

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.	
Колчунов В.И. д-р техн. наук, проф.	
Попова Л.В. д-р экон. наук, проф.	
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф.	
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.	
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.	
Главный редактор серии:	
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф., заслуж. деятель науки Российской Федерации	
Заместители главного редактора:	
Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.	
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.	
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.	
Редколлегия:	
Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф.	
Вдовин С.И. д-р техн. наук, проф.	
Дмитриев А.М. д-р техн. наук, проф., член-кор. РАН	
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф.	
Зубарев Ю.М. д-р техн. наук, проф.	
Зубчанинов В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.	
Иванов Б.Р. д-р техн. наук, проф.	
Колесников К.С. д-р техн. наук, проф., академик РАН	
Корндорф С.Ф. д-р техн. наук, проф.	
Малинин В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.	
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф.	
Панин В.Е. д-р техн. наук, проф., академик. РАН	
Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф.	
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф.	
Ответственный за выпуск:	
Григорьева О.Ю.	
Адрес редколлегии серии:	
302020, г. Орел, Наугородское шоссе, 29 (4862) 43-48-90, 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03 www.ostu.ru E-mail: nmu@ostu.ru	
Зарег. в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации. Свидетельство: ПИ № 77-15469 от 20 мая 2003 года	
Подписной индекс 29504 по объединенному каталогу «Пресса России»	
© ОрелГТУ, 2009	

Содержание

Механика

<i>Желтков В.И., Волкова Я.Ю.</i> Влияние затяжки токарного резца на частоты свободных колебаний.....	3
<i>Наджафов М.А.</i> О флаттере конической оболочки.....	10

Физика

<i>Сычев С.Н., Пахолкин Е.В., Гаврилина В.А., Винокуров А.Ю.</i> Описание дисперсионных взаимодействий углеводородов и углеводородных радикалов в терминах электромагнитных взаимодействий.....	15
---	----

Моделирование технологических процессов

<i>Поландов Ю.Х., Барг М.А., Власенко С.А., Ершов М.Н.</i> Компьютерное моделирование процесса распространения пламени в газо-воздушной смеси в незамкнутом объёме с перегородкой.....	21
<i>Пилипенко О.В., Яковлев С.С.</i> Моделирование напряженно- деформированного состояния при ротационной вытяжке анизотропного материала.....	27
<i>Шкаберин В.А.</i> Формализация описания предметной области «обеспечение технологичности конструкций изделий в интегрированных САПР» на основе онтологического подхода.....	34

Машиностроительные технологии и оборудование

<i>Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорофеев О.В., Дорохов Д.О.</i> Создание градиентных структур на основе метода вальковой штамповки.....	42
<i>Корнеев Ю.С., Гордон В.А., Корнеева Е.Н., Кобцев Б.Г., Корнеева Т.Ю.</i> Анализ существующих конструкций пускозащитных устройств технологических машин.....	47
<i>Малинин В.Г., Мулюкин О.П., Мышечкин А.А., Борзенков М.И., Лаврус О.Е., Финоменов С.А.</i> Текущее состояние, перспективы развития и области применения пружинной и беспружинной пневмогидроарматуры в транспортной технике.....	55
<i>Болдырев А.И.</i> Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя при комбинированной обработке в электролите с наполнителем.....	63
<i>Киричек А.В., Мальцев А.Ю., Афонин А.Н.</i> Совершенствование технологии изготовления корпуса масляного фильтра моделированием ротационной вытяжки.....	67
<i>Катунин А.А.</i> Формирование шероховатости поверхности неполной сферы при обкатке беспараторным инструментом.....	70
<i>Гаврилин А.М., Сотников В.И., Тюхта А.В.</i> Методика расчета дольбяков для обработки отверстий с треугольным профилем шлицев.....	76
<i>Жуплов М.В., Правдин А.Л., Агарков А.А., Тарапанов А.С.</i> Проблемы определения допустимых погрешностей установки дисковой фрезы для обработки полузакрытых винтовых поверхностей на основе трехмерного отображения схемы профилирования.....	80
<i>Степанов Ю.С., Бурнашов М. А., Степанцев М.А.</i> Применение современного соплового инструмента и средств технического оснащения для гидроструйных технологий.....	86

Технологии легкой и пищевой промышленности

<i>Земляков Н.В.</i> Инновационная технология зерноподсушки.....	91
<i>Кваскова Т.В., Тарапанов А.А.</i> Воздухопроницаемость тканей пылезащитной одежды для машиностроительных производств.....	94

Приборостроение и системы управления

<i>Давыдова Н.В., Корндорф С.Ф.</i> Определение электрических параметров измерительной емкостной ячейки.....	98
<i>Подмастерьев К.В., Марков В.В.</i> Методика количественной оценки эффективности процессов и систем менеджмента качества.....	102

Испытания, контроль, диагностика, мониторинг

<i>Дунаев А.В., Рогаткин Д.А.</i> К вопросу о возможности использования методов неинвазивной спектроскопии для контроля эффективности низкоинтенсивной лазерной терапии.....	110
--	-----



Scientific journal
of Orel State Technical University
The journal is published since 1995
The journal is published 6 times a year
№ 3-275(561) 2009
May – June

IZVESTIA

OREL STATE TECHNICAL UNIVERSITY

Series «Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology»

The founder – The State Higher Education Professional Institution
Orel State Technical University

Editorial council:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president

Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president

Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Assistant Prof.

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Popova L.V. Doc. Sc. Ec., Prof.

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.,
honored worker of science of Russian
Federation

Editor-in-chief Assistants:

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech.,
Prof.

Editorial Committee

Babichev A.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Vdovin S.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Dmitriev A.M. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Corresponding Member of RAS

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.

Zubarev Y.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Subchaninov V.G. Doc. Sc. Ph.-Math, Prof.

Ivanov B.R. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kolesnikov K.S. Doc. Sc. Tech.,
Prof., Academician of RAS

Korndorf S.F. Doc. Sc. Tech., Prof.

Malinin V.G. Doc. Sc. Ph.-Math, Prof.

Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.

Panin V.E. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Academician of RAS

Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.

Smolenzev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition:

Grigorieva O.Yu.

Address

302020 Orel,
Naugorskoye Chaussee, 29
(4862) 43-48-90, 41-98-48, 55-55-24,
41-98-21

www.ostu.ru

E-mail: nmu@ostu.ru

Journal is registered in State
Committee of Russian Federation
on printing. The certificate of
registration ПИ № 77-15469
from 20.05.03

Index on the catalogue of the «**Pressa
Rossii**» 29504

© OSTU, 2009

Contents

Mechanics

- Zheltkov V. I., Volkova Y. Yu.* Influence of tightening of turning incisor on frequencies of the free vibrations..... 3
Najafov M.A. About flutter a conic environment..... 10

Physics

- Sychev S.N., Pakholkin E.V., Gavrilina V.A., Vinokurov A.Yu.* Description dispersion interactions hydrocarbons and hydrocarbon radicals in terms electromagnetic interactions.... 15

Modeling engineering processes

- Polandov U.H., Vlasenko S.A., Barg M.A., Ershov M.N.* Computer modeling of process of the flame distribution in the gaz-air mix in not closed volume with the partition..... 21
Pilipenko O.V., Yakovlev C.C. Simulation of the stress- strained state with the rotary drawing of the anisotropic material..... 27
Shkaberin V.A. Formalization of description of a subject domain «support of manufacturability of products in the integrated cad» on the basis of ontology..... 34

Machine-Building Technologies and Equipment

- Golenkov V.A., Radchenko S.J., Dorofeev O.V., Dorochov D.O.* Creation gradient structures on the base of method hardening rolls stamping..... 42
Korneyev Yu.S., Gordon V.A., Korneyeva E.N., Kobtsev B.G., Korneyeva T.Yu. Analysis of existing designs of starting-protective devices in manufacturing machinery..... 47
Malinin V.G., Mulyukin O.P., Myshechkin A.A., Borzyonkov M.I., Lavrus O.E., Finogenov S.A. Current state, development prospects and fields of application of spring – and springless pneumohydro - equipment in transport machinery..... 55
Boldyrev A. I. Technological quality fssurance of surface layer at combined treatment in electrolyte with filling..... 63
Kirichek A.V., Maltsev A.J., Afonin A.N. Perfection of manufacturing techniques cases of the oil filter modelling rotational extract..... 67
Katunin A.A. Formation of a roughness of a surface of incomplete sphere at cageless rolling.... 70
Gavrilin A.M., Sotnikow V.I., Tjuhta A.V. Design procedure of beaters for processing apertures with triangular structure of gear cutters..... 76
Chuplov M.V., Pravdin A. L., Agarkov A.A., Tarapanov A.S. Problems of definition of admissible errors of installation of the disk mill for processing half-closed screw surfaces on the basis of three-dimensional display of the scheme of profiling..... 80
Stepanov Yu. S., Burnashov M. A., Stepanishev M. A. Application of modern devices of the nozzle and means of the hardware for hydrojet technologies..... 86

Light and food industry technologies

- Zemlyakov N.V.* Innovative technology of drying of grain..... 91
Kvaskova T.V., Tarapanov A.A. Air permeability of the fabric of dustproof clothes for machine-building effecting..... 94

Instrument Engineering

- Davidova N.V., Korndorf S.F.* Determination of electric parameters of measuring capacity cell. 98
Podmasteryev K.V., Markov V.V. Methodic of quantitative appraisal of effecting the processes and system quality management..... 102

Tests, control, diagnostics, monitoring

- Dunaev A.V., Rogatkin D.A.* To question of possibility to use methods of non-invasive spectrophometry for controlling the effectiveness of the low level laser therapy..... 110

Journal is included into the list of the Higher Examination Board for publishing the results of theses for competition the academic degrees

УДК 621.9.048.6:621.941.1:519.95

В.И. ЖЕЛТКОВ, Я.Ю. ВОЛКОВА

ВЛИЯНИЕ ЗАТЯЖКИ ТОКАРНОГО РЕЗЦА НА ЧАСТОТЫ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

На основании анализа трехмерных динамических состояний токарного резца делается вывод о необходимости учета жесткости закрепления его в резцедержателе.

Ключевые слова: токарный резец, трехмерное динамическое состояние, жесткость крепления, частота свободных колебаний.

On the grounds of analysis of the three-dimensional dynamic conditions turning incisor about need of the account to acerbity of the fastening it in incisor holder.

Key words: lathe tool, three-dimensional dynamic state, setup stiffness, free frequency.

На стадии проектирования процесса точения технологически необходимы данные о собственных частотах державок резцов всех типоразмеров при разных вылетах. В производственных условиях вылет токарных резцов из резцедержателя варьируется в широких пределах и определяется из схем наладок для обработки деталей.

Следует отметить, что из конструктивных параметров на величину собственной частоты колебаний державок оказывают влияние не только размеры поперечного сечения и вылет резца, но и усилие затяжки установочных болтов, с помощью которых резец крепится в резцедержателе [1].

Естественно, для всех встречающихся на практике сочетаний размеров поперечного сечения державок резцов и их вылетов, невозможно создать банк собственных частот колебаний, применяя для их определения только экспериментальный метод, который отличается относительно высокой трудоемкостью и реализуется лишь при наличии средств виброметрии и специалистов, имеющих опыт работы на них.

Для решения поставленной задачи можно использовать один из двух путей: аналитический или численный. Каждый из этих путей обладает своими достоинствами и недостатками. Основным достоинством аналитического подхода является удобство использования. К недостаткам можно отнести:

1. отсутствие универсальности, т.е. каждый раз при смене факторов внешней конфигурации и формы конструкции и т.д. придется делать перерасчет;
2. при использовании аналитического метода приходится прибегать к идеализации свойств среды и схематизации геометрических форм конструкции, что понижает точность.

Однако этот подход позволил получить очень удобные расчетные формулы. Чтобы привести эти формулы в соответствие с реальными колебаниями резца воспользуемся анализом трехмерной модели, учитывающей демпфирующие свойства материала.

Применение трехмерной модели позволит учесть способы закрепления режущих пластинок, возможные демпфирующие прокладки между крепежными приспособлениями и инструментом, особенности закрепления с помощью винтов или подложенных металлических пластин.

Для обьема трехмерной (3D) модели более удобным будет применение численного подхода. Для него негативом является гораздо более трудоемкий (машинное время и аппаратные ресурсы) процесс расчета конструкции. Этот минус численного метода в наше время стремительного развития высоких технологий, перестает быть весомым, т.к. использование компьютерной техники позволяет производить операции с огромными массивами данных и с огромной скоростью. Численное моделирование сможет обеспечить необходимое количество

вычислений при минимуме затрат. Данные, полученные в результате серии вычислений, удобно будет интерпретировать, используя теорию планирования эксперимента.

