar{v} \psi}. \quad (5)$$

Таким образом, если стоянку считать участком, шунтирующим основную дорогу, то ее вместимость определяется выражением (5), которое показывает, что вместимость $N_{\tilde{n}\tilde{o}}$ должна быть тем выше, чем больше интенсивность движения по основной магистрали I .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клиновштейн, Г. И. Организация дорожного движения [Текст]: Учебник для вузов / Г. И. Клиновштейн, М. Б. Афанасьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
2. Коноплянко, В. И. Организация и безопасность дорожного движения [Текст] / В. И. Коноплянко. – М.: Высшая школа, 2007. – 312 с.
3. Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения [Текст] / В. В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 307 с.
4. Физический энциклопедический словарь [Текст]. – М. Сов. Энциклопедия, 1983. – 928 с.

Шутов Александр Иванович

Белгородский государственный университет

Адрес: 308015, г.Белгород, ул.Победы, 85

Д-р техн. наук, профессор кафедры «Организация и безопасность движения»

Тел.: +7(4722)230533

Кущенко Сергей Викторович

Белгородский государственный университет

Адрес: 308015, г.Белгород, ул.Победы, 85

Аспирант кафедры «Организация и безопасность движения»

Тел.: +7(4722)230533

E-mail: serega_ku@mail.ru

Загородний Николай Александрович

Белгородский государственный университет

Адрес: 308015, г.Белгород, ул.Победы, 85

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Сервис транспортных и технологических машин»

Тел.: +7(4722)230533

E-mail: serega_ku@mail.ru

A. I. SHUTOV, S. V. KUSHCHENKO, N. A. ZAGORODNIJ

POSSIBLE PRINCIPLE FOR TRANSPORT MODELING OF CURRENTS AND ADJACENT-THE CARRIAGEWAY CAR-GOVERNMENTAL PARKING

Modeling representation of the highway system and parkings in the form of a simple electric chain is considered. The technique modeling of the transport streams, providing the account of

weight of moving cars in a transport stream and resistance to movement of vehicles, with the subsequent application of the developed technique to calculation of the basic transport parameters of parkings is offered.

Keywords: *a transport stream; a parking; electromodelling; capacity of a parking.*

BIBLIOGRAPHY

1. Klinkovshcheyn, G. I. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya [Tekst]: Uchebnik dlya vuzov / G. I. Klinkovshcheyn, M. B. Afanas`ev. - 5-e izd., pererab. i dop. - M.: Transport, 2001. - 247 s.
2. Konoplyanko, V. I. Organizatsiya i bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya [Tekst] / V. I. Konoplyanko. - M.: Vysshaya shkola, 2007. - 312 s.
3. Sil`yanov, V. V. Teoriya transportnykh potokov v proektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya [Tekst] / V. V. Sil`yanov. - M.: Transport, 1977. - 307 s.
4. Fizicheskiy entsiklopedicheskiy slovar` [Tekst]. - M. Sov. Entsiklopediya, 1983. - 928 s.

Shutov Alexander Ivanovich

Belgorod state technological university (BSTU) named After V. G. Shoukhov
Professor, Doctor of science (technology) of department «Traffic management and road safety»
Tel: +7(4722)230533
E-mail: serega_ku@mail.ru

Kushchenko Sergey Victorovich

Belgorod state technological university (BSTU) named After V. G. Shoukhov
Post-graduate student of department «Traffic management and road safety»
Tel: +7(4722)230533
E-mail: serega_ku@mail.ru

Zagorodny Nikolay Aleksandrovich

Belgorod state technological university (BSTU) named After V. G. Shoukhov
Assistant professor, candidate of technical science of department «Maintenance of transportation and technological machines»
Tel: +7(4722)230533
E-mail: serega_ku@mail.ru

Вашему вниманию представляется учебное пособие «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ЗАПРАВочНЫЕ СТАНЦИИ И КОМПЛЕКСЫ»

**авторов: д-ра техн. наук, профессора А.Н. Новикова
и канд. техн. наук А. Л. Севостьянова**

В пособии приведены основные характеристики автозаправочных станций, рассмотрены вопросы технической эксплуатации автозаправочных станций, их территориального размещения, экологической и пожарной безопасности, а также ремонта технологического оборудования автозаправочных станций.

*Оригинал-макет данного издания является собственностью ФГОУ ВПО «Государственный университет-УНПК»,
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.
www.gu-unpk.ru*

С. А. ЖЕСТКОВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА «ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ» ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА

В статье рассматривается решение задачи маршрутизации транспорта «методом ветвей и границ». Предложен усовершенствованный алгоритм, позволяющий получить точное решение задачи.

Ключевые слова: гамильтоновский контур, граф, матрица, метод, алгоритм.

ВВЕДЕНИЕ

Для снижения стоимости транспортировки грузов требуется разработка эффективных алгоритмов для определения кратчайших маршрутов передвижения транспорта. Общая математическая формулировка этой задачи известна как задача маршрутизации транспорта.

В настоящее время для решения задач маршрутизации транспорта используются метаэвристические методы, которые содержат дискретные и непрерывные параметры регулирующие их работу. Они требуют выполнения операций по перебору вариантов их значений для нахождения окончательной эвристики. Подбор параметров необходимо выполнять каждый раз для нового типа задач. Кроме того метаэвристические алгоритмы, например генетический и муравьиных колоний, образуют массив данных значительного размера и содержат большое количество управляющих параметров. По этому несмотря на привлекательность этих методов достоверность вычислений по ним приходится проверять используя более точные методы решения подобных задач. В настоящее время известно о трех таких методах [1,2,3,4]: целочисленного линейного программирования, динамического программирования и метода «ветвей и границ». В работе анализируется последний из них.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО НЕТОЧНОСТИ МЕТОДА «ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ» ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА

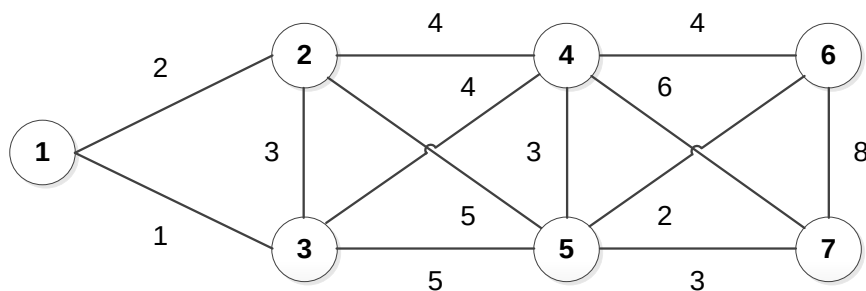


Рисунок 1 – Граф транспортной сети

Рассмотрим возможность решения задачи маршрутизации транспорта методом «ветвей и границ» при исходных данных, представленных на графе транспортной сети (рис. 1) и в матрице весов (табл. 1).

Таблица 1 – Исходная матрица весов

№	1	2	3	4	5	6	7
1		2	1				
2	2		3	4	5		
3	1	3		4	5		
4		4	4		3	4	6
5		5	5	3		2	3
6				4	2		8
7				6	3	8	

В соответствии с процедурой метода «ветвей и границ» вычитаем минимальный элемент в каждой строке и столбце. В результате получаем приведенную матрицу с минимальной границей множества 17 (табл. 2).

Таблица 2 – Первый шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	4	5	6	7	
1		0	0					1
2	0		1	2	3			2
3	0	1		2	4			1
4		0	1		0	1	2	3
5		2	3	0		0	0	2
6				1	0		5	2
7				2	0	5		3
		1		1			1	1 7

Таблица 3 – Второй шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	4	5	6	7
1		0 ⁰	0 ¹				
2	0 ¹		1	1	3		
3	0 ¹	1		2	4		
4		0 ⁰	1		0 ⁰	1	2
5		2	3	0 ¹		0 ¹	0 ²
6				1	0 ¹		5
7				2	0 ²	5	

Вычисляем оценки нулевых элементов в приведенной матрице и записываем оценочную матрицу (табл. 3). Здесь две ячейки имеют одинаковую оценку 2: 7-5 и 5-7.

Рассмотрим в ней вычеркивание ветви 5-7, имеющей наивысшую оценку 2. В результате получаем матрицу меньшего размера (табл. 4), в которой блокируем ячейку 7-5.

Таблица 4 – Третий шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	4	5	6
1		0	0			
2	0		1	1	3	
3	0	1		2	4	
4		0	1		0	1
6				1	0	
7				2		5

Из нее получаем новую оценочную матрицу (табл. 5).

Таблица 5 – Четвертый шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	4	5	6	
1		0^0	0^1				
2	0^1		1	1	3		
3	0^1	1		2	4		
4		0^0	1		0^0	0^2	
6				1	0^1		
7				0^3		2	2
						1	

Таблица 6 – Пятый шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	5	6
1		0^0	0^1		
2	0^1		1	3	
3	0^1	1		4	
4		0^0	1		0^∞
6				0^∞	

В ней вычеркивает ячейку 7-4 с максимальной оценкой 3 и получаем новую матрицу (таблица 6), в которой блокируем ветвь 4-5 против заикливания. В табл. 6 наибольшую оценку бесконечности имеют две ячейки 4-6 и 6-5. При вычеркивании ветви 4-6 получаем таблицу 7 в которой необходимо заблокировать ячейку 6-5 против заикливания.

Из этого следует, что выезда из узла 6 нет и он зависает (рис. 2).

Если в таблице 6 вычеркнуть ячейку 6-5, то зависает узел 4, из которого нельзя выехать (рис. 2).

Рассмотрим другой вариант вычеркивания ветви 7-5 в таблице 3. Получим оценочную матрицу показанную в таблице 8. Дальнейшее преобразование аналогичны ранее рассмотренным. В итоге получаем аналогичный вариант с зависанием узлов 6 и 4.

Чтобы исключить зависание узла необходимо изменить алгоритм решения задачи, путем внесения в него дополнительного условия.

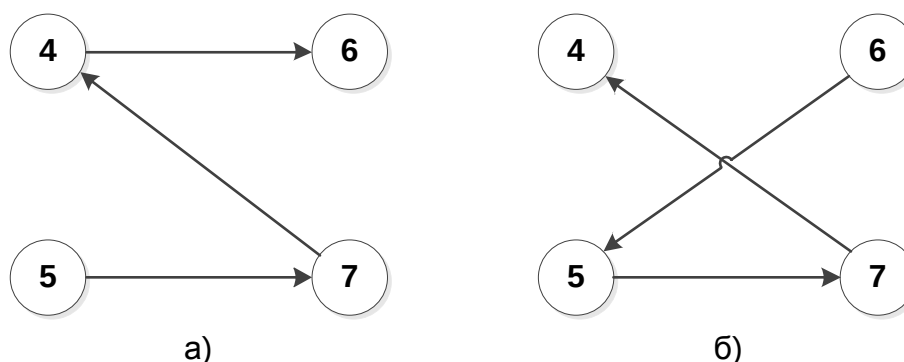


Рисунок 2 – Зависание узлов
(а - зависание узла 6, б – зависание узла 4)

Таблица 7 – Шестой шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	5
1		0	0	
2	0		1	0
3	0	1		1
6				
				3

Таблица 8 – Седьмой шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	4	6	7
1		0^0	0^1			
2	0^1		1	1		
3	0^1	1		2		
4		0	1		1	0^2
5		2	3	0^0	0^1	
6				0^2		2

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Оно заключается в следующем. После определения номера зависшего узла возвращаемся назад и находим таблицу, в которой он был вычеркнут. На следующем шаге вычеркиваем не ячейку с максимальной оценкой, а ветвь содержащую номер зависшего узла. Тогда в узле будет вход и выход. Поскольку ветвей с зависающим узлом может быть несколько, то оптимизирующая ветвь устанавливается перебором вариантов.

С учетом выше сказанного усовершенствованный алгоритм метода «ветвей и границ» будет выглядеть следующим образом:

1. Составляем исходную матрицу весов (расстояний, стоимостей или времени) между пунктами исследуемой транспортной сети – α_{ij} .

2. Переходим к приведенной матрице – L^{np} . Для этого в каждой строке находим минимальный элемент h_i и вычитаем его из всех остальных элементов α'_{ij} , расположенных в рассматриваемой строке:

$$a'_{ij} = a_{ij} - h_i, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Затем в полученной матрице находим минимальный элемент в каждом столбце h_j и вычитаем его из всех остальных элементов α''_{ij} , расположенных в рассматриваемом столбце:

$$a''_{ij} = a'_{ij} - h_j, \quad (2)$$

где $j = 1, 2, 3, \dots, m$.

3. Определяем для каждого элемента с $\alpha''_{ij} = 0$ оценку по формуле

$$A = \min \alpha''_{ik} + \min \alpha''_{sj}, \quad (3)$$

где a''_{ij} - наименьший элемент в строке i ;

α_{sj}'' - наименьший элемент в столбце j ;

$$k \neq j, s \neq i, s = 1, 2, 3, \dots, n$$

4. Находим пару $k - s$ с максимальной оценкой

$$A_{ks} = \max A_{ks} \quad (4)$$

где $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$.

5. Переходим к новой матрице L_1 . Для этого вычеркиваем из L^{np} строку k и столбец s с наибольшей оценкой. Блокируем ячейку на пересечении строки s и столбца k , а также ветвь, ведущую к зацикливанию цепи со знаком $k - s$.

6. Создаем новые матрицы $L_2 - L_n$, выполняя над ними операции приведения и оценки, описанные в пунктах 3 - 4, до тех пор, пока последняя вычеркиваемая ветвь не станет очевидной.

7. В случае зависания вершины k или s возвращаемся назад и находим матрицу, в которой она была вычеркнута первый раз.

8. Вычеркиваем ветвь содержащий номер зависшего узла.

9. Оптимальный маршрут устанавливается путем сравнения вариантов.

Таблица 9 – Восьмой шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	4	5	6
1		0	0			
2	0		1	1	3	
3	0	1		2	4	
4		0	1		0	0
6				1	0	
7				0		2

На основе приведенного алгоритма разработана специальная программа для ПК.

В рассматриваемом примере возвращаемся к таблице 5 и вычеркиваем, например, ячейку 6-4, вместо ячейки 7-4 имеющую наибольшую оценку 3 (табл. 9).

Таблица 10 – Девятый шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	5	6	
1		0^0	0^1			
2	0^1		1	3		
3	0^1	1		4		
4		0^0	1	0^3		
7					0^∞	2

Из таблицы 10 после блокировки ветви 4-6 против зацикливания и вычеркивания ячейки 7-4, получаем оценочную матрицу показанную в таблице 11. В ней блокируем ветвь 4-5. В матрице имеется четыре ячейки с одинаковой оценкой 1.

Для примера вычеркиваем в ней ветвь 1-3 и получаем новую оценочную матрицу (табл. 12), в которой блокируем ветвь 3-1 против зацикливания. Вычеркиваем ветвь 4-2 с наибольшей оценкой ∞ . В таблице 13 однозначно вычеркиваются дуги 2-1 и 3-5.