Моделирование конструкции токарного проходного резца методом конечных элементов (МКЭ) [3] в пространственной динамической формулировке является наиболее подходящим для поставленной задачи.

Предположим, что резец закрепляется моментным ключом тремя болтами по верхней плоскости резца. При установке резца в его теле развивается напряженно-деформированное состояние (НДС), обусловленное взаимодействием установочных болтов, хвостовика и поверхности резцедержателя. Для упрощения расчетной схемы примем, что контролируемое усилие затяжки равномерно распределено по площадкам контакта установочных болтов. Величина нагрузки определяется через усилие затяжки, находимое через момент затяжки по нижеприведенной формуле [3]:

$$q_{зам} = \frac{2M_{зам}}{\pi l^2_k d \sin \alpha}, \quad (1)$$

где $M_{зам}$ – момент затяжки; α – угол подъема витка резьбы; d – средний диаметр витка; d_k – диаметр контактной площадки – конца болта.

Нижняя (опорная) плоскость хвостовика контактирует с деформируемым телом – резцедержателем. Крепление резцедержателя к суппорту будем считать жестким.

Примем, что резец и резцедержатель – линейно-упругие тела. Таким образом, для определения НДС резца после установки получаем трехмерную задачу линейной теории упругости.

В расчетах не будем учитывать режущую пластину как отдельный конструктивный элемент. Оценочные расчеты с отдельной пластиной и болтом и без них дают практически совпадающие результаты. Это связано с тем, что масса пластинки невелика по сравнению с массой резца, даже на малых вылетах, а ее жесткость близка к жесткости корпуса. Вследствие этого ее влияние на собственные частоты колебаний мало.

Далее определим параметры (геометрические и механические), которые, предположительно, оказывают ощутимое влияние на поведение модели. Перечислим их и определим допустимые диапазоны значений:

1. Модель закрепления определяется фактором x_1 . Он принимает значения 1 (с учетом усилия затяжки) и 0 (абсолютно жесткое закрепление).

2. Ширина B резца (фактор x_2). В соответствии с ГОСТ 9495-84 этот фактор является дискретным параметром. Для него были приданы два значения 20; 25 мм.

3. Высота H резца (фактор x_3). В соответствии с ГОСТ 9495-84 он является дискретным параметром. Для него были выбраны три значения 20; 25; 30 мм.

4. Величина вылета резца l из резцедержателя (фактор x_4). Для него принимались три значения 1Н; 2Н; 3Н.

На созданную геометрическую модель накладывалась сетка конечных элементов, причем в местах контакта поверхности резца с установочными болтами конечные элементы измельчались. Для нижней плоскости хвостовика резца и плоскости резцедержателя ставились условия *взаимного непроникания*.

Для каждого набора факторов была построена геометрическая модель. Угол при вершине резца принимался равным 120° . Наклоны передней и задней граней выбирались из ГОСТ 9495-84. Всего было построено 18 моделей.

Для каждой из них производился расчет первых десяти форм и частот свободных колебаний. Геометрическое моделирование и вычисления производились с помощью программного комплекса ANSYS 10.0. Сетка тетраэдрических конечных элементов с квадратичными функциями формы наносилась автоматически с ограничением на максимальный размер КЭ 5 мм. На площадках приложения усилия затяжки и в близлежащих областях сетка измельчалась с ограничением 1 мм. Условия непроникания реализовывались с помощью специализированных контактных конечных элементов. Общее количество узлов в конечноэлементной модели изменялось для конкретной геометрии; в среднем

использовалось 600...700 тыс. узлов; время расчета составляло от 30 до 70 мин. на процессоре Intel Solo T1350 (частота 1.86ГГц).

После проведения серии экспериментов мы получаем набор значений собственных частот колебаний резцов, соответствующие различным геометрическим и физическим факторам. Вычислялись первые десять мод и частот колебаний для двух условий закрепления: $x_1 = 0$ и $x_1 = 1$. Значения собственных частот приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения собственных частот резца в зависимости от условий закрепления

№	x_1	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	3125,0	6534,0	7412,0	7823,0	7972,0	10709,0	12868,0	15958,0	16767,0	22844,0
	1	4736,3	8393,8	10133,0	14156,0	18576,0	20368,0	23315,0	23809,0	25369,0	26872,0
2	0	1880,0	3193,0	6959,0	8702,0	9396,0	9533,0	12221,0	15107,0	17228,0	17521,0
	1	2687,9	4400,0	9409,7	13338,0	13765,0	13966,0	18499,0	19823,0	22276,0	22773,0
3	0	1097,9	1784,0	5249,5	6374,0	7045,2	9531,0	9612,2	12019,0	16959,0	17289,0
	1	1107,8	1812,4	5524,7	6393,5	8422,8	9633,1	13275,0	18219,0	20272,0	21165,0
4	0	5313,0	8050,9	11409,0	11512,0	12487,0	16300,0	18765,0	20180,0	26108,0	29269,0
	1	6672,5	9004,5	17798,0	18678,0	19472,0	22704,0	25052,0	26660,0	29926,0	31730,0
5	0	2968,7	3767,8	10522,0	11943,0	13071,0	17557,0	20444,0	21892,0	24791,0	28439,0
	1	3232,4	4025,0	11128,0	14158,0	15369,0	18214,0	24457,0	25352,0	29037,0	31364,0
6	0	1765,5	2090,7	7374,7	7961,0	8806,9	11203,0	12860,0	17220,0	20262,0	23476,0
	1	2287,0	2461,9	8392,9	11457,0	11949,0	12871,0	23585,0	21560,0	26692,0	27343,0
7	0	3997,0	6731,0	10307,0	10956,0	11153,0	13064,0	15456,0	17799,0	18588,0	25009,0
	1	4075,0	6913,0	12693,0	13695,0	15442,0	16873,0	21932,0	22088,0	24426,0	26451,0
8	0	2433,9	3704,6	8812,3	10033,0	11268,0	11487,0	13541,0	17389,0	18101,0	18345,0
	1	2844,9	4161,2	11002,0	14379,0	14806,0	18469,0	18794,0	21229,0	23292,0	25101,0
9	0	1452,7	2089,9	6739,1	8008,1	8323,1	11132,0	11357,0	13334,0	17954,0	18029,0
	1	1539,0	2181,0	7717,0	8368,0	11193,0	11445,0	19732,0	21560,0	23003,0	25244,0

Сравнение значений частот при разных условиях закрепления резца показывают, что использование простой модели жесткой заделки завышают собственные частоты, что может привести к неверным решениям при оценке качества процесса точения. Так, в эксперименте 1 первая собственная частота имеет значение 3125 с^{-1} при учете усилия затяжки и $4736,3 \text{ с}^{-1}$ при жесткой заделке, что составляет примерно 33%; другие отношения могут быть еще более значительными. Тогда при выборе безвибрационного режима точения с использованием модели жесткого закрепления практически неизбежна ошибка в выборе частоты вращения шпинделя.

Для практического применения полученных результатов построим регрессионную модель, которую достаточно просто применить в системе проектирования процесса токарной обработки. Воспользуемся методом наименьших квадратов (МНК) [2] как вычислительным приемом. Для определения значимости коэффициентов регрессионной модели использовался критерий Стьюдента. Результаты расчетов приведены в таблице 2. Критерии, позволяющие оценить адекватность модели, приведены в таблице 3.

С использованием уравнения регрессии

$$M\{y\} = \eta = a_0 + \sum_i a_i x_i + \sum_{ij} a_{ij} x_i x_j + \sum_i a_{ii} x_i^2 \quad (2)$$

были построены графики зависимости частот, полученных при 3D расчетах и по уравнению регрессии для каждой из геометрических моделей.

Таблица 2 – Матрица коэффициентов регрессии

№ коэфф	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄
1	1827,282	0	0	0	52,938	-4990,433	9,544	0,391	0,538	104,626	155,579	-15,996	0	-5,705	-1,418
2	3575,277	0	0	0	43,289	-4835,666	9,005	6,286	1,278	56,820	191,083	-16,691	0	-6,259	-5,250
3	12467,459	0	0	0	-6,459	-1250,433	15,986	-14,057	-0,673	163,973	105,838	-56,475	0	-9,791	8,497
4	12625,308	0	0	0	26,810	-10667,166	9,132	-14,929	-2,340	362,140	394,673	-79,216	0	-4,994	10,557
5	6930,346	0	0	0	249,382	-8161,466	14,529	-7,494	-1,610	115,213	566,839	-94,963	0	-8,248	2,133
6	1030,364	0	0	0	414,839	1717,833	30,714	-4,631	-1,098	-158,333	435,079	-114,536	0	-15,140	-0,738
7	4893,322	0	0	0	224,216	5000,333	19,740	2,685	-0,898	61,400	39,897	-10,488	0	-2,146	-5,969
8	8512,603	0	0	0	220,677	4198,333	22,771	-2,002	-1,091	-138,333	162,941	-1,070	0	-6,134	-1,530
9	2411,403	0	0	0	375,026	5996,333	40,077	-0,742	-0,291	-105,600	111,602	-26,301	0	-14,046	-2,896
10	10934,399	0	0	0	37,411	14112,666	33,763	5,401	1,077	-410,666	-231,822	40,677	0	-3,986	-6,705

Таблица 3 – Критерии оценки адекватности модели

№ п/п	Критерий Фишера, F	Коэффициент детерминированности, R ²
1	25,99	0,97
2	53,26	0,98
3	13,94	0,95
4	13,83	0,95
5	14,65	0,95
6	7,45	0,91
7	8,21	0,92
8	11,64	0,94
9	21,15	0,96
10	11,50	0,94

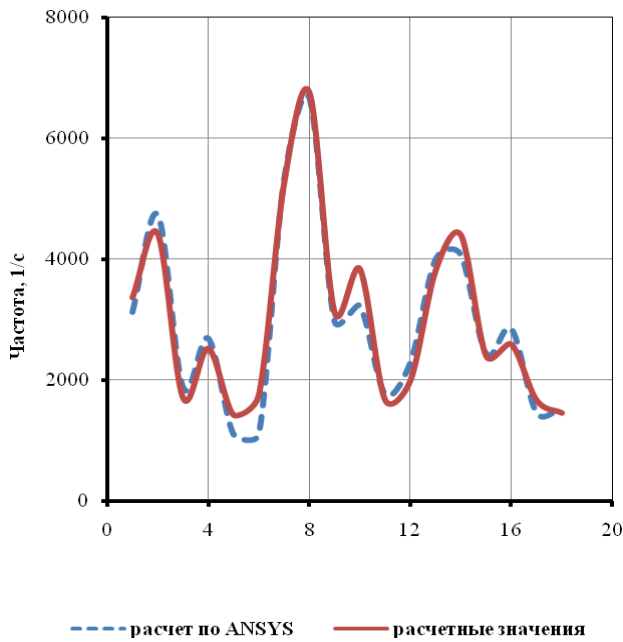


Рисунок 1 – Зависимость 1-й частоты свободных колебаний от условий численного эксперимента

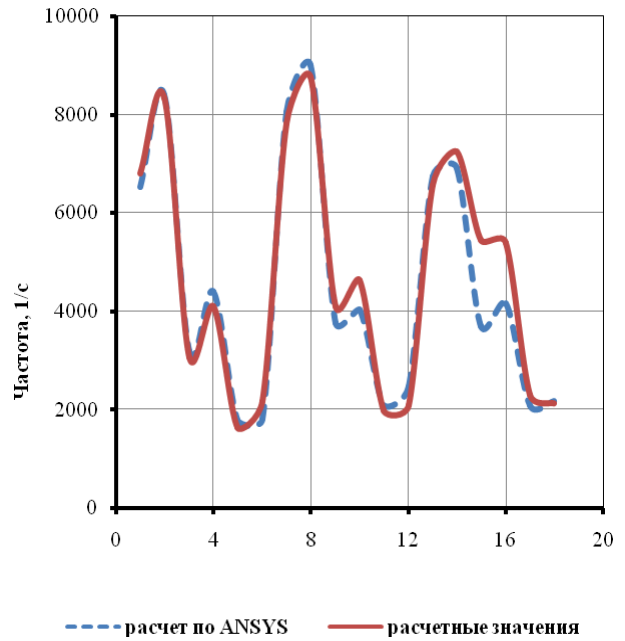


Рисунок 2 – Зависимость 2-й частоты свободных колебаний от условий численного эксперимента

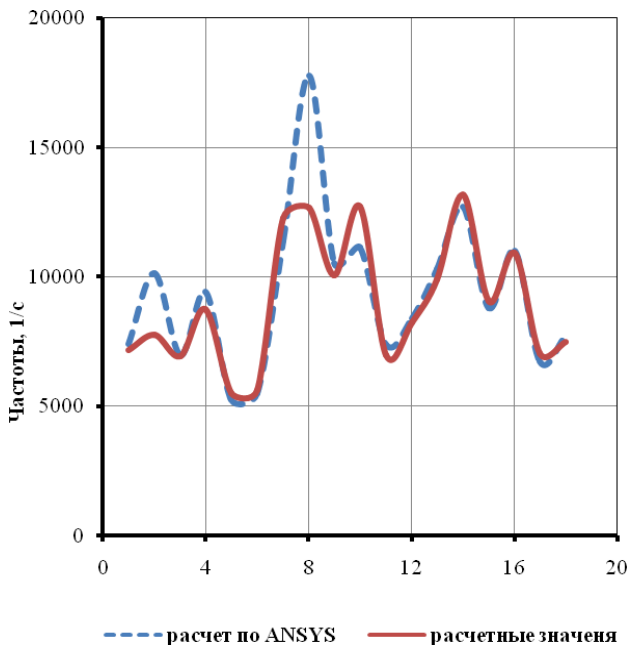


Рисунок 3 – Зависимость 3-й частоты свободных колебаний от условий численного эксперимента

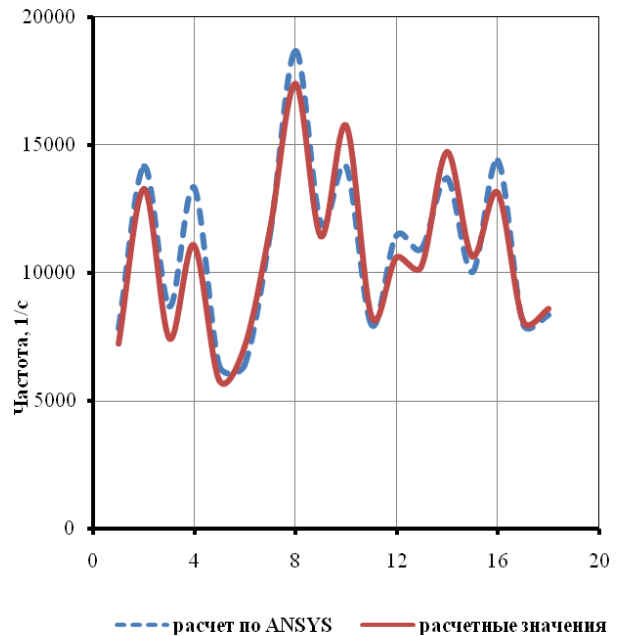


Рисунок 4 – Зависимость 4-й частоты свободных колебаний от условий численного эксперимента

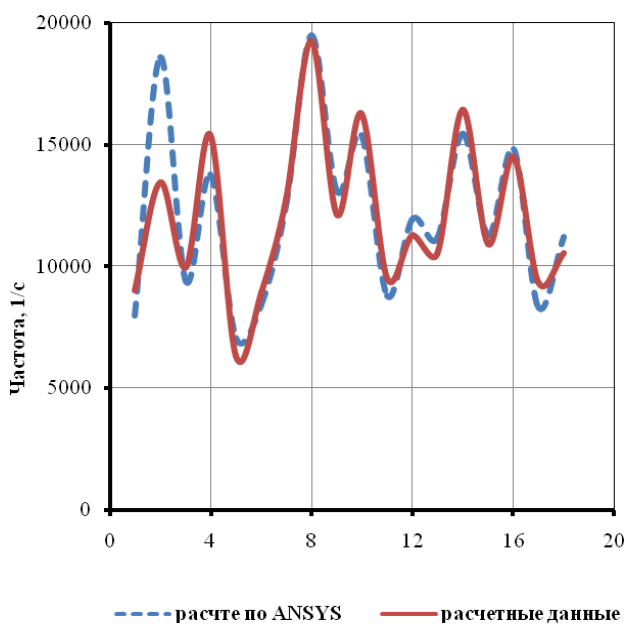


Рисунок 5 – Зависимость 5-й частоты свободных колебаний от условий численного эксперимента

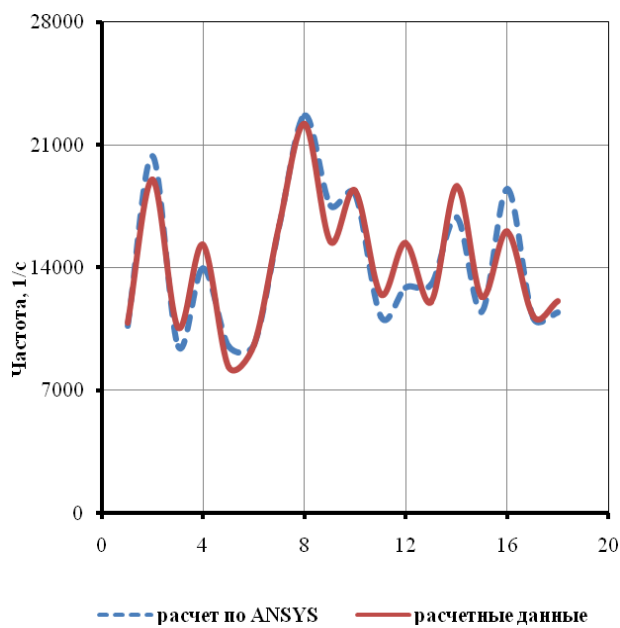


Рисунок 6 – Зависимость 6-й частоты свободных колебаний от условий численного эксперимента

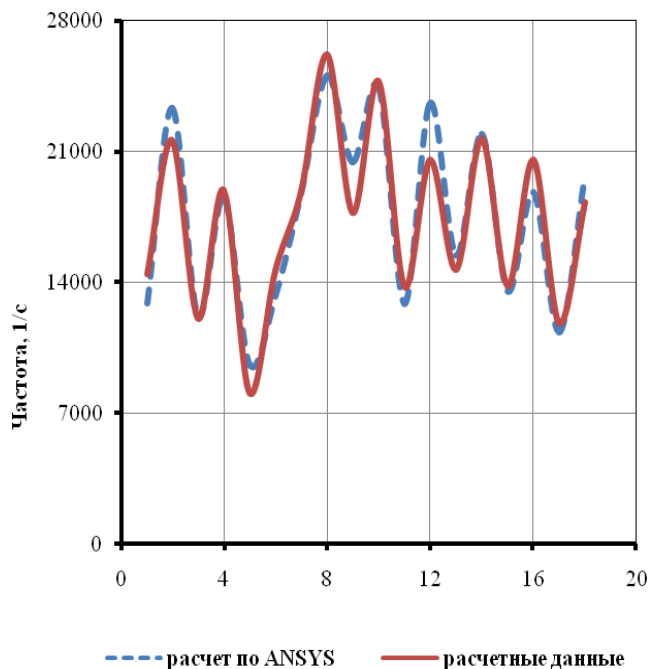


Рисунок 7 – Зависимость 7-й частоты свободных колебаний от условий численного эксперимента

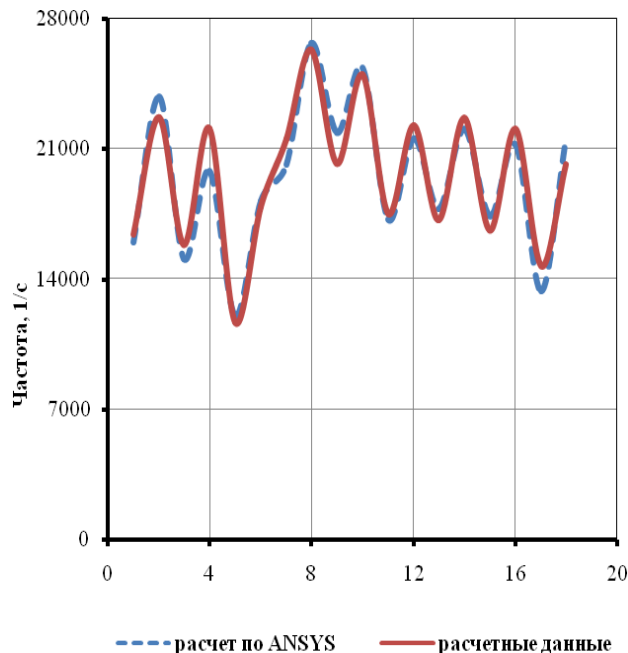


Рисунок 8 – Зависимость 8-й частоты свободных колебаний от условий численного эксперимента

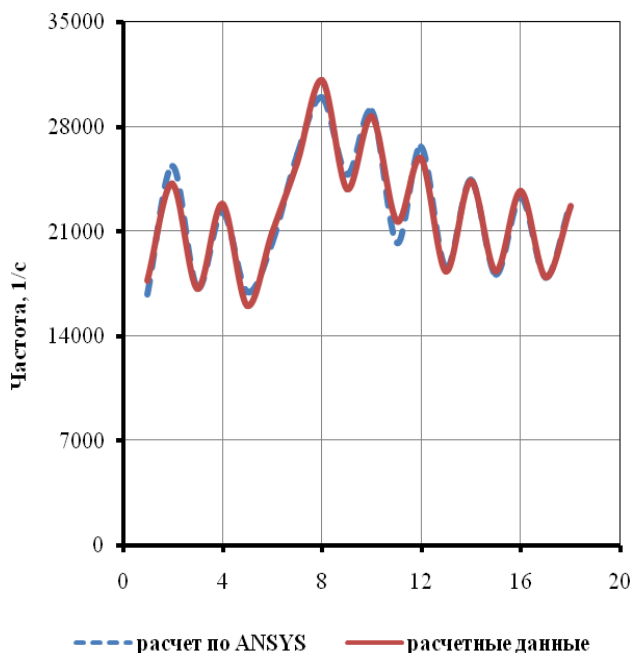


Рисунок 9 – Зависимость 9-й частоты свободных колебаний от условий численного эксперимента

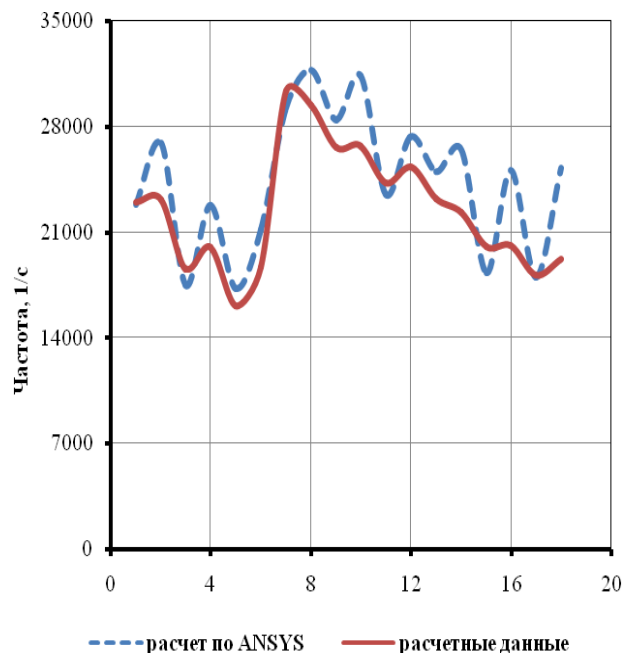


Рисунок 10 – Зависимость 10-й частоты свободных колебаний от условий численного эксперимента

Таким образом, предлагаемые аппроксимации удовлетворительно описывают зависимости частот свободных колебаний резцов от конструкторских параметров в исследованных диапазонах их изменения и могут быть использованы при проектировании технологического процесса точения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васин, С.А. Прогнозирование виброустойчивости процесса точения / С.А. Васин, Л.А. Васин. – Тула: ТулГУ, 2000. – 108с.
2. Линник, Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории наблюдений / Ю.В. Линник. – М.: Наука, 1962. – 534 с.
3. Решетов, Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов / Д.Н. Решетов -4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989.-496 с.

Желтков Владимир Иванович

Тульский государственный университет, г. Тула
 Доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Математическое моделирование»
 Г. Тула, проспект Ленина, 92
 Тел. 8-910-158-20-56
 E-mail: glob4361@mail.ru

Волкова Яна Юрьевна

Тульский государственный университет, г. Тула
 Аспирантка кафедры «Математическое моделирование»
 Г. Тула, проспект Ленина, 92
 Тел.(4872) 47-58-32
 E-mail: bingo.6@mail.ru

М.А. НАДЖАФОВ

О ФЛАТТЕРЕ КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Приводится новая постановка указанной в заголовке задачи, учитывающая реальную неравномерность параметров основного потока – давление, плотность, скорость – по длине оболочки. Основной новый результат – выражение для давления аэродинамического взаимодействия потока с колеблющейся оболочкой; оно содержит интегральное слагаемое, ядро которого зависит от частоты колебаний (собственное число). В результате математическая модель флаттера оболочки сводится к неклассической мало изученной задаче на собственные значения.