Таблица 11 – Десятый шаг преобразования матрицы

№	1	2	3	5
1		0^0	0^1	
2	0^0		1	0^1
3	0^1	1		1
4		0^1	1	
				3

Таблица 12 – Одиннадцатый шаг преобразования матрицы

№	1	2	5	
2	0^∞		0^0	
3		0^0	0^0	1
4		0^∞		

Таблица 13 – Двенадцатый шаг преобразования матрицы

№	1	5
2	0	0
3		0

В результате исследований получаем оптимальный маршрут передвижения 1-2-4-6-7-5-3-1, длиной 27 единиц (рис. 3).

Следует отметить, что вычеркивание в таблице 10 других ячеек с оценкой 1 не улучшает полученное решение. Аналогичный результат получим из таблицы 8 если вместо ветви 6-4 вычеркнуть дугу 7-6, с зависимым узлом 6.

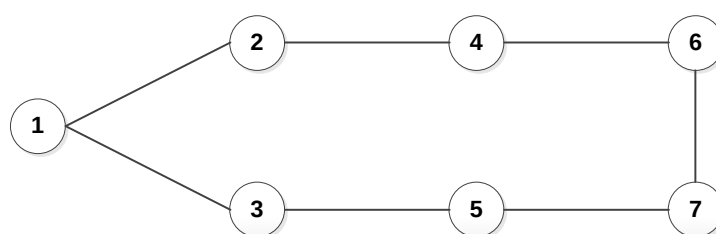


Рисунок 3 – Граф оптимального маршрута

Таким образом, предложен усовершенствованный алгоритм, не дающий вырождения метода «ветвей и границ».

ВЫВОДЫ

1. Доказана неточность метода «ветвей и границ» при решении задачи маршрутизации транспорта.

2. Установлено, что гипотеза, принимаемая при решении таких задач, не является универсальной.

3. Предложен усовершенствованный алгоритм, позволяющий получить точное решение задачи маршрутизации транспорта методом ветвей и границ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литл Дж. Алгоритм для решения задачи о коммивояжере / Литл Дж., К. Мурти // Экономика и математические методы. - 1965. - Т. 1. - Вып. 1. - С. 94 – 107.
2. Кожин, А. П. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками / А. П. Кожин, В. Н. Мезенцов. - М.: Транспорт, 1994. - 304 с.
3. Прокофьева, О. С. Разработка методики оптимизации развозочных маршрутов [Текст]: дис. ... канд. экон. наук. – Иркутск, 2004.
4. Пожидаев, М. С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта: диссертация кандидата технических наук [Текст] / М. С. Пожидаев. – Томск, 2010. - 134с.

Жесткова Светлана Анатольевна

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Адрес: г. Пенза, ул. Беляева, 16

Аспирант кафедры «Организация и безопасность движения»

Тел. +7(8412)498330

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

S. A. ZHESTKOVA

APPLICATION OF THE BRANCH-AND-BOUND METHOD FOR THE SOLVING VEHICLE ROUTING PROBLEM

This paper considers solution of vehicle routing problem using branch-and-bound method. Here it is presented the improved algorithm for the obtaining the exact solution of the problem.

Keywords: *Hamiltonian circuit, graph, matrix, method, algorithm.*

BIBLIOGRAPHY

1. Litl Dzh. Algoritmy dlya resheniya zadachi o kommivoyazhere / Litl Dzh., K. Murti // Ekonomika i matematicheskie metody. - 1965. - T. 1. - Vyp. 1. - S. 94 - 107.
2. Kozhin, A. P. Matematicheskie metody v planirovanii i upravlenii gruzovymi avtomobil'nymi perevozkami / A. P. Kozhin, V. N. Mezentsov. - M.: Transport, 1994. - 304 s.
3. Prokof'eva, O. S. Razrabotka metodiki optimizatsii razvozochnykh marshrutov [Tekst]: dis. ... kand. ekon. nauk. - Irkutsk, 2004.
4. Pozhidaev, M. S. Algoritmy resheniya zadachi marshrutizatsii transporta: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk [Tekst] / M. S. Pozhidaev. - Tomsk, 2010. - 134s.

Zhestkova Svetlana Anatolevna

The Penza state university of architecture and building,

Adress: g. Penza, str. Belyaeva, 16

Post-graduate student sub-department "Organization and traffic safety"

Tel. +7(8412)498330

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

**Продолжается подписка на журнал
«Мир транспорта и
технологических машин»**

**Подписной индекс журнала:
16376 («Пресса России»)
Подписка через редакцию:
(с любого месяца)**

Информация о подписке на нашем сайте

www.gu-unpk.ru

Тел. +7 (4862) 43-48-90

Г. А. ДЕНИСОВ, В. П. БЕЛОКУРОВ, А. А. ШТЕПА

НАХОЖДЕНИЕ УДАЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ОТ МЕСТА НАЕЗДА НА ПЕШЕХОДА, ВЫШЕДШЕГО ИЗ-ЗА ПОПУТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Рассматриваются варианты исследования наезда автомобиля на пешехода, появившегося на проезжей части из-за попутного транспортного средства. Внесены изменения в дополнительные построения на схеме ДТП и предложена зависимость для нахождения удаления по любому из вариантов наезда.

Ключевые слова: исследование, автомобиль, пешеход, наезд, удаление

По данным статистики около половины всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП), зарегистрированных в крупных городах с высокой степенью автомобилизации составляют наезды на пешеходов, которые зачастую сами являются виновниками создания аварийных ситуаций. Наезд на пешехода, появившегося на проезжей части из-за попутного транспортного средства (ТС) в большинстве случаев имеет наиболее тяжелые последствия. Такие наезды совершаются на участках улично-дорожной сети, имеющих по две и более полосы движения в каждом направлении и обеспечивающих, как правило, более высокие скорости движения. Это магистральные улицы общегородского значения, непрерывного или регулируемого движения, а также транспортно-пешеходные улицы районного значения.

Если при переходе пешеходом проезжей части в неустановленном месте, водитель автомобиля, двигающегося по правой, ближней к пешеходу полосе снижает скорость, например, путем торможения двигателем, то водитель автомобиля, находящегося на левой полосе не видит ни момент торможения, ни приближающегося пешехода. Покинув правую полосу проезжей части, пешеход внезапно появляется перед автомобилем, удаления которого от линии следования пешехода порой бывает недостаточно для предотвращения наезда. Кроме того, часть таких наездов совершается и на пешеходных переходах. Так в 2011 г. на пешеходных переходах г. Воронежа зарегистрировано 191 ДТП, в которых 9 человек погибли и 205 получили ранения, выявлено 39 пешеходных переходов, на которых было совершено по два и более ДТП с пострадавшими [1]. Механизм происшествия идентичен. Пешеход выходит в зоне действия знаков 5.19.1 и 5.19.2 – «Пешеходный переход» на проезжую часть не обращая внимания на приближающиеся автомобили. При этом, ТС движущееся по правой полосе останавливается перед линией следования пешехода. Для водителя ТС, движущегося по левой полосе, как правило с большей скоростью, момент возникновения опасной дорожной обстановки возникает с запозданием относительно водителя правого ТС и последствия экстренного торможения могут быть различны.

Нахождение удаления автомобиля от места наезда на пешехода при обзорности, ограниченной движущимся препятствием является наиболее трудоемким процессом. Согласно существующих методик [2, 3] дополнительным построением вычерчивают треугольники обзорности, из подобия которых записывают геометрическое и кинематические условия движения пешехода и автомобилей. Совместное решение этих условий, рассмотренных для случаев движения пешехода перпендикулярно от края проезжей части, позволяет определить удаление автомобиля. В экспертной практике встречаются наезды, когда пешеход двигался от края проезжей части не перпендикулярно к направлению движения автомобиля, а навстречу или попутно под произвольным углом. Такие происшествия происходят, если на проезжую часть выбегают дети. В этом случае к исследованию подходят более детально, поскольку отклонение от перпендикулярного направления движения даже на небольшой угол может дать противоположные результаты в заключении эксперта. Порядок проведения исследований при таком наезде остается тем же, однако геометрические условия для различных направлений движения пешехода будут изменены.

На рисунке 1 представлена схема исследования наезда, когда пешеход вышел из-за попутного ТС (автомобиля) под произвольным углом навстречу движению автомобиля [4].

Позицией I показано положение автомобилей в момент возникновения опасной дорожной обстановки. Позицией II момент, когда пешеход покидает полосу движения ТС 2 (пешеход находится в точке K). Позицией III момент наезда. Скорость ТС 2 - V_2 больше скорости ТС 1 - V_1 . AC - линия видимости. Точка C - место нахождения пешехода в момент возникновения опасной дорожной обстановки.

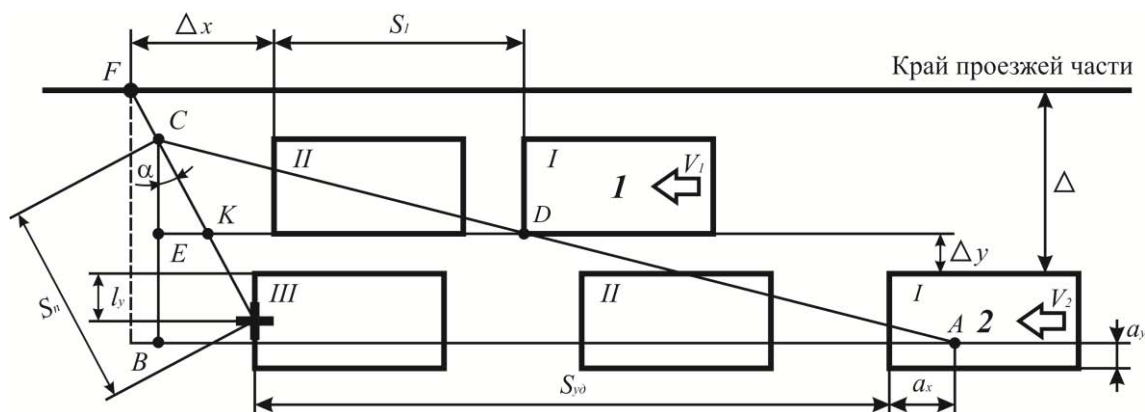


Рисунок 1 - Схема исследования торцевого наезда автомобиля на пешехода, вышедшего из-за попутного ТС под произвольным углом во встречном к автомобилю направлении

Из подобия треугольников обзора ABC и DEC вытекает геометрическое условие

$$\frac{AB}{BC} = \frac{DE}{EC},$$

или

$$\frac{a_x + S_{y0} + S_n \cdot \sin \alpha}{S_n \cdot \cos \alpha + B_a - l_y - a_y} = \frac{S_1 + \Delta_x - [(\Delta + l_y) \operatorname{tg} \alpha - S_n \cdot \sin \alpha]}{S_n \cdot \cos \alpha - l_y - \Delta_y}, \quad (1)$$

где a_x и a_y - координаты положения водителя в автомобиле;

$S_{уд}$ - удаление автомобиля от места наезда;

S_n - расстояние, которое прошел пешеход с момента возникновения опасной дорожной обстановки до наезда;

B_a - габаритная ширина автомобиля;

l_y - расстояние от боковой стороны автомобиля до места наезда на его торцевой части;

S_1 - расстояние, которое прошел первый автомобиль с момента возникновения опасной дорожной обстановки до момента пересечения пешеходом его полосы движения;

Δ_x - расстояние, от положения на котором находился первый автомобиль в момент пересечения его полосы движения пешеходом до места, где пешеход вышел на проезжую часть;

Δ - расстояние от края проезжей части до второго автомобиля;

Δ_y - расстояние между автомобилями;

α - угол, показывающий направление движения пешехода.

Неизвестные величины уравнения (1) S_n и S_1 находят из кинематических условий движения автомобилей и пешехода

$$S_n = \frac{V_n}{V_2} \cdot S_{y0}, \quad (2)$$

$$S_1 = \frac{V_1}{V_{\Pi}} \left(S_{\Pi} - \frac{\Delta_y + l_y}{\cos \alpha} \right). \quad (3)$$

Значения величин, показанных на схеме ДТП (кроме $S_{уд}$), задаются эксперту-автотехнику следователем или судом.

Совместное решение уравнений (1), (2) и (3) позволит найти удаление автомобиля от места наезда для случаев движения пешехода под произвольным углом во встречном к автомобилям направлении.

Если пешеход двигался бы под произвольным углом в попутном автомобилям направлении от края проезжей части, геометрическое условие (1) претерпело бы некоторые изменения. Оно изменилось бы также и в случае, если $l_y \geq B_a - a_y$, и при наезде на пешехода боковой частью автомобиля. То есть, для каждого варианта наезда на пешехода, вышедшего из-за попутного ТС, эксперт-автотехник или служебный эксперт должны рассматривать различные варианты геометрических условий движения пешехода и автомобилей.

С целью упрощения расчетов сделаем изменения в дополнительном построении на схеме ДТП по аналогии с [5] (продлим линию видимости CA до пересечения с линией, проведенной через левую боковую сторону ТС 2) и введем в геометрическое условие коэффициент K , учитывающий направление движения пешехода. При встречном движении под произвольным углом $K=1$, при попутном под произвольным углом $K=-1$. Схема исследования наезда с изменениями в дополнительном построении представлена на рисунке 2.

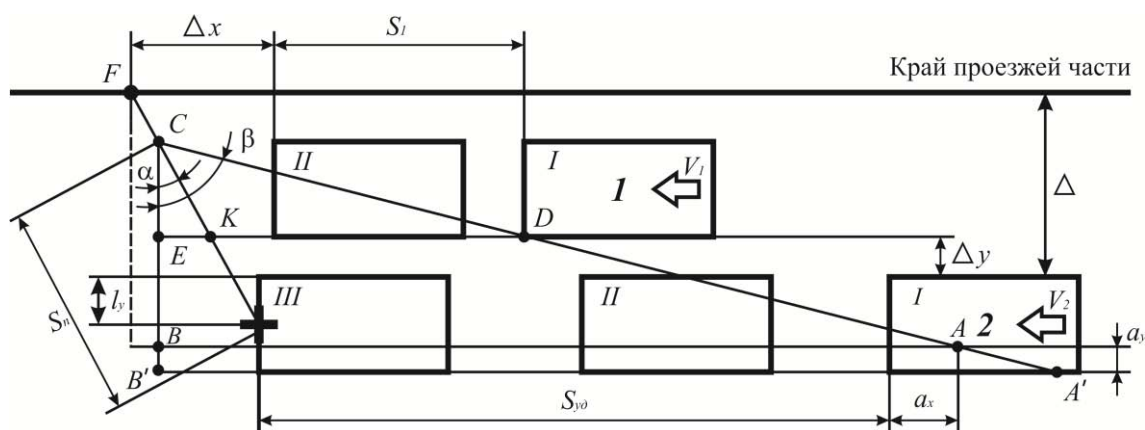


Рисунок 2 - Схема исследования торцевого наезда автомобиля на пешехода, вышедшего из-за попутного ТС под произвольным углом во встречном к автомобилям направлении ($K=1$)

Из подобных треугольников $A'B'C$ и DEC запишем геометрическое условие

$$\frac{S_{уд} + a_x + a_y \operatorname{tg} \beta \pm K \cdot S_n \sin \alpha}{S_n \cos \alpha + B_a - l_y} = \frac{S_1 + \Delta x - (\Delta + l_y) \operatorname{tg} \beta \pm K \cdot S_n \sin \alpha}{S_n \cos \alpha - \Delta_y - l_y}, \quad (4)$$

где β – угол, образованный линией видимости и перпендикуляром к краю проезжей части.