Ключевые слова: флаттер, аэроупругие колебания, устойчивые колебания, возмущение потока.

The new statement of the problem specified in heading considering real non-uniformity of parameters of the basic stream - pressure, density, speed - on length of an environment is resulted. The basic new result - expression for pressure of aerodynamic interaction of a stream with fluctuations an environment; it contains integrated composed, which kernel depends on frequency of fluctuations. As a result the mathematical model of flater environments is reduced to nonclassical a little to the investigated problem on own values.

Key words: flutter, aeroelastic fluctuations, steady fluctuations, fluctuations of a stream.

Задача о флаттере конической оболочки рассматривалась в работах [1 – 4], постановка задачи основывалась, как правило, на формуле поршневой теории для избыточного давления. Уточненной постановке задачи посвящена публикация [5]. Предлагаемая ниже математическая модель основана на следствиях линеаризованного уравнения для потенциала возмущенного потока; дело сведено к новой неклассической задаче на собственные значения для системы из двух интегродифференциальных уравнений.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. Представим себе коническую оболочку, которая в сферической системе координат r, θ, ψ_1 занимает часть $r_1 \leq r \leq r_2$ конической поверхности $\{0 \leq r < \infty, \theta = \alpha, 0 \leq \psi_1 \leq 2\pi\}$. Внутри конуса в положительном направлении оси r протекает газ; невозмущенное течение считаем радиальным стационарным, его параметры – скорость u_0 , плотность ρ_0 , давление p_0 , местная скорость звука a_0 – известные функции радиуса. Течение сверхзвуковое, принимается $M^2 = (u_0/a_0)^2 \gg 1$; при условии малой конусности $\alpha^2 \ll 1$ координату r можно отождествить с координатой x , отсчитываемой от вершины конуса вдоль потока. Оболочку считаем упругой, ее механические характеристики: E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, ρ – плотность, h – толщина, $D = Eh^3/(12(1-\nu^2))$ – цилиндрическая жесткость.

Колебания оболочки описываются уравнениями технической теории в смешанной форме (w, F – функции прогибов и усилий в срединной поверхности)

$$D\Delta^2 w - \frac{1}{x \operatorname{tg} \alpha} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - L(w, F) = p - \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (1.1)$$

$$\Delta^2 F + \frac{Eh}{x \operatorname{tg} \alpha} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{1}{2} L(w, w) = 0 \quad (1.2)$$

Оператор $L(u, v)$ имеет вид:

$$L(u, v) = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \left(\frac{1}{x^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \psi^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \left(\frac{1}{x^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \psi^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial u}{\partial x} \right) -$$

$$- 2 \left(\frac{1}{x} \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial \psi} - \frac{1}{x^2} \frac{\partial v}{\partial \psi} \right) \left(\frac{1}{x} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial \psi} - \frac{1}{x^2} \frac{\partial u}{\partial \psi} \right)$$

Обозначено $\psi = \psi_1 \sin \alpha$, Δ — оператор Лапласа.

Решение нелинейной системы, как принято в задачах панельного флаттера, представляется суммой основного и возмущенного состояний: $w = w_0 + w_1$, $F = F_0 + F_1$. После подстановки в (1.1), (1.2) и линеаризации по малым возмущениям получим две системы уравнений – квазистатическую и колебаний. Решение первой из них обусловлено давлением p_0 и считается известным, поэтому ее не выписываем. В уравнениях системы колебаний введем безразмерную координату $x/\ell = x_1/\ell + y_1/\ell \equiv x_0 + y$, $0 \leq y \leq 1$, $\ell = x_2 - x_1$, и безразмерные функции $W_i = w_i/\ell$, $\Phi_0 = F_0/(Eh^2\ell)$, $\Phi_1 = F_1/(Eh^2\ell)$, после чего она примет вид:

$$\frac{Dh}{\ell^4} \Delta^2 W - \frac{Eh}{\ell^2(x_0 + y)tg\alpha} \frac{\partial^2 \Phi_1}{\partial y^2} - \frac{Eh^3}{\ell^3} L(W_1, \Phi_0) = \Delta p_1 - \rho h^2 \frac{\partial W_1}{\partial t^2} \quad (1.3)$$

$$\Delta^2 \Phi_1 + \frac{1}{(x_0 + y)tg\alpha} \frac{\partial^2 W_1}{\partial y^2} = 0 \quad (1.4)$$

здесь Δp_1 – давление аэродинамического взаимодействия колеблющейся оболочки с потоком (избыточное давление).

Система (1.3), (1.4) должна быть дополнена граничными условиями

$$y = 0, L_1(W_1) = 0, M_1(\Phi_1) = 0; y = 1, L_2(W_1) = 0, M_2(\Phi_1) = 0 \quad (1.5)$$

здесь L_1, L_2, M_1, M_2 – известные в теории оболочек дифференциальные операторы. Для завершения постановки задачи необходимо определить избыточное давление Δp_1 .

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ Δp_1 . Возмущенное течение в оболочке с хорошим приближением

можно считать потенциальным; обозначим вектор скорости \bar{u} , потенциал возмущений φ_1 , тогда получим

$$\bar{u} = \left\{ u_0 + \frac{\partial \varphi_1}{\partial r}; \frac{\partial \varphi_1}{r \partial \theta}; \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \varphi_1}{\partial \psi_1} \right\} \quad (2.1)$$

Возмущение местной скорости звука находится из интеграла Коши – Лагранжа

$$a' = -\frac{\gamma - 1}{2a_0} \left(u_0 \frac{\partial \varphi_1}{\partial r} + \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} \right) \quad (2.2)$$

здесь γ – показатель политропы газа.

Потенциал удовлетворяет нелинейному уравнению

$$a^2 \bar{\Delta} \cdot \bar{u} = \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2} + 2\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} [(\bar{u} \cdot \bar{\Delta}) \bar{u}] \quad (2.3)$$

здесь $a = a_0 + a'$. Введем безразмерную переменную $r' = r/\ell$, $\ell = r_2 - r_1$, оставив за ней прежнее обозначение, и положим $\varphi_1 = \varphi \exp(i\omega t) \cos n\psi_1$. Подставим (2.1), (2.2) в (2.3) и линеаризуем по малым возмущениям, получим в результате

$$\left(M^2 - 1 \right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r'^2} + \left[2M \frac{\ell \omega}{a_0} + 2 \frac{M^2}{a_0} \frac{\partial u_0}{\partial r} \left(\frac{\gamma - 1}{2} M + \frac{1}{M} \right) - \frac{2}{r} \right] \frac{\partial \varphi}{r} +$$

$$+ \left[\frac{\ell^2 \omega^2}{a_0^2} + (\gamma - 1) \frac{M^2}{a_0^2} \frac{\ell \omega}{a_0} \frac{\partial u_0}{\partial r} + \frac{n^2}{r^2 \sin^2 \theta} \right] \varphi - \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \varphi}{r \partial \theta} \right) = 0 \quad (2.4)$$

Положим $W_1 = W(r) \exp(\omega t) \cos n\psi_1$; граничные условия для φ тогда примут вид

$$\frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \Big|_{\theta=\alpha} = h u_0 \left(\frac{\partial W}{\partial r} + \frac{\ell \omega}{u_0} W - \frac{1}{r} W \right) \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \Big|_{\theta=0} = 0 \quad (2.6)$$

Приняв $\Delta p_1 = \Delta q \exp(\omega t) \cos n\psi_1$, получим для Δq

$$\Delta q = -\frac{\rho_0 u_0}{\ell} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\omega \ell}{u_0} \varphi \right)_{\theta=\alpha} \quad (2.7)$$

Построим приближенное решение уравнения (2.4), основанное на условии малой конусности $\alpha^2 \ll 1$. В пределах оболочки безразмерная переменная r меняется мало ($r \gg 1$), поэтому можно ввести новую переменную $\zeta = r \sin \theta \cong r \theta$, так что $d\zeta = r d\theta$. С учетом условий $M^2 \gg 1$, $2/r \ll 1$ из (2.4) получим

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \zeta^2} + \frac{1}{\zeta} \frac{\partial \varphi}{\partial \zeta} - \frac{n^2}{\zeta^2} \varphi - M^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} - A(r) \frac{\partial \varphi}{\partial r} - B(r) = 0 \quad (2.8)$$

здесь введены обозначения

$$A(r) = 2M \frac{\ell \omega}{a_0} + 2 \frac{M^2}{a_0} \left(\frac{\gamma-1}{2} M + \frac{1}{M} \right) \frac{\partial u_0}{\partial r} \quad (2.9)$$

$$B(r) = \frac{\ell^2 \omega^2}{a_0^2} + (\gamma-1) \frac{M^2 \ell \omega}{a_0} \frac{\partial u_0}{\partial r} \quad (2.10)$$

граничные условия (2.5), (2.6) преобразуются

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=\zeta_0} = h u_0 \left(\frac{\partial W}{\partial r} + \frac{\ell \omega}{u_0} W \right), \quad \zeta_0 = r \sin \alpha \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=0} = 0 \quad (2.12)$$

Вместо (2.7) получим

$$\Delta q = -\frac{\rho_0 u_0}{\ell} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\omega \ell}{u_0} \varphi \right)_{\zeta=\zeta_0} \quad (2.13)$$

Введем новую переменную z , отсчитываемую от левого торца оболочки; в области $z < 0$ поток не возмущен, поэтому там $\varphi = 0$, $u = \partial \varphi / \partial z = 0$. При условии малой конусности функции M, A, B можно приближенно считать «почти постоянными» параметрами и применить к (2.8) преобразование Лапласа по z ; получим в результате (s — параметр преобразования)

$$\frac{\partial^2 \varphi^*}{\partial \zeta^2} + \frac{1}{\zeta} \frac{\partial \varphi^*}{\partial \zeta} - \left(\beta^2 + \frac{n^2}{\zeta^2} \right) \varphi^* = 0, \quad \beta^2 = M^2 s^2 + A s + B \quad (2.14)$$

Из (2.11), (2.12) следует

$$\frac{\partial \varphi^*}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=\zeta_0} = h u_0 \left(s + \frac{\ell \omega}{u_0} \right) W^*; \quad \frac{\partial \varphi^*}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=0} = 0 \quad (2.15)$$

Решение уравнения (2.14) при условиях (2.15) записывается через модифицированную функцию Бесселя

$$\varphi^* = h u_0 \left(s + \frac{\ell \omega}{u_0} \right) \frac{I_n(\beta \zeta)}{\beta I'_n(\beta \zeta_0)} W^*$$

Избыточное давление определится из (2.13)

$$\Delta q^* = -\frac{\rho_0 u_0^2 h}{\ell} \left(s + \frac{\ell \omega}{u_0} \right)^2 \frac{I_n(\beta \zeta_0)}{\beta I_n'(\beta \zeta_0)} W^* \quad (2.16)$$

штрих обозначает производную по аргументу.