Из треугольника обзора ABC найдем $\operatorname{tg} \beta$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a_x + S_{уд} \pm K \cdot S_n \sin \alpha}{S_n \cos \alpha + a_y - l_y}. \quad (5)$$

Совместное решение уравнений (4), (5), (2) и (3) даст искомое значение удаления автомобиля от места наезда.

Геометрическое условие (4) и формула (5) могут быть использованы для исследования наезда на пешехода, появившегося из-за попутного транспортного средства при различных направлениях движения и различных местах контакта пешехода с автомобилем.

Так на рисунке 3 представлена, в качестве примера, схема наезда автомобиля на пешехода боковой частью при движении его в попутном под произвольным углом к автомобилям направлении.

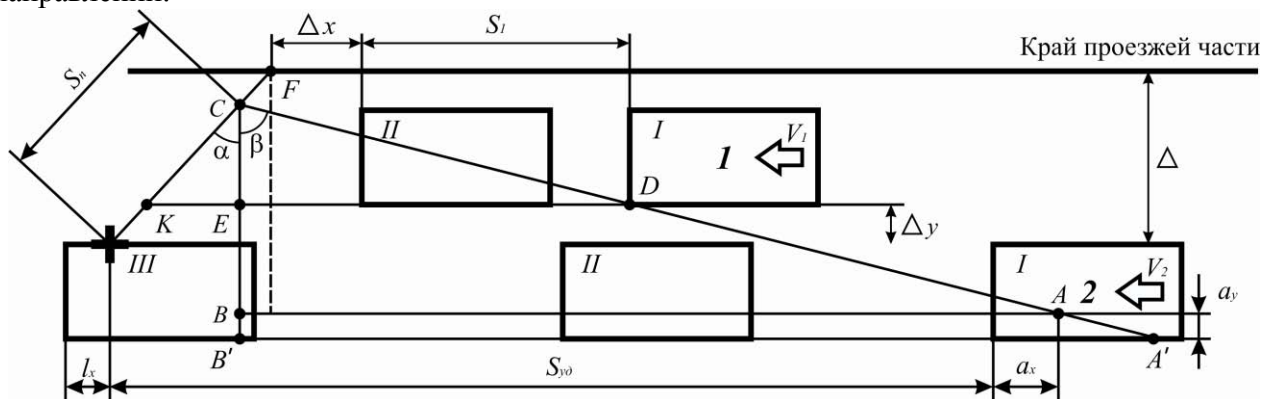


Рисунок 3 - Схема исследования бокового наезда автомобиля на пешехода, вышедшего из-за попутного ТС под произвольным углом в попутном к автомобилям направлении ($K = -1$)

Из подобных треугольников $A'B'C$ и DEC геометрическое условие примет вид (4), где $\operatorname{tg} \beta$ определится по уравнению (5). Расстояние l_y в условиях (4) и (3) для бокового наезда будет равно нулю, параметр l_x войдет в кинематическое условие движения пешехода и автомобиля ТС 2

$$S_n = \frac{V_n}{V_2} (S_{y0} + l_x), \quad (6)$$

$$S_1 = \frac{V_1}{V_n} \left(S_n - \frac{\Delta_y}{\cos \alpha} \right). \quad (7)$$

Далее для всех случаев наезда определяют остановочный путь автомобиля S_o и сравнивают его с удалением [1, 2], после чего эксперт-автотехник дает заключение о наличии или отсутствии возможности предотвратить наезд у водителя автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГИБДД назвала самые опасные пешеходные переходы Воронежа (список) // ИА Воронеж-Медиа [Электронный ресурс]. URL: http://www.voronezh-media.ru/news_out.php?id=34056 (дата обращения: 18.12.2011).
2. Иларионов, В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий [Текст] / В. А. Иларионов. - М.: Транспорт, 1989. - 255 с.
3. Домке, Э. Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий [Текст] / Э. Р. Домке. - М.: Издат. центр «Академия», 2009. - 288 с.
4. Денисов, Г. А. Методика анализа механизма наезда на пешехода при нарушении им «правил обхода» стоящего транспортного средства [Текст] / Г. А. Денисов, В. П. Белокуров, Ю. В. Струков, А. А. Штепа, С. В. Белокуров // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сб. докл. IX междунар. научно-практ. конф. – СПб.: Институт безопасности дорожного движения, 2010. - С. 842-844.
5. Денисов, Г. А. Совершенствование методики нахождения удаления автомобиля от места наезда на пешехода, вышедшего из-за неподвижного препятствия [Текст] / Г. А. Денисов, А. В. Мамаев // Бюллетень транспортной информации. - 2011. - № 6 (192). - С. 27-29.

Денисов Геннадий Александрович

Воронежская государственная лесотехническая академия

Адрес: 394087, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

Канд. техн. наук, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения

E-mail: dga.vrn@mail.ru

Белокуров Владимир Петрович

Воронежская государственная лесотехническая академия

Адрес: 394087, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

Д-р техн. наук, зав кафедрой организации перевозок и безопасности движения
E-mail: opbd_vglta@mail.ru

Штепа Алексей Анатольевич

Воронежская государственная лесотехническая академия
Адрес: 394087, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8
Ассистент кафедры организации перевозок и безопасности движения
E-mail: alexei_shtepa@mail.ru

G.A. DENISOV, V.P. BELOKUROV, A.A. SHTEPA

THE LOCATION OF AUTOMOBILE (CAR) FROM THE PLACE OF COLLISION WITH PEDESTRIAN WHO CAME OUT OF ASSOCIATED VEHICLE

The variants Research pedestrian being hit by a car that appeared on the roadway because of the associated vehicle. Changes in additional construction on the scheme proposed by accident and for finding the dependence on removing any of the options being hit.

Keywords: research, car, pedestrian, run over, moving off

BIBLIOGRAPHY

1. GIBDD nazvala samye opasnye peshekhodnye perekhody Voronezha (spisok) // IA Voronezh-Media [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.voronezh-media.ru/news_out.php?id=34056 (data obrashcheniya: 18.12.2011).
2. Ilarionov, V. A. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy [Tekst] / V. A. Ilarionov. - M.: Transport, 1989. - 255 s.
3. Domke, E. R. Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy [Tekst] / E. R. Dom-ke. - M.: Izdat. tsentr "Akademiya", 2009. - 288 s.
4. Denisov, G. A. Metodika analiza mekhanizma naezda na peshekhoda pri narushenii im "pravil obkhoda" stoyashchego transportnogo sredstva [Tekst] / G. A. Denisov, V. P. Belokurov, YU. V. Strukov, A. A. SHtepa, S. V. Belokurov // Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh: sb. dokl. IX mezhdunar. nauchno-prakt. konf. - SPb. : Institut bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, 2010. - S. 842-844.
5. Denisov, G. A. Sovershenstvovanie metodiki nakhozhdeniya udaleniya avtomobilya ot mesta naezda na peshekhoda, vyshedshego iz-za nepodvizhnogo prepyatstviya [Tekst] / G. A. Denisov, A. V. Mamaev // Byulleten' transportnoy informatsii. - 2011. - № 6 (192). - S. 27-29.

Denisov Gennady Aleksandrovich

Voronezh State Forestry Academy
Address: 394087, Voronezh region, Voronezh, st. Timiryazev, 8
Candidate tech. sciences, assistant professor of organization of transport and traffic safety
E-mail: dga.vrn @ mail.ru

Belokurov Vladimir Petrovich

Voronezh State Forestry Academy
Address: 394 087, Voronezh region, Voronezh, st. Timiryazev, 8
Dr. tech. Sciences, Head of the Department of organizing transportation and traffic safety
E-mail: opbd_vglta@mail.ru

Shtepa Alexey Anatol'evich

Voronezh State Forestry Academy
Address: 394 087, Voronezh region, Voronezh, st. Timiryazev, 8
Assistant Professor, Department of transport organization and safety
E-mail: alexei_shtepa@mail.ru

Д. Н. ТОРГАЧЕВ, О. И. МОРОЗОВА

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛОНАСС НА ПАССАЖИРСКОМ И СОЦИАЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ В ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Разработан комплекс рекомендаций по развитию и реализации социально значимых проектов на основе инновационных технологий ГЛОНАСС, предложен механизм оптимизации управления автотранспортом социальных служб

Ключевые слова: социальные инновации, навигационные технологии, экономика региона, транспортная инфраструктура, оптимизация управления

Глобальные навигационные системы, находят все более широкое применение в повседневной жизни. Это вызвало бурное развитие сегмента экономики связанного с навигационными технологиями. В России его становление обусловлено созданием и активным развитием ГЛОбальной НАвигационной Спутниковой Системы (ГЛОНАСС).

Глобальные навигационные спутниковые системы являются в настоящее время важным и неотъемлемым звеном окружающей человечество техносферы, без которой невозможно функционирование современной экономики, а также информационные коммуникации между отдельными гражданами и социальными группами.

Все большее количество потребителей использует возможности, предоставляемые навигационной системой ГЛОНАСС, и сегодня уже трудно представить автотранспортные предприятия, аварийно-спасательные службы, службы скорой помощи и системы ЖКХ без навигационного оборудования. Использование данных, получаемых от глобальных навигационных систем, позволяет точно определить местоположение автобусов, специальной техники, найти заблудившихся или оказавшихся в чрезвычайной ситуации людей.

Транспортный комплекс Орловской области объединяет в себе автомобильный, железнодорожный, городской электрический транспорт и объекты соответствующей инфраструктуры (дороги, железнодорожные станции, трамвайные и троллейбусные линии), кроме того, по территории области проходят 1 нефтяной и 3 газовых международных трубопровода, имеющих важное стратегическое значение.

Транспортная система является важной составляющей экономики региона и рассматривается как одна из отраслей, стабильное функционирование которой влияет на развитие Орловской области.

Выгодное географическое положение Орловской области, обеспечило создание сравнительно высокоразвитой транспортной инфраструктуры.

Транспортную сеть Орловской области составляют: 596 км - железнодорожные пути общего пользования, 5204 км - автомобильные дороги общего пользования, 18,0 км - трамвайные пути (эксплуатационная длина), 46,8 км - троллейбусные линии (эксплуатационная длина).

Преобразования всех отраслей экономики, произошедшие в Российской Федерации за последние 15 лет, в полной мере затронули и пассажирский транспорт. Негативно на его финансовом состоянии особенно отразилось предоставление льгот при проезде, рост цен на энергоносители, несвоевременное обновление парка, а также усиление влияния на данный рынок услуг транспорта индивидуальных перевозчиков, рост количества личного транспорта и другие причины.

В таблице представлены основные целевые индикаторы развития транспортного комплекса Орловской области

Таблица 1 - Основные целевые индикаторы развития транспортного комплекса

Целевые индикаторы	Ед. изм.	Годы реализации				
		2011	2012	2013	2014	2015
Прирост объема пассажирооборота автобусного транспорта общего пользования	%	104	104	104	104	104
Количество км автодорог, отремонтированных в отчетном году	км	53,2	53,4	53,8	54,0	54,0
Количество открытых автобусных маршрутов	Ед.	2	2	2	2	2
Приобретение нового подвижного состава транспортными предприятиями	Ед.	40	30	30	30	30
Количество ДТП на 10 тыс. единиц транспортных средств	Ед.	50,8	49,8	48,8	47,8	46,9

В 2010 году объемы поставок систем мониторинга транспорта выросли более, чем в 4 раза, в 2011 году эта тенденция сохранилась. Рост объясняется исполнением постановления Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 № 641 «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS», а также Федерального закона Российской Федерации от 14 февраля 2009 г. N 22-ФЗ «О навигационной деятельности», которые регламентируют с 1 января 2011 года оснащение навигационными технологиями транспортных средств, перечень которых должны подготовить соответствующие ФОИВ [3].

Возможности системы управления транспортом не безграничны, но те проблемы, которые они позволяют решать, давно стоят перед многими организациями и предприятиями: контроль транспорта и работы различных служб и ведомств, координированная работа транспорта и техники города, управление грузоперевозками и пассажирским транспортом, обеспечение безопасности груза и пассажиров. Все эти проблемы легко решаются с помощью спутникового слежения. Многие городские службы, такие, как милиция, скорая, пожарная служба, МЧС с использованием GPS мониторинга получили бы возможность повысить эффективность своей работы в разы, а когда речь идет о жизни людей, это существенно. Во-время определить место трагедии и вызвать ближайшую бригаду помощи, выбрать оптимальный маршрут к месту, откуда поступил тревожный сигнал – все это направлено на скорейшее предоставление помощи и спасение человеческих жизней. И все это возможно благодаря системе спутникового мониторинга.

Для транспортных компаний ГЛОНАС-мониторинг является настоящей находкой [2]. Во-первых, он позволяет следить за передвижениями транспорта, всегда знать, где находится в данный момент авто. Во-вторых, он предоставляет неограниченный контроль над деятельностью водителя, что в условиях российской действительности помогает избежать кражи бензина, левых рейсов, неплановых остановок и повысить, таким образом, прибыли компании. В-третьих, позволяет быть в курсе состояния авто, начиная от количества и качества используемого топлива, и заканчивая работой двигателя. В-четвертых, спутниковый мониторинг позволяет не только определить место нахождения авто в пробке, во время аварии, например, но и оперативно предоставить водителю информацию о наиболее оптимальном маршруте. Что повышает прибыли компании. В-пятых, система помогает упростить бухгалтерские расчеты, за счет данных о потребляемом топливе и доставленном грузе. Это дает возможность сократить штат и получить прибыль, экономя на заработной плате.

Современные приборы на базе спутниковой системы позволяют не только снимать параметры движения автотранспорта (маршрут, скорость, расход топлива), но и контролиро-

вать состояние водителя за рулем (химический состав крови, давление, ритмы сердца). Это не фантастика. Сегодня достаточно успешно ведутся пилотные проекты по стыковке навигатора с телеметрическими медицинскими приборами.

Внедрение в Орловской области навигационно-информационных систем на базе ГЛОНАСС направлено, с одной стороны, на оптимизацию управления автотранспортом, в том числе социальных служб, а с другой - на повышение безопасности перевозок инвалидов и социально незащищенных граждан, оказание им информационной поддержки и экстренной помощи.

По данным статистики, ежегодные потери российской экономики от дорожных аварий достигают 2,5% ВВП или почти 500 миллиардов рублей. Но экономические убытки здесь не самое главное, куда существеннее – человеческие потери.

Цифры поистине ужасают. Особенно на фоне того, что в США или Западной Европе, где уровень автомобилизации выше российского, смертность от ДТП существенно ниже. Так, у нас число погибших на 100 пострадавших в ДТП составляет 10%, а в Европе, Японии и США тот же показатель не превышает 2%. За последний год количество ДТП в Орловской области на 10 тыс. единиц транспортных средств составило 52,9 единиц, что на 48% больше, чем в среднем по России. И главная причина здесь кроется не только в огромных российских расстояниях, тяжелом климате, плохих дорогах, но и в неоперативности оказания первой помощи пострадавшим на дороге.

У медиков существует понятие «золотого часа», в течение которого медицинская помощь пострадавшему наиболее эффективна. То есть, чем больше времени ушло на вызов служб реагирования, их прибытие к месту аварии (а его еще надо найти!), тем тяжелее последствия травмы и тем меньше шансов на выживание у пострадавших.

В результате развития технологий ГЛОНАСС на пассажирском и социальном транспорте достигнуты существенные результаты. Например, в Барнауле по результатам оснащения карет скорой помощи телематическими терминалами время приезда бригад скорой помощи сократилось с 21 до 10 минут и на 20% сократилось количество смертных случаев реанимационных пациентов, расход ГСМ сократился на 20%. В Ленинградской области за счет повышения контроля над работой бригад скорой помощи число выездов до 4-х минут увеличилось на 14,8 %. Среднее время ожидания «неотложки» уменьшилось в целом на 11,8%. Расход топлива сократился более, чем на 25 тысяч литров.

В Рязани на остановках города установлены уникальные информационные табло с Комплексным Маршрутным Указателем (КМУ). Комплексный Маршрутный Указатель использует данные, предоставляемые системой мониторинга городского транспорта на базе ГЛОНАСС/GPS, и способен с точностью до одной минуты прогнозировать и выводить на информационные табло время прибытия транспорта на остановку с учетом скорости движения пассажирского транспорта, остановок на светофорах, «пробок» и т.д. По результатам внедрения элементов ИТС в Рязани регулярность движения пассажирского транспорта достигла 99,9%.

Согласно «Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2020 года» Минпромторга России, автомобильный рынок будет расти и к 2020 году должен составить, только легковых автомобилей, более 50 млн. единиц.

Безусловно, в Орловской области имеются компании из числа потребителей навигационных технологий, которые идут в ногу со временем по пути оптимизации бизнеса. Они, прежде всего, определяют задачу, которую необходимо решить в рамках предприятия (логистические задачи; задачи контроля объектов/субъектов; мониторинг состояния агрегатов транспорта и состояния водителя и т.д.) и в качестве инструмента выбирают навигационные технологии, которые интегратор адаптирует под нужды заказчика.

Однако, в большинстве своем, потребитель (речь идет в том числе и о госзаказчике) принимает решение об оснащении своего транспорта только после того, как его соответствующим образом проинформировал интегратор, предоставив в виде аргументов перспективу отслеживания

транспорта и показатели эффективности: экономия топлива – в среднем 20%; сокращение простоев – 5%; сокращение пробега – 10%; окупаемость системы за 3-5 месяцев и т.д.

Однако малый и средний бизнес региона, в основной своей массе, не ощущают потребностей в системах мониторинга потому, что:

– не возникает таких задач/проблем (или задачи/проблемы не существенны), которые могли бы быть решены с помощью навигационных технологий (в частности, систем мониторинга);

– «серые» схемы ведения бизнеса не предполагают отслеживания активов и формирования по ним отчетностей и др.

Поэтому, для полномасштабного внедрения технологий ГЛОНАСС очень важны инициативы региональных властей. Введение санкций за отсутствие на коммерческом и спецтранспорте оборудования ГЛОНАСС является мощным стимулом для увеличения спроса. Исходя из потенциала рынка коммерческого автотранспорта Орловской области, можно спрогнозировать, что спрос на ГЛОНАСС-системы в ближайшее время может увеличиться до 100 раз.

Но для полномасштабного внедрения ГЛОНАСС только законодательных инициатив и штрафов недостаточно. Необходимы рыночные меры стимулирования спроса, в первую очередь – конкурентоспособная цена на оборудование.

С точки зрения региональных приоритетов существует несколько направлений использования ГЛОНАСС. В первую очередь, это федеральный проект «Эра ГЛОНАСС», цель которого – повышение безопасности на дорогах России за счет максимально оперативного реагирования на дорожно-транспортные происшествия. Еще одно направление – создание интеллектуальных транспортных систем. В этой связи навигационное оборудование, которым будут оснащаться транспортные средства, открывает возможности для решения главной проблемы больших городов – снижения нагрузки на транспортные артерии и уменьшения количества ДТП. И третье – это системы управления силами и средствами в интересах органов власти и экстренных служб [1].

В заключении необходимо отметить, что ускорение реализации социально значимых проектов по внедрению ГЛОНАСС-технологий невозможно без консолидации усилий бизнеса и государства. Долгосрочные инвестиции в социальную сферу со стороны бизнеса – это возможность укрепить репутацию, сформировать позитивное мнение о компании и доверительное отношение к ней общественности. Вместе с тем спонсорская поддержка инновационных технологий в социальной сфере – это кратчайший путь повышения качества жизни миллионов людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 11.07.2009 N 549 «О федеральном сетевом операторе в сфере навигационной деятельности».
2. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова – 3-е изд., перераб. – М.: Радиотехника, 2005. – 688 с.
3. Официальное техническое описание параметров и сигнала ГЛОНАСС /интерфейсный контрольный документ (редакция 5.1). – Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения, 2008.– 160 с.

Торгачев Дмитрий Николаевич

Госуниверситет–УНПК

Адрес: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40, к. 808

Канд. экон. наук, доцент

Тел. +7(4862)419565

E-mail: d_torgachev@mail.ru

Морозова Ольга Ивановна

Госуниверситет–УНПК

Адрес: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29, к. 808

Канд. техн. наук, доцент
Тел. +7(4862)419565
E-mail: 777olia09@mail.ru

D. N. TORGACHEV, O. I. MOROZOVA

PROSPECTS FOR INNOVATION GLONASS FOR PASSENGER AND SOCIAL TRANSPORT IN THE ORYOL REGION

The complex of recommendations about development and realization of socially significant projects on the basis of innovative technologies ГЛОНАСС is developed, the mechanism of optimization of management is offered by motor transport of social services

Keywords: social innovations, navigating technologies, region economy, a transport infrastructure, management optimization

BIBLIOGRAPHY

1. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 11.07.2009 N 549 "O federal'nom setevom opereatore v sfere navigatsionnoy deyatel'nosti".
2. GLONASS: printsipy postroeniya i funktsionirovaniya / Pod red. A.I. Perova, V.N. Harisova - 3-e izd., pererab. - M.: Radiotekhnika, 2005. - 688 s.
3. Ofitsial'noe tekhnicheskoe opisanie parametrov i signala GLONASS /interfeysnyy kontrol'nyy dokument (redaktsiya 5.1). - Rossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut kosmicheskogo priborostroeniya, 2008.- 160 s.

Torgachev Dmitry Nikolaevich

Cand.Econ.Sci., the senior lecturer
302020, Orel, Naugorsky highway 40, to. 808
Tel.+7(4862)419565
E-mail: d_torgachev@mail.ru

Morozova Olga Ivanovna

Cand.Econ.Sci., the senior lecturer
302020, Orel, Naugorsky highway 40, to. 808
Tel.: +7(4862)419565
E-mail: 777olia09@mail.ru

**Продолжается подписка на журнал
«Мир транспорта и
технологических машин»**

**Подписной индекс журнала:
16376 («Пресса России»)**

**Подписка через редакцию:
(с любого месяца)**

Информация о подписке на нашем сайте

www.gu-unpk.ru

Тел. +7 (4862) 43-48-90

В. В. САЛМИН, Е. А. НЕЛЮЦКОВА

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ – АВТОМОБИЛЬ – ДОРОГА – СРЕДА»

Рассмотрены виды автотехнической экспертизы, изучающие элементы системы «водитель – автомобиль – дорога – среда», общая методика экспертного исследования и роль эвристических методов экспертизы в установлении механизма ДТП и факторов, которые способствовали его совершению.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие; экспертиза; эвристика; транспортное средство; система ВАДС.

Автомобильный транспорт играет важную роль в развитии любого государства. В последнее время отмечаются высокие темпы роста парка автомобилей. Число транспортных средств (ТС) на улично-дорожной сети городов изменяется не только количественно, но и качественно: совершенствуются системы активной и пассивной безопасности автомобилей, эргономические показатели и т.д.

Геометрические параметры улично-дорожной сети современных городов далеко не всегда соответствуют фактическим транспортным потокам. В связи с этим проявляются такие негативные последствия автомобилизации, как: снижение пропускной способности автомобильных дорог; перерасход топлива; увеличение выбросов вредных веществ автомобилями, стоящими в транспортных пробках; увеличение конфликтных ситуаций на дорогах и, как следствие, рост числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Эксплуатация автомобильного транспорта в современных дорожных условиях требует от водителей высокого профессионализма. От умения водителя быстро оценивать дорожно-транспортную ситуацию (ДТС) и принимать верное решение по управлению своим транспортным средством в значительной мере зависит как его безопасность, так и безопасность других участников дорожного движения. Таким образом, безопасность дорожного движения зависит от нормального функционирования системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС), а само дорожно-транспортное происшествие рассматривается как предельное состояние данной системы, ведущее к ее отказу.

Согласно статистическим данным УГИБДД УМВД России по Пензенской области, в 2010 году нарушения Правил дорожного движения (ПДД) Российской Федерации (РФ) водителями транспортных средств явились причиной около 90% от общего числа автомобильных аварий, регистрируемых на территории Пензенской области. Основными нарушениями ПДД РФ водителями транспортных средств являются следующие: несоответствие скорости условиям движения; выезд на полосу встречного движения; несоблюдение очередности проезда; нарушение правил проезда пешеходных переходов; неправильный выбор дистанции; нарушение правил обгона и эксплуатация технически неисправного транспортного средства и другие. В 13,5% случаев причиной ДТП явились нарушения ПДД РФ пешеходами, основными из которых являются следующие: переход проезжей части в неустановленном месте; нетрезвое состояние пешехода; неожиданный выход из-за стоящего или движущегося ТС; неподчинение сигналам регулирования движения; наличие пешехода до 7 лет без сопровождения взрослых, игра на проезжей части и другие. В 20% случаев ДТП происходит при неудовлетворительных дорожных условиях: недостаточном или неисправном освещении; отсутствии дорожной разметки; низких сцепных качествах дорожного покрытия; отсутствии пешеходных дорожек, тротуаров и пр. Удельный вес ДТП, происходящих из-за неисправностей транспортных средств довольно мал. Техническая неисправность транспортных средств установлена в качестве причины в 1,6% всех дорожно-транспортных происшествий. Основными видами неисправностей транспортных средств, приводящих к ДТП, являются поломки и отказы деталей тормозных систем и внешних световых приборов, а также значительный из-

нос рисунка протектора шин. Таким образом, на безопасность дорожного движения влияют все составляющие системы ВАДС.

Для исследования всех обстоятельств ДТП требуются специальные познания из самых разных областей: юриспруденции, криминалистики, медицины, психофизиологии, конструкции, теории и расчета транспортных средств, технологии их изготовления, обслуживания и ремонта, проектирования, строительства и эксплуатации дорог, организации и безопасности дорожного движения и др. Комплексное научно-техническое исследование всех аспектов каждого происшествия в отдельности, проведенное лицами, имеющими перечисленные выше специальные познания, называют экспертизой дорожно-транспортного происшествия.

Исследования составляющих системы ВАДС проводится в рамках автотехнической экспертизы. Автотехническая экспертиза – это род инженерно-транспортной экспертизы, суть которой состоит в исследовании и установлении механизма ДТП и его обстоятельств, технического состояния ТС и дороги, психофизиологических характеристик его участников и их действий. В рамках автотехнической экспертизы исследованию подвергаются как результаты осмотра места происшествия и транспортных средств, зафиксированные сотрудниками ГИБДД, следователями, дознавателями, так и сами места происшествия и транспортные средства, следы на них, их детали, узлы, агрегаты, системы, а также водитель и его действия и иные исходные данные. Автотехническая экспертиза как род инженерно-транспортной экспертизы подразделяется на виды и подвиды, которые различаются по предмету, объектам и частным методикам. Различают следующие виды автотехнической экспертизы [3]:

- экспертиза обстоятельств дорожно-транспортных происшествий;
- экспертиза технического состояния транспортных средств;
- экспертиза следов на транспортных средствах и месте ДТП (транспортно-трассологическая диагностика), а также технического состояния дороги, дорожных условий на месте ДТП;
- инженерно-психофизиологическая экспертиза участников ДТП.

Экспертиза обстоятельств дорожно-транспортного происшествия включает экспертное исследование ДТС, расчет параметров движения транспортных средств, иных объектов и пешеходов в процессе ДТП, а также анализ действий и возможностей водителей.

Экспертиза технического состояния ТС включает экспертное исследование его технического состояния в целом, а также отдельных систем, агрегатов, механизмов, узлов и деталей в целях установления их работоспособности, причин и времени возникновения неисправностей, а также возможности их обнаружения.

Экспертиза следов на транспортных средствах и месте ДТП (транспортно-трассологическая экспертиза) – это комплексное исследование ТС, различных объектов, следов и обстановки на месте происшествия в целях определения траектории и характера движения относительно расположения транспортных средств, пешеходов и других объектов до ДТП (столкновения, наезда и т.д.) и установления места столкновения (наезда, опрокидывания). Однако при исследовании разрозненных следов на месте дорожно-транспортного происшествия не всегда возможно полностью восстановить механизм ДТП. Для этого необходимо проанализировать ситуацию в целом. Данными вопросами занимается ситуалогическая (ситуационная) экспертиза.

Экспертиза технического состояния дороги, дорожных условий на месте ДТП это вид автотехнической экспертизы, связанный с экспертным исследованием участка автомобильной дороги, на котором происходит движение транспортных средств непосредственно до, и после происшествия, участка места происшествия, дорожных условий на этом участке, элементов транспортных средств, взаимодействующих с дорогой, в целях установления связанных с дорожно-транспортным происшествием фактических данных о строительных и эксплуатационных показателях качества автомобильной дороги и ее элементов, а также конструкции и состояния взаимодействующих с автомобильной дорогой элементов транспортных средств.

Инженерно-психофизиологическая экспертиза водителя транспортного средства это вид автотехнической экспертизы, связанный с экспертным исследованием индивидуальных психофизиологических особенностей водителя на момент обследования, а также проявляю-

щихся в различные периоды жизни обстоятельств психологического характера, которые могли способствовать возникновению дорожно-транспортного происшествия, условий, в которых действовали водитель и другие участники ДТП непосредственно в момент происшествия, психических компонентов действий водителя (других участников происшествия), а также сведений о профессиональной деятельности водителя в целом и о дорожно-транспортной ситуации, предшествовавшей дорожно-транспортному происшествию в частности [3].