Обратное преобразование находится на основании оценок и асимптотического разложения [6]

$$\frac{I_n(\beta \zeta_0)}{I_n'(\beta \zeta_0)} \approx 1 + \frac{1}{2\beta \zeta_0}$$

Из (2.16) получим

$$\Delta q^* = -\frac{\rho_0 u_0^2 h}{M \ell} \frac{(\Omega + s)^2 W^*(s)}{(s + s_1)^{1/2} (s + s_2)^{1/2}} - \frac{\rho_0 u_0^2 h}{2\zeta_0 M^2 \ell} \frac{(\Omega + s)^2 W^*(s)}{(s + s_1)(s + s_2)} \quad (2.17)$$

$$s_{1,2} = \frac{1}{2M^2} \left(A \pm [A^2 - 4M^2 B]^{1/2} \right); \quad \Omega = \ell \omega / u_0$$

На основании неравенства

$$\frac{s_2 - s_1}{s_2 + s_1} = \frac{(A^2 - 4M^2 B)^{1/2}}{A} = \frac{\Omega}{(\gamma - 1)M^2} \left(\frac{\partial u_0 / \partial r}{2\omega_0 a_0} \right)^{1/2} \ll 1$$

из (2.17) будем иметь главную часть выражения для избыточного давления Δq :

$$\Delta q(z) \cong -\frac{\gamma \rho_0 h}{\ell} \left[\Omega_0 W + M \frac{\partial W}{\partial z} + \frac{W}{2\zeta_0(z)} - \frac{M}{a_0} \frac{\partial u_0}{\partial z} \left(\frac{\gamma - 1}{2} M + \frac{1}{M} \right) W - \right. \\ \left. - \frac{1}{a_0 \zeta_0(z)} \frac{\partial u_0}{\partial z} \left(\frac{\gamma - 1}{2} M + \frac{1}{M} \right) \int_0^z e^{-\Omega_*(z-\tau)} W(\tau) d\tau \right] \quad (2.18)$$

здесь $\Omega_* = \ell \omega / (a_0(z)M)$; при записи интегрального слагаемого принято $(s_1 + s_2)/2 = A(z)/M^2 \cong \Omega_* = \Omega_0/M$

При малой конусности координата z может быть заменена на x и справедливы формулы

$$a_0 = \frac{\sqrt{\gamma + 1} a_{кр}}{(z + (\gamma - 1)M^2)^{1/2}} \cong a_{кр} / f_1(M) = a_{кр} / f(x) \quad u_0 = a_0 M \quad (2.19)$$

здесь $a_{кр}$ – скорость звука в критическом сечении. При больших сверхзвуковых скоростях, когда $(\gamma - 1)M^2 \gg 2$, $a_0 \cong a_{кр} [(\gamma + 1)/(\gamma - 1)]^{1/2} / M$, поэтому $u_0 \cong [(\gamma + 1)/(\gamma - 1)]^{1/2} a_{кр}$. Следовательно, приближенно можно принять $\Omega_* = \Omega_0 / M \cong [(\gamma - 1)/(\gamma + 1)]^{1/2} \omega_0 \cong \delta \omega_0$, $\omega_0 = \ell \omega / a_{кр}$; этим приближением можно воспользоваться при записи интеграла в (2.18).

3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФЛАТТЕРА. Подставим Δq из (2.18), с учетом последних замечаний, в (1.3), предварительно приняв $W_1 = W \exp(\omega t) \cos n\Phi_1$, $\Phi_1 = \Phi \exp(\omega t) \cos n\psi_1$ получим в результате

$$\Delta^2 W - B_0 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - B_0 \frac{h}{\ell} L(W, \Phi_0) = -B_0 \frac{a_{кр}^2}{c_0^2} \omega_0^2 - \\ - \frac{\gamma P_0 B_0 \ell}{E h} \left[\omega_0 f(x) W + M \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{W}{2\zeta_0(x)} - \frac{M}{a_0} \frac{\partial u_0}{\partial x} \left(\frac{\gamma - 1}{2} M + \frac{1}{M} \right) W - \right.$$

$$-\frac{1}{a_0 \zeta_0(x)} \frac{\partial u_0}{\partial x} \left(\frac{\gamma-1}{2} M + \frac{1}{M} \right) \int_0^x e^{-\delta \omega_0(x-\tau)} W(\tau) d\tau \quad (2.19)$$

здесь $B_0 = 12(1-\nu^2)\ell^2/h^2$.

Уравнение (1.4) остается без изменений (следует опустить индекс «1»). Система (1.4), (2.19) вместе с граничными условиями (1.5) составляет новую задачу на собственные значения ω_0 . Как задача аэроупругих колебаний она ставится так: определить значения параметров, которые обеспечивали бы устойчивые колебания оболочки, т.е. условие $\text{Re } \omega_0 < 0$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новичков, Ю.Н. Флаттер пластин и оболочек. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Новичков. М., 1978. с. 67-122. (Итоги науки и техники /ВИНИТИ; т.11).
2. Ильюшин, А.А. Новая постановка задачи о флаттере пологой оболочки / А.А. Ильюшин, И.А. Кийко. ПММ, 1994, Т. 58, вып. 3. С. 167-171.
3. Александров, В.М. Динамика конической оболочки при внутреннем сверхзвуковом потоке газа / В.М. Александров, С.А. Гришин. Прикл. математика и механика, 1994. т. 58. № 4. С. 123-132.
4. Диткин, В.В. Численное исследование флаттера конической оболочки / В.В. Диткин, Б.А. Орлов, Г.И. Пшеничнов. Изв. РАН. МТТ. 1993. № 1. С. 185-189.
5. Кийко, И.А. Постановка задачи об аэроупругих колебаниях конической оболочки малого раствора, внутри которой со сверхзвуковой скоростью протекает газ / И.А. Кийко. Вестн. МГУ. Сер. 1, математика, механика. 2004. № 3. С. 58-61.
6. Алгазин, С.Д. Флаттер пластин и оболочек / С.Д. Алгазин, И.А. Кийко. М. Наука. 2006. 247 с.

Наджафов Максуд Агакулу

Азербайджанский государственный педагогический университет, г. Азербайджан
Декан математического факультета, кандидат физико-математических наук, доцент
Г. Баку, ул. М. Гади 51, кв.70
E-mail: lv_goryachev@mail.ru

УДК 53.082.72/.78

С.Н. СЫЧЕВ, Е.В. ПАХОЛКИН, В.А. ГАВРИЛИНА, А.Ю. ВИНОКУРОВ

ОПИСАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ И УГЛЕВОДОРОДНЫХ РАДИКАЛОВ В ТЕРМИНАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ¹

На основе представлений о молекулярных флуктуирующих электромагнитных полях алифатических углеводородов и алифатических радикалов рассматриваются методы выделения факторов, ответственных за дисперсионные взаимодействия. Показано, что использование представлений о флуктуирующих дипольных моментах молекул, формирующих наиболее вероятные конфигурации молекулярных электромагнитных полей, является весьма плодотворным для выделения дисперсионной компоненты из экспериментальных данных при рассмотрении межмолекулярных взаимодействий неполярных молекул или неполярных фрагментов молекул. Экспериментальным методом, позволяющим всесторонне исследовать способность молекул к дисперсионным взаимодействиям, может стать метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), базирующийся на использовании межмолекулярных взаимодействий на границе раздела фаз «жидкость – твердое тело».

Ключевые слова: дисперсионные взаимодействия, межмолекулярные взаимодействия, молекулярные электромагнитные поля.

On the basis of representations about molecular fluctuating electromagnetic fields aliphatic hydrocarbons and aliphatic radicals methods of allocation of the factors responsible for dispersive interactions are considered. It is shown that use of representations about fluctuating dipole moments of the molecules forming the most probable configurations of molecular electromagnetic fields, is rather fruitful for allocation dispersive components from experimental data by consideration of intermolecular interactions of non-polar molecules or non-polar fragments of molecules. Method high performance liquid chromatography (HPLC) which is based on use of intermolecular interactions on border of section of phases «a liquid – a firm body» can become the experimental method allowing comprehensively to investigate ability of molecules to dispersive interaction.

Key words: dispersion interactions, intermolecular interactions, molecular electromagnetic fields.

ВВЕДЕНИЕ

С точки зрения электромагнитной теории, межмолекулярные взаимодействия реализуются за счет постоянных, индуцированных и мгновенных (флуктуирующих) дипольных моментов молекул. Указанные дипольные моменты резко отличаются по времени жизни и отвечают за ориентационные (диполь–дипольные), индукционные и дисперсионные взаимодействия соответственно [1]. Считается, что каждый из указанных эффектов имеет строгое квантово-механическое определение, но если ориентационный и индукционный эффекты можно понять также на основе представлений электростатики, то дисперсионное взаимодействие объяснимо только на основе квантовой механики. Грубое модельное представление о дисперсионном взаимодействии между двумя атомами благородного при криогенной температуре газа можно составить, рассматривая протоны ядра атома и движущиеся вокруг ядра электроны как положительный и отрицательный полюсы вращающихся вокруг центра атома мгновенных электрических диполей. Поскольку направление этих диполей меняется с частотой 10¹⁵ циклов в секунду, в среднем по времени его дипольный момент равен нулю. Однако при встрече двух атомов их мгновенные дипольные моменты ориентируются друг относительно друга, и их направления изменяются "в такт". Эта корреляция между направлениями мгновенных дипольных моментов атомов (или обладающих электронами ионов) уменьшает потенциальную энергию системы на

¹ Работа выполняется в рамках проекта 2075 аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)»

величину, называемую энергией дисперсионного взаимодействия (или величиной эффекта Лондона). В предложенной работе предпринята попытка обобщения предпринятых нами ранее усилий по выделению из экспериментальных данных характеристик дисперсионных взаимодействий и интерпретации результатов в рамках понятий флуктуирующих электромагнитных полей молекул алифатических соединений или алифатических радикалов при значительно более высоких, чем криогенные, температурах.

АБСОЛЮТНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЭНТРОПИИ И МЕЖФАЗНЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ НАТЯЖЕНИЯ

Удобной моделью для интерпретации дисперсионных взаимодействий является процесс удерживания неполярных молекул углеводородов на неполярном адсорбенте в обращенно-фазовом варианте высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ ВЭЖХ) на алкил-привитых сорбентах [2] или газовая хроматография углеводородов на графитированной саже [3].

Потенциал взаимодействия молекулы углеводорода с одним атомом неполярного адсорбента приближенно можно выразить, например, потенциалом Бэкинхэма [4]:

$$\varphi = -C \cdot r^{-6} + B' \cdot \exp(-r/\rho), \quad (1)$$

где r – расстояние между центрами взаимодействующих частиц;

C – константа дисперсионного притяжения;

B' и ρ – константы отталкивания.

По формуле Кирквуда константа дисперсионного взаимодействия C в потенциале Бэкинхэма, отвечающая за притяжение, равна:

$$C = -6\pi c \cdot (\alpha_1 \cdot \alpha_2) / (\alpha_1/l_1 + \alpha_2/l_2), \quad (2)$$

где m – масса электрона;

c – скорость света;

α_1 и α_2 – поляризуемости взаимодействующих частиц;

l_1 и l_2 – диамагнитные восприимчивости взаимодействующих частиц.

Поляризуемостью называется способность электрических зарядов в молекуле к смещению под действием электромагнитного поля. Магнитная восприимчивость (для воды и углеводородов - диамагнитная восприимчивость) связана с существованием электрических токов, замыкающихся в пределах каждого атома молекулы - так называемых молекулярных токов. При отсутствии внешних полей молекулярные токи ориентированы хаотично [4]. Существование молекулярных токов связано с существованием векторного потенциала при "перетекании" электрона из одной области вероятности в другую внутри молекулы. Важным для нас является то, что причиной дисперсионных взаимодействий является существование флуктуирующих молекулярных токов, ориентированных хаотично при отсутствии внешнего электрического поля или отсутствия у молекулы постоянного дипольного момента. Флуктуирующие молекулярные токи генерируют флуктуирующие электромагнитные поля, за счет которых молекулы углеводородов взаимодействуют с поверхностью обращенно-фазового адсорбента (длина углеводородного покрытия: – 16 – 18 атомов углерода) или поверхностью графитированной сажи. Чем больше атомов содержит молекула углеводорода, тем большим числом флуктуирующих электромагнитных полей может быть реализовано электромагнитное поле молекулы. Чем большим числом электромагнитных флуктуирующих полей могут быть реализованы электромагнитные поля молекул, тем больше вероятность существования электромагнитных полей, приводящих к притяжению этих молекул к поверхности обращенно-фазового адсорбента. Перейдя к вероятностным характеристикам электромагнитных флуктуирующих полей, мы приходим к выводу, что мерой количества флуктуирующих полей в молекуле может служить значение абсолютной энтропии S^0 углеводорода. Таким образом, по крайней мере для гомологов (включая изомеры) углеводородов должна наблюдаться корреляция между величинами $\lg(V'_R)$ (V'_R – приведенный удерживаемый объем углеводорода в ОФ ВЭЖХ) и S^0 углеводородов. Такая

корреляция и наблюдается, как показано на рисунке 1, причем абсолютные энтропии S^0 для двух углеводородов были рассчитаны по методу Бенсона [5, 6] с учетом вклада инкрементов и симметрии молекул. Современные работы по описанию зависимости величин $\lg(V'_R)$ углеводородов от количества и вида атомов углерода в ОФ ВЭЖХ, попытки ввести инкременты молекул для предсказания удерживания адсорбатов по аддитивным схемам являются повторением различных методов расчета абсолютных энтропий [5, 6]. Однако, если для углеводородов такие способы описания удерживания еще подходят (коэффициенты корреляции $R_{xy} = 0,980 - 0,985$), то для более сложных соединений коэффициенты корреляций падают до $0,93 - 0,94$ и менее. Этот эффект связан с тем, что энтропия сложных молекул включает не только флуктуирующие электромагнитные поля (как в случае с углеводородами), но и другие факторы, обусловленные анизотропией молекул. Выделение таких факторов продемонстрированы авторами в работах [7, 8] и обсуждены ниже.