Таким образом, каждый вид автотехнической экспертизы исследует одну или несколько составляющих системы ВАДС.

Экспертное исследование – это творческий процесс, в котором проявляются знание достижений и методов различных наук, диалектико-материалистической теории познания, владение высокоэффективными методами исследования, умение эксперта и его личный опыт.

В зависимости от того, какие объекты представлены на исследование, определяется алгоритм решения той или иной экспертной задачи. Данные алгоритмы представляют собой методику экспертного исследования. В экспертной деятельности встречаются задачи, при решении которых применение алгоритмов не приносит должного эффекта. Это так называемые нестандартные, творческие задачи с неопределенной сферой поиска. Творческое решение нестандартных экспертных задач, в том числе связанных с обнаружением (следов, микрочастиц, наложений и др.), определением механизма действия (процесса, явления) и установлением совпадения или различия признаков (идентификационных, диагностических) называется экспертной эвристикой. Эвристические построения служат чаще всего для решения промежуточных задач, для промежуточных выводов эксперта, требующих подтверждения и развития с использованием иных методов. Эвристики часто предшествуют алгоритму действия, помогая определить путь надежного решения задачи. Эвристики, как творческий процесс, способны существенно облегчить труд эксперта, но требуют для своей реализации достаточно высокой степени профессионализма и опыта экспертной деятельности.

Память эксперта хранит бесконечное множество различных ситуаций, объектов и путей решения задач, с которыми он лично сталкивался, читал или узнал, наблюдая работу своих коллег. Интуиция и здравый смысл помогают ему выбрать тот способ исследования, который оказывается наиболее подходящим для каждого конкретного случая, позволяют эксперту следить за правильностью работы и промежуточных результатов, получаемых с помощью алгоритмов. Контролируя процесс алгоритмической деятельности, мозг продолжает вместе с тем накапливать информацию, перерабатывать ее, независимо от воли эксперта готовить базу для возможных эвристических решений, которые могут понадобиться, если алгоритмы исчерпают свои возможности или в процессе исследования возникнет нестандартная ситуация, требующая решения. Творческими, эвристическими (в значительной мере интуитивными) называются решения, возникающие без помощи логики, минуя сознательное, аналитическое мышление. Такое решение можно в дальнейшем осмыслить и логически обосновать [4].

Эвристика проявляет себя не только в процессе экспертизы, но и на стадии предварительного следствия, когда определяются основные версии развития механизма ДТП.

Механизм дорожно-транспортного происшествия – это комплекс связанных объективными закономерностями обстоятельств, определяющих процесс сближения транспортных средств (и пешеходов, препятствий и т.д.), их взаимодействие в процессе удара и последующее движение до остановки [1]. Кроме того, механизм ДТП это ещё и определенная последовательность взаимодействий, ведущих к образованию следов и повреждений на транспортных средствах при их столкновении, а также на объектах окружающей обстановки. В механизм столкновения включают направление движения, угол столкновения, взаимное расположение транспортных средств в момент столкновения, последующее их перемещение и другие элементы [4]. Установление механизма дорожно-транспортного происшествия позволяет решить многие вопросы, имеющие значение для конкретного дела (кто из водителей перед столкновением изменил направление движения, как располагались транспортные средства в момент столкновения относительно друг друга и границ проезжей части и др.). Однако установление механизма ДТП должно проводиться на основании объективных данных (сле-

дов, расположения ТС, характера и направления образования повреждений и т.д.). Субъективные данные (показания водителей о скорости движения ТС, удалении от места столкновения в момент возникновения опасности и т.п.) не должны ложиться в основу экспертного исследования, так как их использование может привести к неверным выводам.

Комплексный анализ ДТП с использованием экспертных эвристик позволяет не только решать поставленные перед экспертом вопросы, но и, используя объективные сведения о ДТП, подтверждать субъективные данные или наоборот опровергать их, указывая на их техническую несостоятельность.

Анализ данных об обстоятельствах происшествия позволяет экспертам установить взаимосвязь между отдельными событиями и определить истинную причину происшествия (с технической точки зрения). Однако, при исследовании механизма происшествия признаки, позволяющие установить то или иное обстоятельство, могут отсутствовать. В этом случае установление истины по конкретному ДТП возможно, исходя из данных о других обстоятельствах происшествия, путем проведения экспертного исследования на основе закономерностей, связывающих все обстоятельства механизма происшествия в единое целое.

В общем случае механизм ДТП можно описать следующей математической моделью:

$$Y = a_0 + \sum a_i \cdot x_i^j,$$

где Y – коэффициент, тяжести последствий ДТП;

a_0 – коэффициент, учитывающий влияние факторов, не учтенных при определении значений x_i^j ;

a_i – весовые коэффициенты элементов системы ВАДС;

x_i^j – элементы системы ВАДС.

В свою очередь каждое значение x_i^j зависит от множества факторов, составляющих каждый элемент системы ВАДС (элемент системы ВАДС «водитель» зависит от возраста участника ДТП, стажа управления ТС, состояния на момент ДТП; элемент «автомобиль» находится в зависимости от срока эксплуатации ТС, его пробега, степени загрузки, технического состояния; элемент «дорога» характеризуется типом дорожного покрытия, наличием уклонов, поворотов и т.д.; элемент «среда» зависит от времени года, суток, освещенности, скользкости покрытия и пр.). При этом необходимо отметить, что все факторы, от которых зависят элементы системы ВАДС, являются объективными. Они фиксируются в материалах по ДТП, которые составляются сотрудниками ГИБДД, и используются экспертами-автотехниками при производстве экспертизы. Однако комплексный анализ данных факторов, как правило, никогда не проводится. На практике приоритет всегда отдается какому-либо одному элементу системы ВАДС. Например, орган или лицо, проводящее расследование ДТП считает, что причиной ДТП является отказ элемента «водитель» системы ВАДС, поэтому для производства автотехнической экспертизы задаются в качестве исходных данных факторы только данного элемента, которые и исследуются экспертом. Остальные факторы остаются без внимания. Хотя в действительности удельный вес другого элемента системы ВАДС (например, элемента «автомобиль» или элемента «дорога») может оказаться значительно выше, чем предполагалось изначально.

Использование приведенной выше математической модели позволит исключить субъективную составляющую при выборе и оценке исходных данных для автотехнической экспертизы, на основании которых можно будет установить механизм ДТП и обосновать с технической точки зрения степень вины каждого его участника, а также выявить наиболее слабые элементы системы ВАДС для каждого конкретного случая и определить тактику расследования ДТП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иларионов, В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий [Текст] / В. А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
2. Майлис, Н. П. Судебная трасология [Текст] / Н. П. Майлис. – М.: Издательство «Экзамен»: Право и закон, 2003. – 272 с.

3. Автотехническая экспертиза [Электронный ресурс] / РФЦСЭ при Минюсте России [М., 2011]. URL: <http://www.sudexpert.ru/possib/auto.php> (дата обращения: 21.07.2011).

4. Грановский, Г. Л. Ситуалогическое исследование места происшествия [Текст] / Г. Л. Грановский // Программированные и ситуалогические методики трасологических исследований: сб. науч. тр. / ВНИИСЭ. – 1979. – № 37. – С. 104–138.

5. Шляхов, А. Р. Судебная экспертиза: организация и проведение [Текст] / А. Р. Шляхов. – М.: Юрид. лит., 1979. – 168 с.

Салмин Владимир Васильевич

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28,

Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Тел. +7(963)1047597

E-mail: salmin-penza@yandex.ru

Нелюцкова Екатерина Алексеевна

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28,

Аспирант кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Тел. +7(927)3627947

E-mail: kate_170481@mail.ru

V. V. SALMIN, E. A. NELYUTSKOVA

**THE HEURISTIC METHOD ASSESSMENT SYSTEM
"DRIVER - CAR - THE ROAD - WEDNESDAY"**

The kinds of autotechnical expert appraisal studying elements of system «the driver – the car – road – environment», the general technique of expert research and a role of heuristic methods of examination in an establishment of the mechanism of road accident and factors which promoted its fulfillment are considered.

Keywords: road and transport incident; examination; heuristics; a vehicle; system VADS.

BIBLIOGRAPHY

1. Ilarionov, V. A. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy [Tekst] / V. A. Ilarionov. - M.: Transport, 1989. -255 s.

2. Maylis, N. P. Sudebnaya trasologiya [Tekst] / N. P. Maylis. - M.: Izdatel'stvo "Ekzamen" : Pravo i zakon, 2003. -272 s.

3. Avtotekhnicheskaya ekspertiza [Elektronnyy resurs] / RFTSSE pri Minyuste Rossii [M., 2011]. URL: <http://www.sudexpert.ru/possib/auto.php> (data obrashcheniya: 21.07.2011).

4. Granovskiy, G. L. Situalogicheskoe issledovanie mesta proisshestviya [Tekst] / G. L. Granovskiy // Programmirovannyye i situalogicheskie metodiki trasologicheskikh issledovaniy: sb. nauch. tr. / VNIISE. -1979. - № 37. - S. 104-138.

5. SHlyakhov, A. R. Sudebnaya ekspertiza: organizatsiya i provedenie [Tekst] / A. R. SHlyakhov. -M.: YUrid. lit.,1979. - 168 s.

Salmin Vladimir Vasil'evich

Penza State University of Architecture and Construction (PGUAS)

Address: 440028, Penza, ul. Titov, 28

Dr. tech. Sciences, professor, head of "Operation of Road Transport"

Tel. +7(963)1047597

E-mail: salmin-penza@yandex.ru

Nelyutskova Ekaterina Alekseevna

Penza State University of Architecture and Construction (PGUAS)

Address: 440028, Penza, ul. Titov, 28

Graduate student, "Operation of motor transport"

Tel. +7(927)3627947

E-mail: kate_170481@mail.ru

Е. В. АГЕЕВ, А. Л. КУДРЯВЦЕВ, А. Л. СЕВОСТЬЯНОВ

АЛГОРИТМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЭНДОСКОПА

В статье теоретически обоснованы возможности технической эндоскопии и алгоритм ее применения при диагностике цилиндропоршневой группы двигателей автомобилей. Проанализировано состояние цилиндропоршневой группы в зависимости от наработки и даны практические рекомендации по ее диагностированию. Новизна исследований заключается в разработке теоретических положений и практических рекомендаций по оценке технического состояния ответственных деталей цилиндропоршневой группы автомобильных двигателей.

Ключевые слова: цилиндропоршневая группа, технический эндоскоп, алгоритм, техническое состояние.

ВВЕДЕНИЕ

К числу основных и наиболее ответственных деталей двигателей современных автомобилей относят цилиндропоршневую группу (ЦПГ), от технического состояния которой во многом зависят технико-эксплуатационные показатели двигателя, а также расход топлива и содержание вредных компонентов в отработавших газах. При наличии неисправности в двигателе для проведения качественного визуального диагностирования требуется частичная разборка агрегата, на которую уходит много рабочего времени, столько же и на последующую сборку. Простой автомобильного транспорта, особенно коммерческого, даже в течение одного дня обходится владельцу слишком дорого, поэтому при первых признаках неисправности двигателя, авторами предлагается производить визуальное диагностирование с помощью технического эндоскопа. Это необходимо для оценки технического состояния диагностируемого объекта, и в последующем для определения спектра запасных частей и расходных материалов, при производстве работ по техническому обслуживанию или ремонту. Технический эндоскоп используют для визуального осмотра труднодоступных мест, в том числе закрытых, светоизолированных, имеющих малые входные отверстия [1-3].

СОДЕРЖАНИЕ СТАТЬИ

В данный момент на рынке автосервисного оборудования представлено два типа технических эндоскопов: оптические приборы и приборы, в основе которых лежит цифровая камера. Оптические устройства дают качественную картинку, поскольку вместе с зондом в камеру сгорания двигателя (или любую другую исследуемую зону) мы доставляем не только оптический прибор, но ещё и довольно мощные источники света. Компактная оптика намного лучше передает изображение, чем портативные цифровые камеры. Недостатком оптического эндоскопа является то, что он не в состоянии передать изображение на экран монитора. Технические эндоскопы, в основе которых лежит цифровая камера выдают менее качественную картинку. Зато это изображение или видеоролик можно не только продемонстрировать клиенту в режиме реального времени, но и сохранить в базе данных для последующей обработки [4-6].

В настоящее время технические эндоскопы на сервисных предприятиях используются относительно редко, поскольку отсутствует четкий алгоритм их применения и обработки полученной информации. На основе накопленного опыта авторами предлагается к использованию следующий алгоритм диагностирования технического состояния с использованием технического эндоскопа (рис. 1).

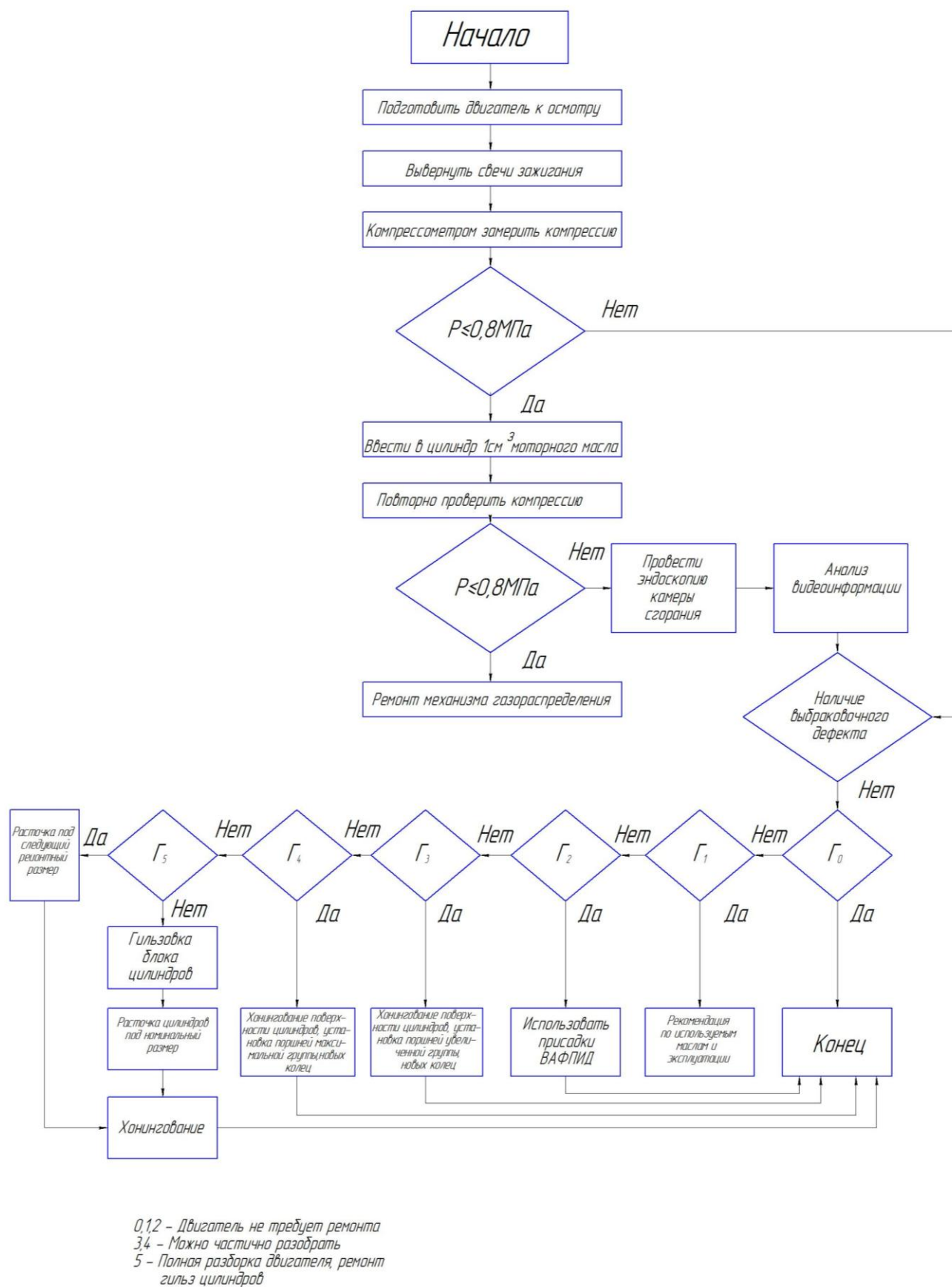


Рисунок 1 - Алгоритм диагностики технического состояния ЦПГ с использованием технического эндоскопа

Алгоритм включает следующие основные операции:

1. Подготовка двигателя к осмотру, которая заключается в его прогреве до рабочей температуры при необходимости, а также в отключении зажигания на свечи.

2. Вывертывание свечей зажигания и оценка их технического состояния по наличию и цвету нагара.

3. Замерить компрессию при полностью открытых дроссельной и воздушной заслонках компрессометром. Далее в зависимости от величины компрессии возможны варианты:

Если давление в конце такта сжатия менее 0,8 МПа, то возможно:

3.1. Неисправен газораспределительный механизм, нарушена регулировка зазора, прогар клапана или седла клапана.

3.2. Неисправна ЦПГ, прогар поршня, излом поршневых колец.

3.3. Трещина в головке или блоке цилиндров.

4. Для уточнения причины неисправности необходимо ввести 1 см³ моторного масла через свечное отверстие в цилиндр двигателя.

5. Повторно проверить компрессию.

Если давление осталось без изменения, то делаем заключение о неисправности ГРМ и необходимости его ремонта. В том случае, если давление повысилось, то необходимо провести эндоскопию камеры сгорания. Для чего ДВС необходимо остудить до температуры не более 30°C, поршни 1 и 4 цилиндра установить в нижнюю мертвую точку, шнур подсоединить к персональному компьютеру и включить в работу. Эндоскоп работает исправно, если на дистальном конце появился пучок света, а на экране персонального компьютера изображение. Далее установить одну из 4 насадок и поместить головку эндоскопа в цилиндр. Настроить интенсивность пучка света. Далее производится фото и видеосъемка и формируется папка с материалами по каждому цилиндру двигателя.

Далее анализ видеоинформации.

Путем сравнения картинок характерных зон на развертке цилиндра с эталонными (рис.2) на основе поисковых опытов были разработаны практические рекомендации ($\Gamma_0 - \Gamma_5$):

– если на цилиндре отсутствует износ следов хонингования (Γ_0), то никаких технических воздействий не проводится (рис. 3);

– если на цилиндре присутствует незначительный износ следов хонингования (Γ_1), то необходимо дать рекомендации по совместимости смазочных материалов (рис. 3);

– если на цилиндре отчетливо видны следы износа в верхней области цилиндра хонингования (Γ_2), то следует использовать восстановительные антифрикционные противоизносные добавки к моторным маслам (рис. 4);

– если на цилиндре присутствует значительный износ следов хонингования следы от поршневых колец (Γ_3), то необходимо произвести ремонт двигателя методом селективной подборки (рис. 5);

– если на большинстве поверхности цилиндра отсутствуют следы хонингования и имеют место продольные риски, задиры, царапины (Γ_4), то необходимо провести ремонт двигателя методом ремонтных размеров (рис. 6);

– если на всей поверхности цилиндра отсутствуют следы хонингования и имеют место продольные глубокие риски, задиры, царапины, раковины (Γ_5), то необходимо выполнить растачивание цилиндров под следующий ремонтный размер, если таковой предусмотрен. Если размеры цилиндра вышли за пределы последнего ремонтного размера, то необходимо произвести расточку цилиндра под ремонтную гильзу с последующей обработкой под номинальный размер (рис. 7).

Результаты исследования. В качестве примера использования возможностей технического эндоскопа авторами представлены снимки ЦПГ двигателей ЗМЗ-402 после 180000 км пробега (рис. 8). Необходимость проведения диагностирования данного двигателя обусловлена повышенным расходом масла и потерей мощностей двигателем.

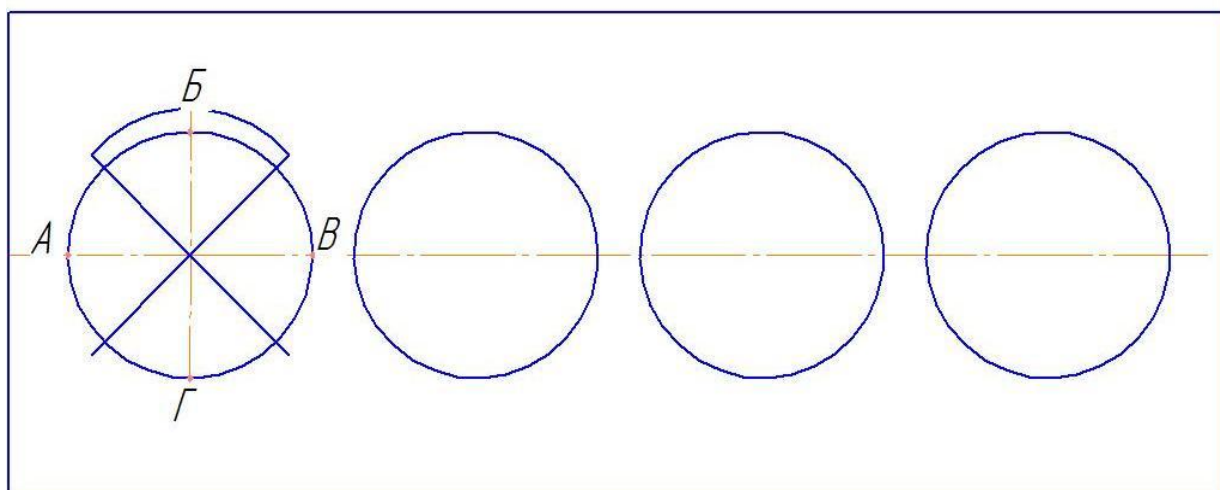


Рисунок 2 - Положение точек по окружности цилиндра

0–20 тыс. км

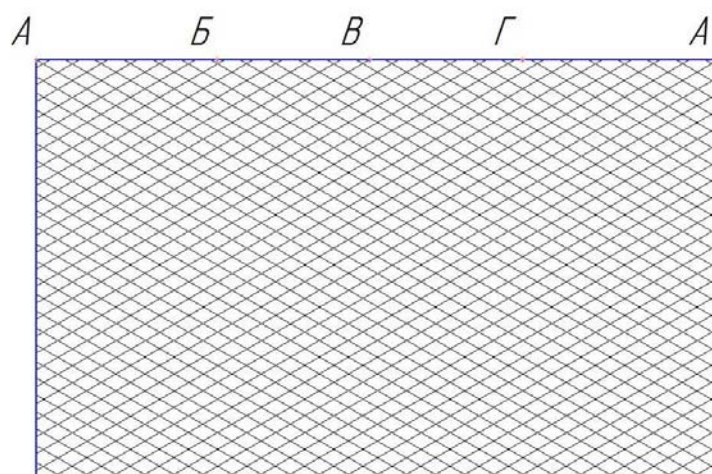


Рисунок 3 - Состояние развертки цилиндра при пробеге 0 – 20 тыс. км

20–40 тыс. км

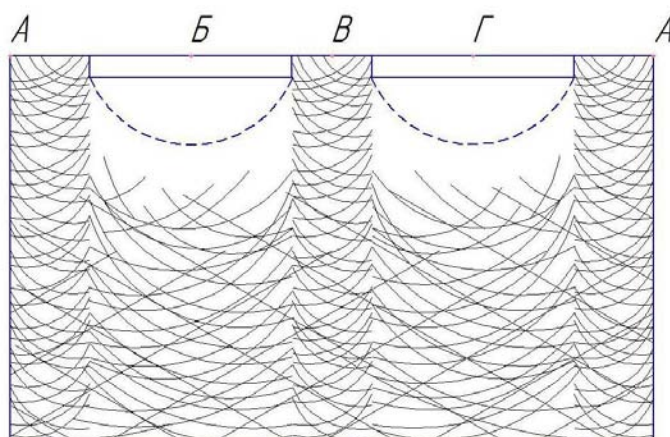


Рисунок 4 - Состояние развертки цилиндра при пробеге 20 – 40 тыс. км

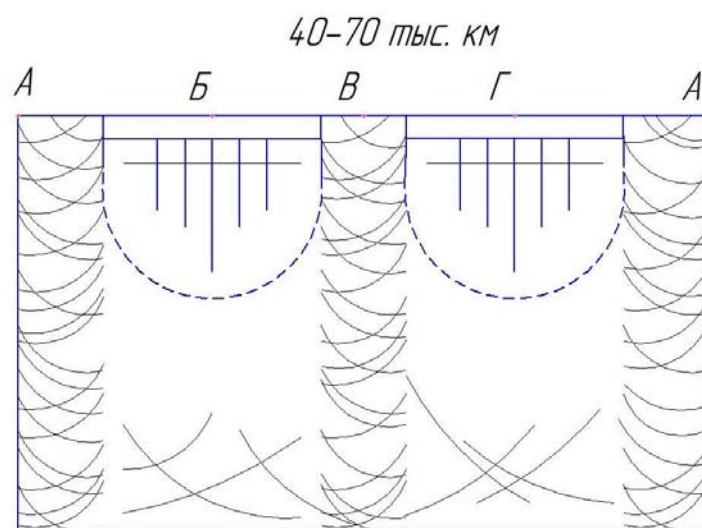


Рисунок 5 - Состояние развертки цилиндра при пробеге 40 – 70 тыс. км

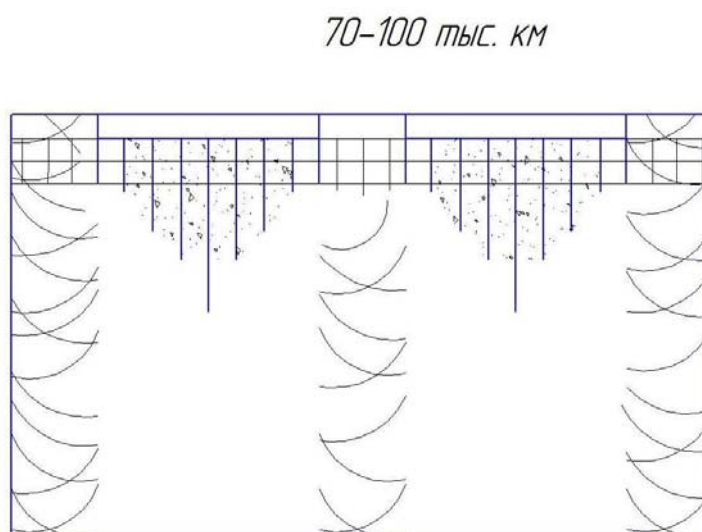


Рисунок 6 - Состояние развертки цилиндра при пробеге 70 – 100 тыс. км

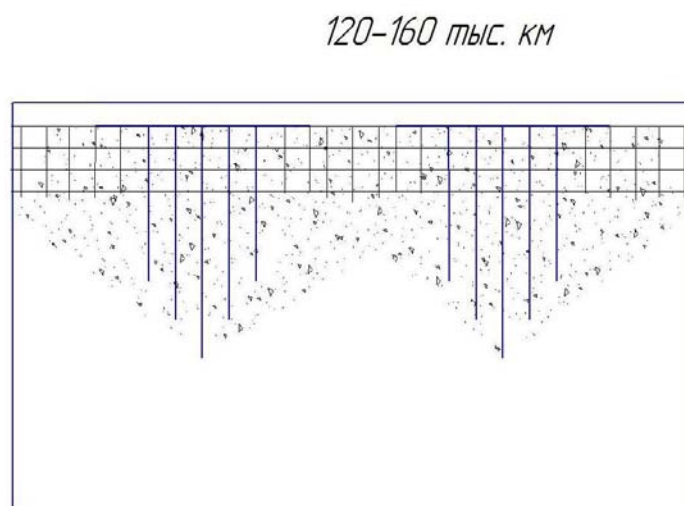


Рисунок 7 - Состояние развертки цилиндра при пробеге 120 – 160 тыс. км

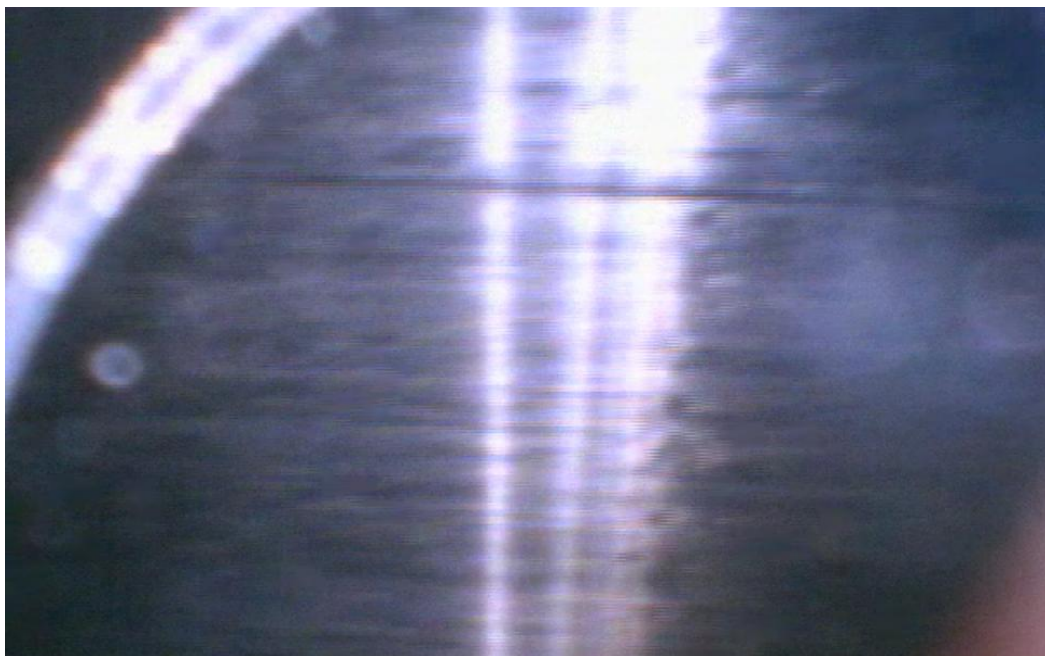


Рисунок 8 - Изображение стенки цилиндра двигателя ЗМЗ-402, полученное с помощью технического эндоскопа

При исследованиях двигателей использовался эндоскоп технический гибкий ЭТГ 8-1,2-2.