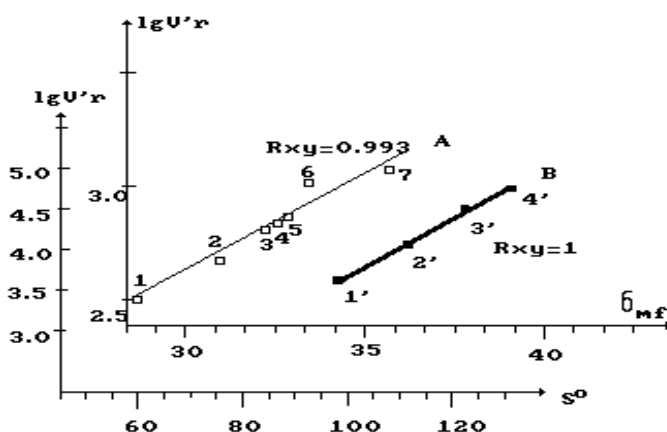


Рисунок 1 – Зависимость величин $\lg V'_R$: А) от абсолютной энтропии S^0 ,
 В) от величины межфазного равновесия "вода-углеводород".

Колонка 80x2 заполнена Сепароном С18

1 – бензол, 2 – толуол, 3 – о-ксилол, 4 – м-ксилол,

5 – этилбензол, 6 – кумол, 7 – н-бутилбензол, $R_{xy} = 0,990$,

1' – бензол, 2' – толуол, 3' – о-ксилол, 4' – этилбензол, $R_{xy} = 1$

В обращенно-фазовом варианте ВЭЖХ основным уравнением, описывающим зависимость удерживания от условий эксперимента и строения молекул, является уравнение Хорвата [9]. Однако, по причине сложности этого уравнения, значительно чаще пользуются уравнением [10]:

$$\text{Lg}(K) = a - m \cdot C, \quad (3)$$

где K – фактор емкости адсорбата;

a – логарифм фактора емкости, экстраполированного к нулевому содержанию органического модификатора в подвижной фазе;

C – концентрация модификатора в элюенте;

m – коэффициент.

Величина коэффициента a линейно связана с гидрофобностью анализируемого соединения. Общую тенденцию, описываемую уравнением (3), можно выразить следующим правилом: чем более гидрофобна молекула в ряду родственных соединений, тем больше ее удерживание. Понятие гидрофобности может быть интерпретировано как мера несовпадения электромагнитного поля воды и флуктуирующего поля углеводорода. Действительно, молекулы воды имеют постоянный дипольный момент и способны вступать в водородные связи. Указанные свойства воды превращают ее в сильно структурированную жидкость и значительно уменьшают количество вариантов (абсолютная энтропия S^0 молекулы) и значение флуктуирующих электромагнитных полей воды, работающих на притяжение углеводородов или углеводородных хвостов (объяснение известного правила: подобное

растворяется в подобном). При таком допущении гидрофобность вещества может быть экспериментально охарактеризована величиной межфазного поверхностного натяжения «вода-сорбат» [11]. При прочих равных условиях, удерживание вещества должно быть тем больше, чем больше его гидрофобность. В этом случае для гомологов (в том числе изомеров) углеводородов должна наблюдаться корреляция величин a из уравнения (3) и σ_{mf} . Это и наблюдается, причем коэффициент корреляции между величинами a из уравнения (3) и σ_{mf} по четырем точкам равен 1 (рисунок 1 и таблица 1) [2].

Таблица 1 – Корреляция величин a из уравнения (3) алкилбензолов с величинами σ_{mf} .
Уравнение корреляции $\lg(V'_R) = 0,0897 \cdot \sigma_{mf} - 0,451; R_{xy} = 1$

Соединение	V'_R (мкл)	a (экспериментальное значение)	a (рассчитанное значение)	Σ_{mf} (дин/см ²)
Бензол	398	2,60	2,61	34,1
Толуол	562	2,75	2,75	35,7
о-Ксилол	805	2,91	2,88	37,2
Этилбензол	946	2,98	2,99	38,4

*Примечание. Величины a для зависимости, представленной на рисунке 1, А), взяты из работы [10].

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ФАКТОРА ДИСПЕРСИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ИЗ ТЕМПЕРАТУР ПЛАВЛЕНИЯ ЗАМЕЩЕННЫХ АЛИФАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Экспериментальными данными, заведомо содержащими факторы, описывающими влияние заместителей на дисперсионные взаимодействия, являются температуры плавления замещенных алифатических соединений типа $n-R - X$, где R – углеводородный радикал, X – заместитель (таблица 2). Выделение дисперсионных факторов из температур плавления возможно методом главных компонент [8].

Метод главных компонент является разновидностью мультикорреляционного анализа. При использовании метода главных компонент мы предполагаем, что несколько измеряемых переменных сильно коррелируют друг с другом. Это означает, что либо они взаимно определяют друг друга, либо связь между ними обуславливается третьей величиной, которую непосредственно измерить нельзя. Модель главных компонент связана с последним предположением [12].

Экспериментальные данные в виде таблицы «признак – свойство» обрабатываются с помощью метода главных компонент, результатом обработки являются линейно-независимые факторы, которые описывают исходную матрицу в виде:

$$A(ij) = [F_1(i) \cdot V_1(j) + F_2(i) \cdot V_2(j) + \dots] \cdot Si + Hi \quad (4)$$

где $V_1(j)$ и $V_2(j)$ – коэффициенты линейной модели;
 $F_1(i), F_2(i)$ – линейно-независимые факторы (параметры);
 Si – стандартное отклонение по строкам;
 Hi – среднее значение по строкам матрицы A ;
 $A(ij)$ – элемент исходной матрицы A .

Основная идея использования метода главных компонент в физической и физической органической химии заключается в получении набора линейно-независимых факторов, описывающих влияние заместителей на рассматриваемое свойство. Получение таких факторов, их интерпретация в терминах межмолекулярных взаимодействий и использование для дальнейших расчетов составляет область использования метода главных компонент анализа в указанных областях.

Располагая экспериментальные данные в виде таблицы «признак-свойство», где «признак» - вид углеводородного радикала, «свойство» - вид заместителя, получаем

исходную матрицу температур плавления для исследования влияния заместителей на температуры плавления методом главных компонент (таблица 2).

Таблица 2 – Матрица A_1 для исследования влияния заместителей на температуры плавления замещенных алифатических соединений (в Кельвинах)

	CH ₃ -	C ₂ H ₅ -	C ₃ H ₇ -	C ₄ H ₉ -	C ₅ H ₁₁ -
Cl-	176	134	150	150	174
H-	90,4	101	85,9	138	143,3
NH ₂ -	179	192	190	222,5	218
COOH-	289,6	252,3	269,9	238,5	272,5
OH-	175,5	158,5	146	183	194

В результате анализа матрицы температур плавления также были получены два фактора, описывающие исходную матрицу на 99,7 %; причем первый фактор дал вклад 95,2 %, а второй, соответственно, 4,5 %. Значения факторов и их нагрузок (собственных векторов) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения факторов и их нагрузок (собственных векторов) из температур плавления замещенных алифатических соединений (факторы – F_1 и F_2 , векторы – V_1 и V_2)

	F_1	F_2		V_1	V_2
Cl-	0,471	-0,285	CH ₃ -	-0,437	-0,648
H-	1,212	-0,721	C ₂ H ₅ -	-0,456	0,121
NH ₂ -	-0,384	0,64	C ₃ H ₇ -	-0,453	-0,221
COOH-	-1,461	-1,297	C ₄ H ₉ -	-0,433	0,718
OH-	0,162	1,511	C ₅ H ₁₁ -	-0,546	0,038

Фактор F_1 , полученный из матрицы A_1 отвечает за влияние степени ассоциации исследуемых соединений на температуры плавления. При корреляции фактора F_2 с 6-ю константами Гаммета-Тафта [9] (σ^* , $-0,1\delta$, σ^o_R , σ^o_M , σ^o_P , σ^o_I) оказалось, что наибольший коэффициент корреляции, равный 0,981 установлен для корреляции F_2 и σ^o_R – константы. Важно отметить, что векторы V_2 фактора F_2 (влияние алкильных радикалов) изменяются скачкообразно, резко меняя значение в зависимости от **четности (нечетности)** количества атомов углерода в цепи. Этот факт хорошо отражен в скачкообразном изменении нагрузок V_2 на второй фактор (таблица 3) и вкладов второго фактора $F_2 \cdot V_2$ в температуру плавления (таблица 4).

Таблица 4 – Вклад второго фактора в температуры плавления замещенных алканов $F_2 \cdot V_2$

	CH ₃ -	C ₂ H ₅ -	C ₃ H ₇ -	C ₄ H ₉ -	C ₅ H ₁₁ -
Cl-	0,185	-0,034	0,063	-0,204	-0,01
H-	0,467	-0,087	0,159	-0,518	-0,027
NH ₂ -	-0,415	0,077	-0,141	0,46	0,024
COOH-	0,841	-0,157	0,287	-0,931	-0,049
OH-	-0,979	0,183	-0,334	1,085	0,057

Данное хорошо известное явление (зависимость температур плавления от четности – нечетности углеродных атомов алкильных радикалов) указывает на большую роль дифракционно-интерференционных эффектов электрона-волны при генерации флуктуирующих электромагнитных полей алкильного радикала.

Необходимо отметить, что резонансные константы, предназначенные для описания внутримолекулярных электронных эффектов ароматических соединений, получены из данных по межмолекулярным взаимодействиям алифатических соединений. В органической химии такой эффект получил название «гиперконъюгации» или «сверхсопряжения». Однако, представленные факты свидетельствуют о том, что резонансные константы Гаммета-Тафта являются универсальными межмолекулярными константами и определяются наиболее вероятной в данных условиях формой электромагнитных полей взаимодействующих молекул, осуществляющих дисперсионные взаимодействия.

Фактор F_2 , хорошо коррелирующий (коэффициент корреляции 0,98) с константой σ^o_R был также получен авторами и в условиях жестких полярных диполь-полевых взаимодействий из хроматографических данных по удерживанию замещенных бензойных кислот на адсорбционно-модифицированном силикагеле. Как и следовало ожидать, вклад

дисперсионных взаимодействий в параметры удерживания полярных молекул на полярном сорбенте невелик и составляет величину не более 1 % [7].

ВЫВОДЫ

Использование представлений о флуктуирующих дипольных моментах молекул, формирующих наиболее вероятные конфигурации молекулярных электромагнитных полей, является весьма плодотворным для выделения дисперсионной компоненты из экспериментальных данных при рассмотрении межмолекулярных взаимодействий неполярных молекул или неполярных фрагментов молекул.

Экспериментальным методом, позволяющим всесторонне исследовать способность молекул к дисперсионным взаимодействиям, может стать метод ВЭЖХ, базирующийся как раз на использовании межмолекулярных взаимодействий на границе раздела фаз «жидкость – твердое тело».

Понятие о флуктуирующих молекулярных полях позволяет, наконец, интерпретировать правило «подобное растворяется в подобном» на уровне механизмов растворения или н-растворения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела / Г.И. Епифанов. – М.: Высшая школа, 1977. – 288 с.
2. Сычев, С.Н. Методы совершенствования хроматографических систем и механизмы удерживания в ВЭЖХ / С.Н. Сычев. – Орел: ОрелГТУ, 2000. – 212 с.
3. Киселев, А.В. Молекулярные основы адсорбционной хроматографии / А.В. Киселев, Д.П. Пошкус, Я.И. Яшин. – М.: Химия, 1986. – 269 с.
4. Ландау, Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматгиз, 1959. – 502 с.
5. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. – Л.: Химия, 1982. – 592 с.
6. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – М.: Физматгиз, 1963. – 708 с.
7. Сычев, С.Н. Применение метода главных компонент в жидкостной хроматографии замещенных бензойных кислот / С.Н. Сычев, С.П. Ерилов, Ю.С. Никитин // Ж. физ. химии, 1983. – Т.59. – № 2. – С. 346-350.
8. Сычев, С.Н. Выявление характера межмолекулярных взаимодействий однозамещенных алифатических соединений методом главных компонент / С.Н. Сычев, К.С. Сычев, С.Н. Ланин // Вестник МГУ, 2000, Сер.2, Химия, Т.41, № 1. – С. 28 – 31.
9. Horvath, Cs. Liquid chromatography of ionogenic substances with nonpolar stationary phases / Cs. Horvath, W. Melander, J. Molnar // Anal. Chem., 1977. – V. 49. – № 1. – P. 17 – 28.
10. Шатц, В.Д. Высокоэффективная жидкостная хроматография / В.Д. Шатц, О.В. Сахартова. – Рига: Зинатне, 1988. – 388 с.
11. Коренман, Я.И. Экстракция фенолов / Я.И. Коренман. – Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1974 – 30 с.
12. Иберла, К. Факторный анализ / К. Иберла. – М.: Статистика, 1980. – 398 с.