С помощью эндоскопа были получены наглядные снимки технического состояния камеры сгорания цилиндров двигателя. Визуально были исследованы поршень, стенки блока цилиндров, седла впускных и выпускных клапанов. По результатам проведенного диагностирования установлено, что причиной повышенного расхода масла и потери мощности двигателем является наличие продольных глубоких рисок, задигов, царапин и раковин, дано заключение о необходимости выполнения ремонта двигателя с применением метода ремонтных размеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использование технического эндоскопа открывает уникальные возможности для оперативной оценки технического состояния диагностируемого объекта с целью сокращения времени при выявлении и устранении неисправностей.

2. Предложенный алгоритм диагностирования может применяться на предприятиях автомобильного транспорта с целью повышения эффективности эксплуатации автомобильного транспорта.

3. Предложены эталонные шкалы (в виде состояния развертки) для определения технического состояния ЦПГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гассельберг, В. С. Диагностика двигателей внутреннего сгорания автомобилей по виброакустическим параметрам [Текст] / В. С. Гассельберг, А. В. Запорожец // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань: Изд-во АГТУ - 2007. № 2. С. 72-74.
2. Гусев, Г. А. Особенности организации диагностики, технического обслуживания и ремонта автомобилей, оборудованных электронными системами управления бензиновыми двигателями. [Текст] / Г. А. Гусев Автотранспортное предприятие. – М.: 2009. № 9. С. 45-47.
3. Бурдинский, И. Н. Специализированный измерительный комплекс в системе диагностики автомобильного двигателя [Текст] / И. Н. Бурдинский Датчики и системы. – М.: 2006. № 10. С. 39-42.
4. Дрейзин, В. Э. Возможности диагностики автомобильных двигателей путём анализа шума работающего двигателя [Текст] / В. Э. Дрейзин, М. М. Касем // Известия Курского государственного технического университета. – Курск: Изд-во КГТУ - 2009. № 2. С. 32-35.
5. Береснев, А. Л. Виброакустический метод диагностики двигателя внутреннего сгорания [Текст] / А. Л. Береснев, М. А. Береснев // Мехатроника, автоматизация, управление. – М.: 2010. № 6. С. 27-32.
6. Просвилов, Ю. Е. Надежность работы и методы диагностики цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Ю. Е. Просвилов, С. А. Басов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – Ростов: Изд-во РГУПС. - 2010. - № 2. - С. 40-45.

Агеев Евгений Викторович

Юго-Западный государственный университет
Канд. техн. наук, доцент кафедры автомобилей, транспортных систем и процессов
Адрес: 305040, г. Курск, 50 лет Октября, 94
Тел.: +7(904)5265507
E-mail: ageev_ev@mail.ru

Кудрявцев Александр Леонидович

Курская государственная сельскохозяйственная академия имени проф. И.И. Иванова
Преподаватель кафедры технологии металлов и ремонта машин
Адрес: 305040, г. Курск, Карла Маркса, 70
Тел.: +7(960)6952146

Севостьянов Александр Леонидович

Государственный университет-УНПК
Канд. техн. наук, доцент, директор института транспорта
Адрес: 302030, г. Орел, ул. Московская, 77
Тел. +7(4862)734360
E-mail: srmostu@mail.ru

E. V. AGEEV, A. L. KUDRYAVTSEV, A. L. SEVOST'YANOV

DIAGNOSTIC CYLINDER GROUP WITH TECHNICAL ENDOSCOPE

The paper theoretically proved the possibility of industrial endoscopy and algorithm of its application in the diagnosis of piston engines of automobiles. The state of cylinder group as a function of operating time, and yes-HN practical recommendations for its diagnosis. The novelty of the research is to develop theoretical concepts and practical recommendations for assessment of technical-sky condition of critical parts cylinder group of automobile engines.

Keywords: cylinder group, a technical endoscope, an algorithm, the technical condition.

BIBLIOGRAPHY

1. Gassel'berg, V. S. Diagnostika dvigateley vnutrennego sgoraniya avtomobiley po vibroakusticheskim parametram [Tekst] / V. S. Gassel'berg, A. V. Zaporozhets // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - Astrakhan': Izd-vo AGTU - 2007. № 2. S. 72-74.
2. Gusev, G. A. Osobennosti organizatsii diagnostiki, tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobiley, oborudovannykh elektronnyimi sistemami upravleniya benzinovymi dvigatelyami. [Tekst] / G. A. Gusev Avtotransportnoe predpriyatie. - M.: 2009. № 9. S. 45-47.
3. Burdinskiy, I. N. Spetsializirovannyi izmeritel'nyy kompleks v sisteme diagnostiki avtomobil'nogo dvigatelya [Tekst] / I. N. Burdinskiy Datchiki i sistemy. - M.: 2006. № 10. S. 39-42.
4. Dreyzin, V. E. Vozmozhnosti diagnostiki avtomobil'nykh dvigateley putiom analiza shuma rabotayushchego dvigatelya [Tekst] // V. E. Dreyzin, M. M. Kasem // Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo uni-versiteta. - Kursk: Izd-vo KGTU - 2009. № 2. S. 32-35.
5. Beresnev, A. L. Vibroakusticheskiy metod diagnostiki dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Tekst] / A. L. Beresnev, M. A. Beresnev. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. - M.: 2010. № 6. S. 27-32.
6. Prosvirov, YU. E. Nadezhnost' raboty i metody diagnostiki tsilindroporshnevoy gruppy dvigateley vnutrennego sgoraniya [Tekst] // YU. E. Prosvirov, S. A. Basov. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo uni-versiteta putey soobshcheniya. - Rostov: Izd-vo RGUPS - 2010. № 2. S. 40-45.

Ageev Eugene Victorovich

Southwestern State University
Cand. tech. sciences, assistant professor of automotive, transport systems and processes
Address: 305040, g. Kursk, 50 October, 94
Tel.: +7(904)5265507
E-mail: ageev_ev@mail.ru

Kudryavtsev Alexander Leonidovich

Kursk State Agricultural Academy, named after prof. II Ivanov
Lecturer of the Department of Metal Technology and repair of vehicles
Address: 305040, g. Kursk, Karl Marx, 70
Tel.: +7(960)6952146

Sevost'yanov Alexander Leonidovich

State University-UNPK
Cand. tech. sciences, assistant professor, Director of the Institute of Transport
Address: 302030, g. Orel, ul. Moscow, 77
Tel.: +7(4862)734360
E-mail: srmostu@mail.ru

Э. М. ПИНТ, И. И. РОМАНЕНКО, И. Н. ПЕТРОВНИНА,
В. С. КОЗИЦЫН, К. А. ЕЛИЧЕВ

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ЗНАКОВ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЕГО НА ОБРАЗЫ, СВЯЗАННЫЕ С АВТОМАТИЗАЦИЕЙ РАБОТЫ ДОРОЖНЫХ МАШИН

Разработан рациональный метод распознавания компьютером печатных знаков разных шрифтов, образов и символов, и, как следствие, программа для компьютера, реализующая этот метод. Метод распространен на образы, связанные с автоматизацией работы дорожных машин.

Ключевые слова: программа, оператор, матрица, печатный знак.

Целью исследований явилось создание такого метода распознавания компьютером печатных знаков разных шрифтов, образов и символов который в отличие от других методов отличался относительной простотой реализации и требовал для компьютера на распознавание одного печатного знака (образа) выполнения сравнительно небольшого количества операций. Создание на базе рационального метода распознавания компьютером печатных знаков, образов и символов читающего устройства до сих пор является актуальной проблемой.

Читающие устройства могут быть использованы для непосредственной обработки результатов научных исследований и инженерных разработок, для автоматизации процессов поиска информации в фонде литературы, при обработке статистических сведений, накапливаемых в промышленности, транспорте, при строительстве дорог, промышленных и гражданских объектов, для автоматического ввода иностранных текстов в компьютер и перевода этих текстов.

Для контроля технико-эксплуатационных возможностей дороги применяются различные средства, обеспечивающие проверку и измерение её параметров с целью оценки безопасности движения, исключения дефектов поверхности покрытий и т.п. Система автоматизированного слежения за разметкой дорожного профиля направляет и управляет рабочим органом дорожной машины, обеспечивает сохранение заданного курса движения, возможность управлять торможением гусеничного ходового оборудования. Для этих целей используются различные метки и образы, расположенные на маркерах вдоль трассы или по уже установленным бордюрным камням. Поэтому машины дорожного профиля обеспечиваются системами, позволяющими считывать образы и активно отвечать на полученные сигналы. За счет этого повышается качество выполняемых работ с использованием машин, уменьшается субъективное влияние человеческого фактора. На наш взгляд, такие системы хорошо зарекомендуют себя на автогрейдерах, катках, машинах по укладке коврового покрытия из мелкоштучных элементов.

Система восприятия и распознавания образов, установленная на дорожной машине, воспринимает изображение образа (метки) и распознает его. После этого на определенном выходе компьютера появляется электрический сигнал, подающийся на обмотку соленоида, стержень которого воздействует на тормоз машины, на систему амортизации. Аналогично электрический сигнал компьютера воздействует на аппаратуру управления двигателем для изменения скорости движения машины.

Следовательно, предложенный метод распознавания компьютером печатных знаков разных шрифтов можно распространить на распознавание других образов, например, специальных знаков, что позволит автоматизировать работу дорожных машин.

Как известно, читающее устройство должно выполнять две основные функции: воспринимать знаки текста и распознавать каждый знак.

С помощью фотоэлектронной системы считывания печатные знаки и другие образы считываются и эта информация поступает в память компьютера.

Рассмотрим основные алгоритмы программы для компьютера, которая реализует разработанный авторами рациональный метод распознавания компьютером печатных знаков разных шрифтов.

В результате теоретического анализа выяснилось, что характерными информативными признаками знаков являются направления элементов знака, составляющие для каждого знака определенную специфическую последовательность в порядке обхода по контуру относительно определенной кольцевой точки.

Анализ контуров знаков показал, что для определенных восьми направлений (рис. 1) все идеально напечатанные знаки рассматриваемых печатных шрифтов, представленные в виде последовательности номеров направлений в порядке обхода по контуру знака, распознаются друг относительно друга независимо от масштаба элементов знака. Таким образом, выбранные восемь направлений действительно являются оптимальными и достаточными, поскольку несут необходимые признаки для распознавания всех знаков рассматриваемых печатных шрифтов [1,2].

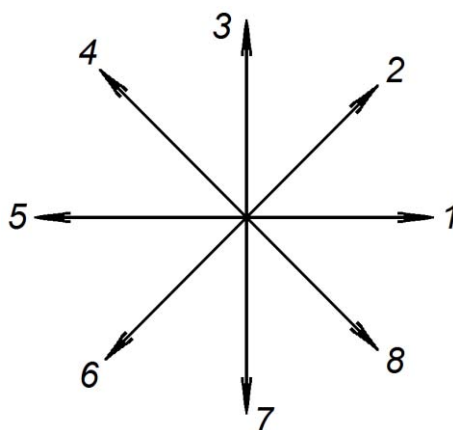


Рисунок 1 - Выбранные восемь направлений.

Рассмотрение каждого идеально напечатанного знакового контура с представлением его в виде специфичной последовательности номеров направлений (которая была названа стандартным видом знака) позволило составить стандартные виды знаков русского алфавита.

Исследованное устройство для ввода и распознавания печатных знаков состоит из системы считывания и компьютера. При помощи системы считывания изображение знака дискретно преобразуется в электрические импульсы, поступающие в определенном порядке в компьютер. Знак определенным образом вписывается в дискретную прямоугольную матрицу запоминающего устройства компьютера, где заполненные ячейки памяти соответствуют элементам изображения знака. Была разработана программа, реализующая предложенный метод распознавания печатных знаков.

Компьютер по программе, начиная с ячейки с наименьшим номером, обходит дискретно представленный знак по главным направлениям. Так как линии контура знака имеют толщину, которая к тому же непостоянна для разных знаков, необходимо выделять главные направления и совершать обход по ним, не принимая во внимание направления, возникающие от толщины линий, а также от декоративных украшений, дефектов и пр. Поэтому главное направление выбирается как направление, имеющее количество ячеек, большее или равное весу, а вес (определенное количество ячеек матрицы) должен быть хотя бы на одну ячейку больше количества ячеек, составляющих толщину линий знака.

Компьютер для каждой заполненной ячейки матрицы отыскивает возможные направления, образуемые соседними с исследуемой заполненными ячейками по всем восьми направлениям, для последующего перехода по главному направлению на соседнюю ячейку.

При обходе по контуру встречаются случаи, когда выявляются лишь направления, где количество заполненных ячеек меньше веса (так называемой суммы). Обход тогда совершается в сторону направления, именуемого наибольшей суммой ячеек.

Знак после обхода представляется в виде номеров главных направлений и номеров направлений от некоторых сумм. Например, как следует из рисунка 2,

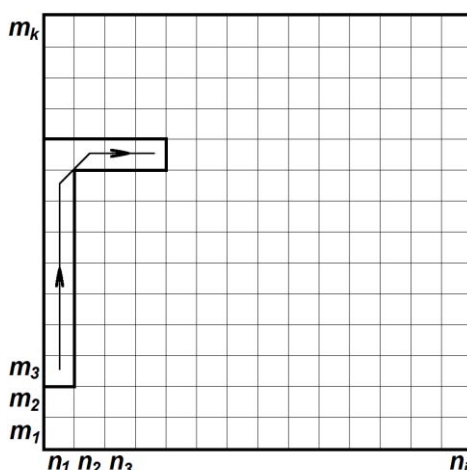


Рисунок 2 - Обход по направлениям буквы «Г»

запись по направлениям буквы «Г» будет 333333211. Алгоритм этой части программы, относящейся к нахождению главных направлений и сумм, представляется следующим образом:

$$R_1 \{ \{ F_2^7 \Phi_3 \Pi_4 \Pi_5 F_6^7 \Pi_7 R_8 \{ F_9^2 A_{10} F_{11}^2 \Pi_{12} F_{13}^2 P_{14} L_{15} A_{16} \Pi_{17} \} R_{17} \Pi_{18} F_{19}^7 \Pi_{20} \} Z_{21} \}$$

$$R_{21} \Pi_{22} F_{23}^7 \Pi_{24} \}$$

где: R_V – оператор, который заносит определенное число в индексный регистр,

$\{$ – правый знак перехода (или Z_k),

F_V – оператор переадресации по индексу,

Φ_V – оператор формирования,

Π_V – оператор переноса из одних ячеек оперативной памяти в другие,

A_V – арифметический оператор,

P_V – логический оператор,

L_k – левый знак перехода,

$\}$ – операторы F_{s+1} , P_{s+2}

Если при исследовании заполненной ячейки по восьми направлениям встречается несколько главных направлений или в отсутствии главных направлений несколько одинаковых сумм, обход производится в сторону направления с наименьшим номером.

В таком случае для оставшихся главных направлений заполненная ячейка запоминается как перекрестие. Если обход не дает больше ни главного направления, ни суммы (т.е. исчерпан), он либо заканчивается, либо при наличии перекрестий продолжается, начиная от перекрестия с наименьшим номером и т.д. до тех пор, пока не будут исследованы все главные направления, т.е. пока не будет обойден весь контур знака. Например, для буквы «Д» шрифта Гермес Г-63 (рис. 3) после исследования по восьми направлениям ячейки П начинается обход от перекрестия П (пунктирная линия).

Во время обхода по направлениям производится так называемое стирание по толщине и стирание исследованной ячейки, т.е. стирание содержимого заполненных ячеек, составляющих толщину линий знака, и стирание содержимого исследованной по восьми направлениям ячейки. Это делается для того, чтобы толщина линий не изменяла направление обхода (в противном случае линия будет обходиться несколько раз) и чтобы исключить возможность обхода по только что пройденному пути. На рисунке 3 крестиками зачеркнуты ячейки, содержимое которых стирается при стирании по толщине.

После обхода знака по направлениям полученная последовательность упрощается с целью исключения нехарактерных наклонов вертикальных и горизонтальных линий, т.е. их выпрямления и с целью исключения нехарактерных отклонений наклонных линий. Согласно проведенным исследованиям было выбрано следующее правило упрощения: одинаковые номера исключаются из записи знака по направлениям, если количество стоящих рядом номеров меньше веса и если за ними следуют те же номера, которые располагались до стираемых.

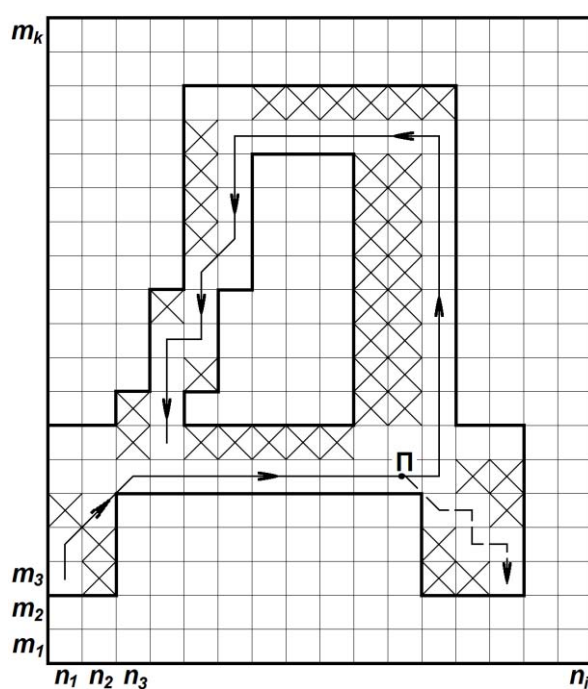


Рисунок 3 – Обход по направлениям буквы «Д»

В результате этих операций за счет ликвидации нехарактерных направлений знаки с определенной измененной ориентацией в целом и с определенной измененной ориентацией отдельных частей приобретают вид, удобный для окончательного распознавания.

Например (рис. 4), для горизонтальной, наклонной и вертикальной линий с измененной ориентацией записи по направлениям: 118181118111, 221222121222, 332332333233 (вес равен 3 номерам) после операции упрощения будут выглядеть соответственно как 111111111, 222222222, 333333333, т.е. произошло исправление ориентации этих основных линий знака.

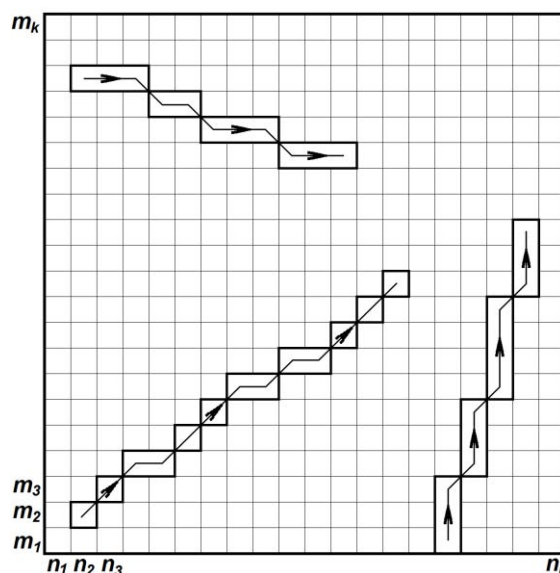


Рисунок 4 – Обход по направлениям линий знака

Логическая схема этой части программы:

$$R_1 \{ F_2 \Phi_3 \Pi_4 F_5 A_6 P_7 L_1 \lambda_m; Z F_8 P_9 L F_{10} A_{11} P_{12} L F_{13} A_{14} F_{15} \Pi_{16} \Pi_{17} \Pi_{18} \Pi_{19} \Pi_{20} \\ L; Z \} Z R_{21} \{ F_{22} P_{23} L_4 \{ F_{24} \Pi_{25} F_{26} \Pi_{27} \} L; Z \} Z R_{28} L \\ 3 \ 2 \ 6 \ 3 \ 7 \ 2 \ 2 \ 3 \ 4 \ 8 \ 2 \ 5 \ 2 \ 6 \ 2 \ 7 \ 8 \ 5 \ 4 \ 7 \ 5 \ 2 \ 8 \ 6$$

где λ_m – левый знак перехода, указывающий на передачу управления в следующую часть программы.

Как показал анализ, операции упрощения, вызывая исправление ориентации основных линий знака, как следствие, ликвидируют определенные дефекты, например, размывы линий знака и определенные отклонения формы знака от стандартной.

Полученная упрощенная запись знака по направлениям сравнивается со стандартными видами для его определения. Каждому знаку одного смыслового символа и определенного стиля написания независимо от шрифта соответствует определенный стандартный вид. При сравнении записи знака по направлениям с любым стандартным видом подсчитывается возможное число несовпадений и по окончании сравнения со всеми стандартными видами по меньшему числу несовпадений определяется знак [3,4].

Количество несовпадений подсчитывается путем сложения оставшихся номеров направлений в стандартном виде и в записи знака по направлениям. Определение знака по наименьшему количеству несовпадений дает возможность правильно определять знак, несмотря на наличие какого-либо не совпавшего главного направления, не предусмотренного стандартным видом, например, при довольно резких изменениях формы знака и определенных дефектах.

Проведенные исследования дали возможность сделать следующие выводы.

Анализ контуров печатных знаков позволил выявить характерные признаки знаков – направления, выбрать минимально возможное количество определенных направлений (8 направлений) для распознавания независимо от масштаба печатные знаки разных шрифтов.

На основе изложенного выше анализа был разработан рациональный метод распознавания компьютером печатных знаков разных шрифтов и разработана программа для компьютера, реализующая этот метод.

Экспериментальная проверка распознаваемости компьютером наиболее характерных печатных букв и цифр разных шрифтов подтвердила положения разработанного авторами метода распознавания печатных знаков, изложенного выше.

Читающее устройство, реализованное на основе предложенного авторами метода распознавания печатных знаков, может быть использовано для обработки статистической информации, накапливающейся при строительстве дорог, промышленных и гражданских объектов, для распознавания образов, с помощью которых можно автоматизировать работу дорожных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пинт, Э. М. Оценка надежности распознавания компьютером печатных знаков [Текст] / Э. М. Пинт, А. В. Яшин, К. А. Еличев // MATERIALY V MIEDZYNARODOWEJ NAUKOWI KONFERENCJI "AKTUALNE PROBLEMY NOWOCZESNYCH NAUK - 2009". – Przemysl: Nauka i studia, - 2009, - с. 94.
2. Пугач, М. А. Алгоритм рационального метода распознавания компьютером печатных знаков разных шрифтов [Текст] / М. А. Пугач, А. А. Власов, Э. М. Пинт, В. С. Козицын // Сборник материалов Международной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам. Часть 2. – Йошкар-Ола: МарГТУ, - с.366
3. Пинт, Э. М. Оригинальный алгоритм распознавания компьютером кодовой записи направлений контура печатного знака [Текст] / Э. М. Пинт, А. В. Яшин, К. А. Еличев, В. С. Козицын // MATERIAŁY VI MIEDZYNARODOWEJ NAUKOWI – PRAKTYCZNEJ KONFERENCJI "NAUKOWA PRZESTRZEC – EUROPY - 2010". – Przemysl: Nauka i studia, - 2010, - с. 104.
4. Пинт, Э. М. Заключительный алгоритм рационального метода распознавания компьютером печатных знаков разных шрифтов [Текст] / Э. М. Пинт, И. Н. Петровнина, И. И. Романенко, К. А. Еличев // Материалы IV Международной научно-практической конференции "Перспективные направления развития автотранспортного комплекса." – Пенза: ПГУАС, - 2011, - с. 315.

Пинт Эдуард Михайлович

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Титова 28

Канд. техн. наук, профессор кафедры «МиАП» АДИ

Тел. +7(841)2495929, +7(841)2487476

Романенко Игорь Иванович

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Титова 28

Канд. техн. наук, доцент кафедры «МиАП» АДИ

Тел. +7(841)2495929, +7(841)2487476

E-mail: rom1959@yandex.ru

Петровнина Ирина Николаевна

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Титова 28

Канд. техн. наук, доцент кафедры «МиАП» АДИ

Тел. +7(841)2495929, +7(841)2487476

E-mail: petrovnina.irina@yandex.ru

Козицын Вячеслав Сергеевич

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Титова 28

Канд. техн. наук, доцент кафедры «МиАП» АДИ

Тел. +7(841)2495929, +7(841)2487476

Еличев Константин Александрович

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Титова 28

Канд. техн. наук, доцент кафедры «МиАП» АДИ

Тел. +7(841)2495929, +7(841)2487476

**E. M. PINT, I. I. ROMANENKO, I. N. PETROVNINA,
V. S. KOZITSYN, K. A. ELICHEV**

METHOD OF RECOGNITION OF PRINTED CHARACTERS AND SPREADING OF METHOD ON MANNES PRESSED FOR AUTOMATIC WORK OF WAY MACHINE

The rational method of recognition by the computer of printed characters of different fonts and, as consequence, the program for the computer, realizing this method is developed. Method to spread on mannes pressed for automatic work of way machine.

Keywords: the program, the operator, a matrix, a printed character.

BIBLIOGRAPHY

1. Pint, E. M. Otsenka nadezhnosti raspoznavaniya komp'yuterom pechatnykh znakov [Tekst] / E. M. Pint, A. V. YAshin, K. A. Elichev // MATERIALY V MIEDZYNARODOWEJ NAUKOWI KONFERENCJI "AKTUALNE PROBLEMY NOWOCZESNYCH NAUK - 2009". - Przemysl: Nauka i studia, - 2009, - c. 94.
2. Pugach, M. A. Algoritm ratsional'nogo metoda raspoznavaniya komp'yuterom pechatnykh znakov raznykh shriftov [Tekst] / M. A. Pugach, A. A. Vlasov, E. M. Pint, V. S. Kozitsyn // Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po estestvennonauchnym i tekhnicheskim distsiplinam. Chast' 2. - Yoshkar-Ola: MarGTU, - s.366
3. Pint, E. M. Original'nyy algoritm raspoznavaniya komp'yuterom kodovoy zapisi napravleniy kontura pechatnogo znaka [Tekst] / E. M. Pint, A. V. YAshin, K. A. Elichev, V. S. Kozitsyn // MATERIAŁY VI MIEDZYNARODOWEJ NAUKOWI - PRAKTYCZNEJ KONFERENCJI "NAUKOWA PRZESTRZEC - EUROPY - 2010". - Przemysl: Nauka i studia, - 2010, - c. 104.
4. Pint, E. M. Zaklyuchitel'nyy algoritm ratsional'nogo metoda raspoznavaniya komp'yuterom pechatnykh znakov raznykh shriftov [Tekst] / E. M. Pint, I. N. Petrovnina, I. I. Romanenko, K. A. Elichev // Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Perspektivnye napravleniya razvitiya avtotransportnogo kompleksa." - Penza: PGUAS, - 2011, - s. 315.

Pint Edyard Michaylovich

Penza State University of Architecture and Construction (PGUAS)

Candidate of sciences, professor of the department "Production Mechanization and automatization"

Address: 440046, Penza, 59, Mira St., ap. 54.

Tel. +7(841)2680952

Romanenko Igor Ivanovich

Penza State University of Architecture and Construction (PGUAS)

Candidate of sciences, associate professor of the department "Production Mechanization and automatization"

Address: 440011, Penza, 33, Karpinskaya St., ap. 51

Tel. +7(841)2495929, +7(841)2487476

E-mail: rom1959@yandex.ru.

Petrovnina Irina Nikolaevna

Penza State University of Architecture and Construction (PGUAS)

Candidate of sciences, associate professor of the department "Production Mechanization and automatization"

Address: 440064, Penza, 141, Ladogskaya St., ap. 52.

Tel. +7(841)2495929, +7(841)2487476

E-mail: petrovnina.irina@yandex.ru

Kozitsyn Vyacheslav Sergeevich

Penza State University of Architecture and Construction (PGUAS)

Candidate of sciences, associate professor of the department "Production Mechanization and automatization"

Address: 440066, Penza, 30, Pr. Stroiteley St., ap. 159.

Tel. +7(841)2495929, +7(841)2487476

E-mail: petrovnina.irina@yandex.ru

Elichev Konstantin Aleksandrovich

Penza State University of Architecture and Construction (PGUAS)

Candidate of sciences, associate professor of the department "Production Mechanization and automatization"

Address: 440066, Penza, 8, 5-y Vinogradniy Pr. St., ap. 8

Tel. +7(841)2495929, +7(841)2487476

E-mail: petrovnina.irina@yandex.ru

Адрес учредителя

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г.Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. +7(4862)420024
Факс +7(4862)416684
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
302006, г.Орел, ул. Московская, 77
Тел. +7(4862)734362, +7(4862)434890
www.gu-unpk.ru
E-mail: tvk5876@rambler.ru, srmostu@mail.ru

Технический редактор, корректор,
компьютерная верстка И. В. Акимочкина

Подписано в печать 15.02.2012
Формат 70x108 1/16.
Усл. печ. л. 8,1
Тираж 500 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе Госуниверситета-УНПК
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.