Сычев Сергей Николаевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Химия»,
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29,
Тел. (4862) 419892

Пахолкин Евгений Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры "Приборостроение, метрология и сертификация",
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29,
Тел. (4862) 419876,
E-mail: Eugene_P@bk.ru

Гаврилина Вера Александровна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Химия»,
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29,
Тел. (4862) 419892

Винокуров Андрей Юрьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Химия»,
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29,
Тел. (4862) 419892

УДК 001.891.573

Ю.Х. ПОЛАНДОВ, М.А. БАРГ, С.А. ВЛАСЕНКО, М.Н. ЕРШОВ

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ГАЗО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В НЕЗАМКНУТОМ ОБЪЁМЕ С ПЕРЕГОРОДКОЙ

Показано, что наличие поперечной перегородки с отверстиями в незамкнутом объёме цилиндрической формы, в котором находится газо-воздушная смесь, приводит к ускорению распространения фронта пламени, что приводит к повышению давления взрыва. Компьютерное моделирование проводилось на базе отечественного численного метода решения системы дифференциальных уравнений, называемого методом крупных частиц. Сравнение результатов вычислительных и физических экспериментов показало высокую степень адекватности модели. Исследования проведены при поддержке и финансировании работы Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ).

Ключевые слова: давление взрыва, газ, компьютерное моделирование.

It is shown that in not closed cylindrical volume with a gaz-air mix presence of a cross-section partition with apertures leads to acceleration of distribution of a flame and to increase of pressure of explosion. Computer modelling was spent with the help numerical method named a method of large particles. Comparison of results of computing and physical experiments has shown high degree of adequacy of model. Researches are spent with support and work financing by the Russian fund of basic researches.

Key words: explosion pressure, gas, computer modeling.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

О влиянии границ потока на скорость распространения пламени в газо-воздушной смеси известно. Авторами также был подтвержден этот факт тем, что было показано, как в цилиндрическом объёме $d = 200$ мм и $l = 1700$ мм скорость распространения пламени увеличивается до 10 м/с, хотя нормальная скорость горения составляет около 40 см/с. Понятно, что движение фронта пламени обуславливается в основном тремя факторами: собственно горением, расширением нагретых продуктов сгорания и движением газов к сбросному отверстию. В этих условиях местное сужение потока должно привести к струйному варианту его движения в части объёма и, следовательно, к ускорению распространения пламени. Такова основная гипотеза. Исследование этого вопроса позволит авторам приблизиться к решению более общей задачи моделирования взрывов газо-воздушных смесей в незамкнутых объёмах произвольной геометрии. В свою очередь, решение общей задачи позволит, в частности, производить анализ конструкций топок, работающих на газе, на взрывобезопасность еще на стадии проектирования [1].

Теоретические аспекты решения задачи предусматривают моделирование динамики двух разделённых газовых сред, взаимодействующих во фронте горения. В модели учитывается влияние ограждения объёма, имеющего отверстие для сброса газов из объёма. Задача решается в трёхмерной постановке.

Авторами принимаются следующие допущения, касающиеся моделируемых сред:

- 1) исходная смесь газ-воздух является однородной;
- 2) различие термодинамических свойств исходной смеси и продуктов сгорания является незначительным;
- 3) реакция горения протекает на границе не сгоревшей смеси и продуктов сгорания – во фронте горения.

С учетом указанных допущений задача сведена к моделированию динамики среды с единственными свойствами на основе одного из существующих методов решения многомерных нестационарных задач механики сплошных сред. Выбор конкретного метода ограничен

произвольностью геометрии расчетной области, а так же возможностью наличия особенностей в моделируемых течениях.

В связи с этим, авторами работы качестве базового метода был выбран метод крупных частиц [2], [3]. Метод крупных частиц позволяет по единому алгоритму исследовать сложные задачи обтекания тел различной формы в широком диапазоне изменения начальных условий при наличии различных особенностей течений. Метод относится к группе методов «частиц в ячейках», но также использует механизмы, свойственные эйлеровым методам. Основная идея метода крупных частиц состоит в расщеплении исходной системы уравнений по физическим процессам, что позволяет модифицировать метод для учета дополнительных процессов.

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

2.1 Введение дополнительного параметра

Система уравнений, описывающих фундаментальные законы механики в дифференциальной форме применительно к газовой среде, и её решение методом крупных частиц известны [2, 3], что уже использовалось авторами, например в работах [1, 4]. Там же предложена модификация метода для решения задач распространения пламени в газообразных средах [1].

Так, введен дополнительный параметр состояния ячейки расчетной сетки – массовая доля продуктов сгорания f . В соответствии с методом крупных частиц моделируемое пространство разбивается на совокупность ячеек. Долю продуктов сгорания f для каждой ячейки можно выразить следующим отношением

$$f = \frac{m_B}{m},$$

где m – общая масса смеси в ячейке, кг;
 m_B – масса продуктов сгорания в ячейке, кг.

При этом расчетные ячейки можно разделить на три группы:

1. ячейки с исходной смесью, для которых выполняется условие $f < \varepsilon$, где ε – параметр точности расчетов;
2. «сгоревшие» ячейки – $f > 1 - \varepsilon$;
3. «горящие» ячейки.

Полное описание модели и используемых разностных схем представлено в [4].

2.2 Первый шаг процесса моделирования горения

Моделирование процесса горения производится в три шага. На первом шаге рассматривается горение газа в ячейках. Для всех «горящих» ячеек определяется доля газа Δf , сгоревшего за время Δt , и рассчитывается выделение энергии ΔE :

$$\begin{aligned}\Delta m_B &= m k_B, \\ \Delta f &= \frac{\Delta m_B}{m} = k_B, \\ f_n &= f + \Delta f, \\ \Delta E &= \Delta m_B H, \\ E_n &= E + \frac{\Delta E}{m} = E + k_B H,\end{aligned}$$

где k_B – коэффициент скорости горения смеси,

E – удельная полная энергия смеси в ячейке, Дж/кг,

ΔE – абсолютное выделение энергии, Дж,

H – теплотворная способность смеси, Дж/кг,

f_i и E_i – доля продуктов сгорания и полная удельная энергия после этапа «горения» соответственно.

Коэффициент скорости горения смеси k_B предлагается определять для каждой ячейки на каждом шаге согласно следующему выражению:

$$k_B = \frac{\Delta t}{\Delta l} U_B,$$

где Δl – характерный линейный размер ячейки сетки, м,

U_B – нормальная скорость распространения пламени в неподвижной смеси, м/с.

Для пространственных ячеек регулярной сетки характерным линейным размером является длина ребра куба ($\Delta l = \Delta x = \Delta y = \Delta z$). Существует несколько подходов к определению значения U_B как функции параметров смеси. В настоящей работе авторами принимается степенная зависимость нормальной скорости горения от относительного изменения температуры смеси [1]:

$$U_B = U_{BHV} \left(\frac{T}{T_{HV}} \right)^\beta,$$

где U_{BHV} – нормальная скорость распространения пламени в неподвижной смеси при нормальных условиях, м/с,

T и T_{HV} – текущая температура смеси и температура смеси при нормальных условиях, соответственно, К,

β – показатель степенной зависимости.

Текущая температура смеси может быть определена из уравнения состояния идеального газа:

$$T = \frac{P\mu}{\rho R},$$

где μ – молярная масса смеси, кг/моль,

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(К·моль).

2.3 Второй и третий шаги процесса моделирования горения

Второй шаг моделирования заключается в распространении горения на соседние ячейки. Первый и второй шаги предполагают неподвижность среды, что характерно для эйлерова этапа вычислительного цикла метода крупных частиц [1].

Третий шаг заключается в учете переноса массы сгоревшего газа через границы ячеек (заключительный этап метода крупных частиц). Перенос моделируется аналогично переносу остальных параметров (U , E). Однако в виду специфического характера параметра f применение тех же выражений для определений переносимых значений является неадекватным. В связи с этим, авторами предлагаются специальные формулы расчета переносимых значений f , основанные на его физической интерпретации.

Общие формулы переноса для параметра f :

$$f_{i+\frac{1}{2},j,k} = \begin{cases} 1, & (f_{i,j,k} > 1-\varepsilon) \vee (f_{i+1,j,k} > 1-\varepsilon); \\ 0, & (f_{i,j,k} < \varepsilon) \vee (f_{i+1,j,k} < \varepsilon); \\ \frac{f_{i,j,k} + f_{i+1,j,k}}{2}. \end{cases} \quad (1)$$

Использование формулы (1) для определения переносимых значений параметра f обеспечивает адекватность применения общей формулы переноса для данного параметра.

Выражение (1) позволяет также определить условия распространения горения на соседние ячейки (второй шаг моделирования горения). Условие «воспламенения» «негоревшей» ячейки (i, j, k) от ячейки ($i+1, j, k$) записывается в виде (2):

$$f_{i+\frac{1}{2},j,k} > \varepsilon. \quad (2)$$

3 ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ

С целью оценки адекватности разработанной модели, была проведена серия натурных экспериментов, результаты которых сравнивались с результатами численного моделирования.

Физические эксперименты проводились на модели однопроходной цилиндрической топки (длина рабочей полости – 1500 мм, диаметр – 200 мм, объем – $4,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$) с тремя расположенными вдоль главной оси фланцами для моделирования различных положений взрывного клапана (рисунок 1). Установка заполнялась бутан-пропан-воздушной смесью, близкой к стехиометрической. Смесью воспламенялась при помощи искрового устройства зажигания. Во время протекания взрыва регистрировались показания двух преобразователей давления, расположенных рядом с передним и задним концами установки. Эксперименты проводились как в замкнутом объеме, так и при наличии взрывных клапанов с различным диаметром проходного отверстия и различным их расположении.

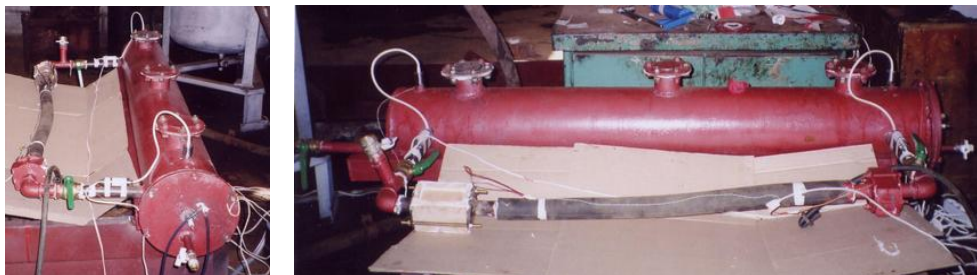
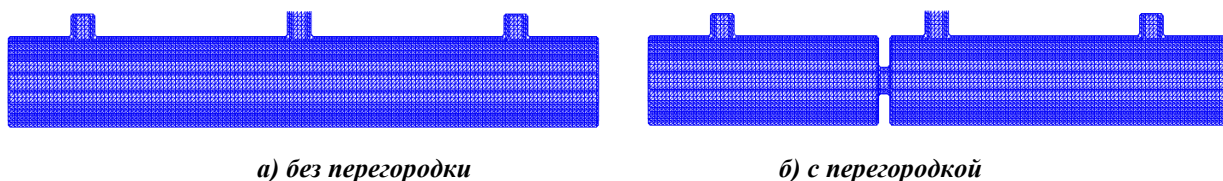


Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной установки

Вычислительные эксперименты производились с использованием программного комплекса «Вулкан-М». Расчетная сетка состояла из кубических ячеек с длиной ребра 0,01 м. Размер сетки – $22 \times 27 \times 152$ ячеек, из них в расчетах участвует 45504. Величина шага по времени – $5 \cdot 10^{-7}$ с. Границы установки моделировались фиктивными ячейками с условиями «непротекания». Так же на границах учитывался конвективный теплообмен между газовой смесью и корпусом установки. Взрывной клапан моделировался совокупностью фиктивных ячеек, состояние которых интерполировалось на основе параметров окружающей среды.

Расчетная область модели представлена на рисунке 2.



а) без перегородки

б) с перегородкой

Рисунок 2 – Расчетная область

Взрывы проводились при разных расположениях взрывного клапана на поверхности установки и его диаметрах 20, 40 и 70 мм (рисунок 3).



а) первый фланец, диаметр 70 мм



б) средний фланец, диаметр 40 мм

Рисунок 3 – Взрывы на экспериментальной установке

На рисунке 4 представлены результаты сравнения физического и численного экспериментов при различных диаметрах клапана, установленного на среднем фланце.

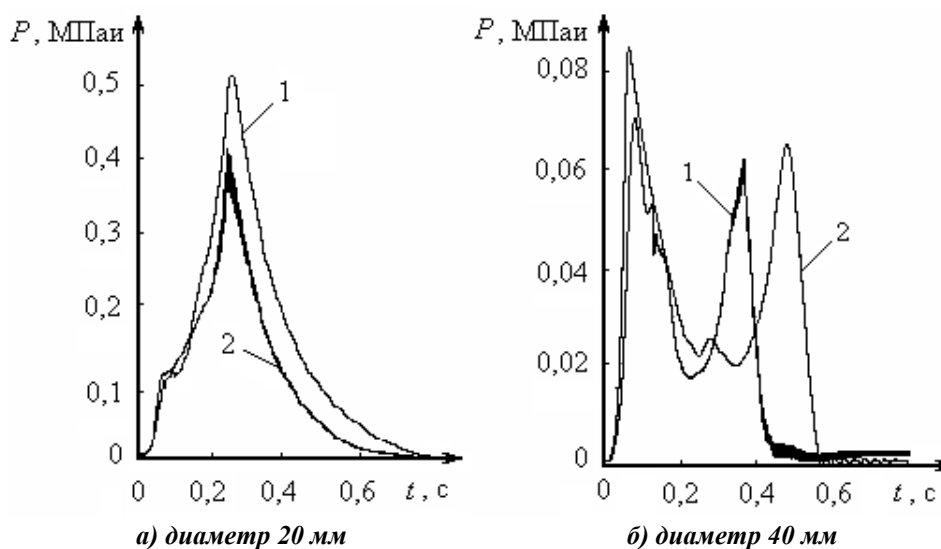


Рисунок 4 – Динамика давления в установке
1 – физический эксперимент, 2 – численный эксперимент

Ряд второстепенных эффектов, обнаруженных при проведении физических экспериментов был так же получен в численных экспериментах, что говорит о высокой информативности разработанной модели и ее применимости как для решения прикладных задач, так и исследований фундаментального характера.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕГОРОДКИ НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ

Широкий практический интерес представляет исследование влияния конструктивных особенностей топки, оказывающих турбулизирующее действие, на процесс горения.

Авторами исследовалось влияние перегородки, расположенной на расстоянии 600 мм от переднего торца установки, с отверстиями различных диаметров на максимальное давление взрыва.

Расчет производился для отверстий площадью 4, 16, 24, 32, 54, 76, 112 и 148 см² при открытом клапане диаметром 70мм на среднем фланце. Расчетная область модели представлена на рисунке 2 б. Визуализация процесса горения показана на рисунке 5.

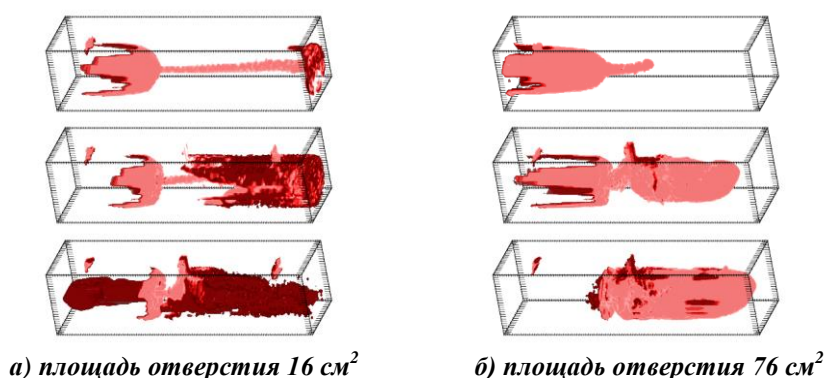


Рисунок 5 – Визуализация процесса горения

Представленное на рисунке 6 сравнение результатов физического и численного экспериментов, проведенных при наличии клапана диаметром 70 мм, расположенного на среднем фланце и перегородки с диаметром отверстия 70 мм, установленной на расстоянии 600 мм от переднего торца, также показало высокую степень адекватности модели.

В результате расчетов была построена зависимость максимального давления в топке от площади отверстия (рисунок 7).

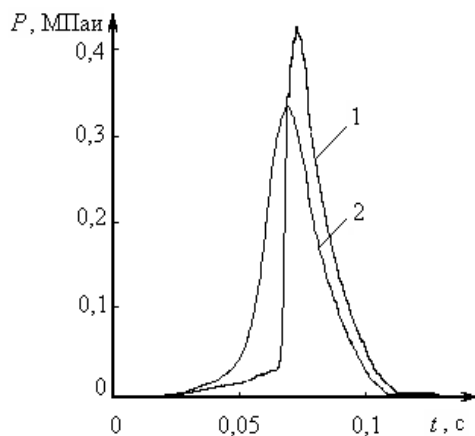


Рисунок 6 – Динамика давления в установке
1 – физический эксперимент, 2 – численный

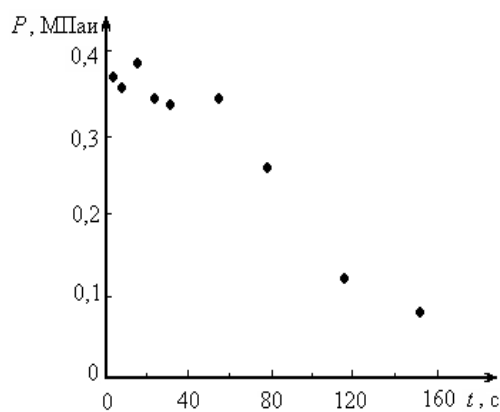


Рисунок 7 – Зависимость максимального давления в объёме от площади отверстия перегородки

Исследования показали, что ускоряют процесс распространения пламени не только стенки незамкнутого объема, но и наличие в нем перегородок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поландов, Ю.Х. Моделирование процесса горения газовой смеси методом крупных частиц / Ю.Х. Поландов, М.А. Барг, С.А. Власенко // Пожаровзрывобезопасность. 2007. – Т. 16. – № 3. – С. 6–9.
2. Davydov, Yu. M. Large-particle method // In: Encyclopaedia of Mathematics. Vol. 5. – Dordrecht / Boston / London: Kluwer academic publishers, 1990. – P. 358–360.
3. Численное исследование актуальных проблем машиностроения и механики сплошных и сыпучих сред методом крупных частиц / Ю.М. Давыдов [и др.]; под ред. Ю.М. Давыдова. – М.: Национальная Академия прикладных наук, Международная ассоциация разработчиков и пользователей метода крупных частиц, 1995. – 1595с. (в пяти томах).
4. Polandov, Y.H. Modeling a combustion propagation in air-gas mixtures using the large-particle method [Электронный ресурс] / Yuriy H. Polandov, Mikhail A. Barg, Svetlana A. Vlasenko // В материалах 6th GRACM International Congress on Computational Mechanics – Greece, Aristotle University of Thessaloniki, 19-21 June 2008. – 9с. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Тезисы [Текст] // 6th GRACM International Congress Book Of Abstracts – Sofia publications, 2008. – С. 79.

Поландов Юрий Христофорович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, с.н.с., профессор кафедры «Высшая математика»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 43-67-73
E-mail: polandov@yandex.ru

Власенко Светлана Анатольевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 43-67-73
E-mail: vlasenko_s_a@mail.ru

Барг Михаил Аркадьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Сотрудник лаборатории взрывобезопасности теплотехнического оборудования
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 43-67-73
E-mail: mvpi@yandex.ru

Ершов Михаил Николаевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Студент
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 43-67-73
E-mail: polandov@yandex.ru

О.В. ПИЛИПЕНКО, С.С. ЯКОВЛЕВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКЕ АНИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА

Представлены результаты математического моделирования объемного напряженного и деформированного состояния заготовки в очаге пластической деформации с учетом анизотропных свойств материала при ротационной вытяжке.

Ключевые слова: математическая модель, напряжения, деформация, анизотропия.

In the article the simulator of rotary drawing process of cylindrical component, which differ from famous models, is offered. On basis of Mises-Hill criterion of yielding and associated law of plastic yielding, which establish a connection between stresses and rates of deformations, is modeled stresses and strained states of billet in the nidus of the plastic yield and is taken into anisotropy of material properties.

Key words: simulator, stress, deformation, anisotropy.

При изготовлении тонкостенных осесимметричных деталей в настоящее время находят всё более широкое использование ротационная вытяжка (РВ). Теоретическое изучение процесса РВ с утонением осложняется наличием локальной деформации и объемным характером напряженного и деформированного состояний материала в пластической области. Трубный прокат, подвергаемый РВ, обладает анизотропией механических свойств, обусловленной маркой материала и технологическими режимами его получения. Анизотропия механических свойств материала трубной заготовки может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на устойчивое протекание технологических процессов обработки металлов давлением.

Рассмотрим схемы взаимодействия деформирующего конического ролика с материалом заготовки при ротационной вытяжке деталей обратным и прямым способами (рисунок 1).

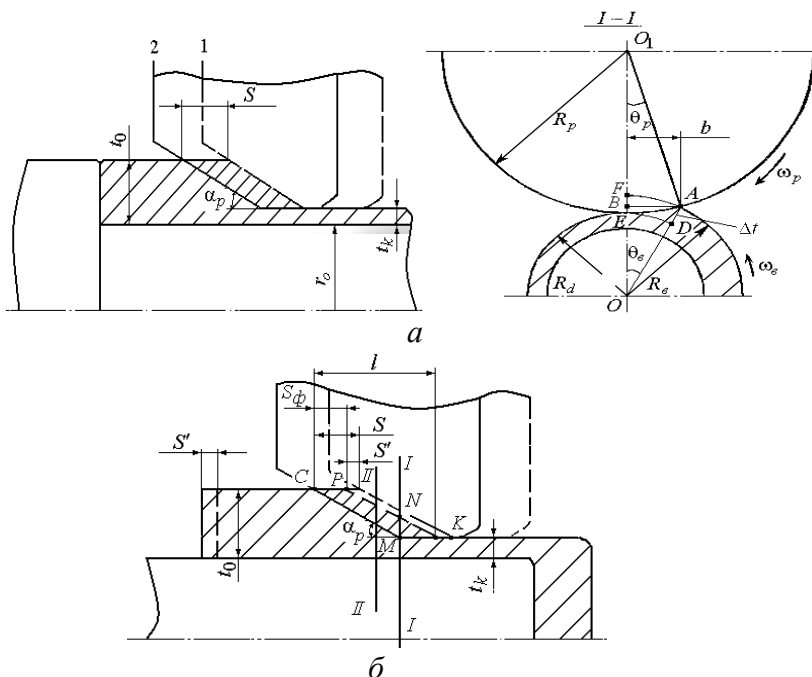


Рисунок 1– Схема очага деформации при ротационной вытяжке: а – по обратному способу; б – по прямому способу

Геометрические характеристики ролика: радиус (диаметр) – R_p ($D_p = 2R_p$), угол ролика – α_p ; геометрические характеристики заготовки: текущий радиус (диаметр) детали на входе в очаг пластической деформации – R_g ($D_g = 2R_g$), толщина стенки – t_0 ; геометрические характеристики детали: радиус (диаметр) изготавливаемой детали – R_d ($D_d = 2R_d$), толщина детали – t_k ; радиус (диаметр) оправки – r_o ($d_o = 2r_o$).

За один оборот заготовки ролик переместился на величину рабочей подачи S . При обратном способе ротационной вытяжки недеформированная часть заготовки не перемещается в осевом направлении и фактическая подача металла S_ϕ в очаге деформации за один оборот будет равна величине рабочей подачи $S_\phi = S$ независимо от величины утонения стенки, т.е. за один оборот в очаг деформации поступает участок заготовки длиной равной S (рисунок 1, а).

Рассмотрим процесс ротационной вытяжки тонкостенной трубной заготовки из анизотропного материала коническими роликами с углом конусности α_p и степенью деформации $\varepsilon = 1 - t_k / t_0$ по прямому способу (рисунок 1, б). За один оборот заготовки ролик переместился на величину рабочей подачи s . При подаче ролика на величину S фактическая подача будет $S_\phi = S t_k / t_0$. Это справедливо в предположении, что вдоль осевой реализуется плоская деформация.

Из геометрических соображений нетрудно определить максимальный угол контакта θ_g с заготовкой:

$$\theta_g = \left[\frac{2S_\phi R_p \operatorname{tg} \alpha_p}{R_g (R_g + R_p)} \right]^{1/2}, \text{ если } S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p \leq \Delta t; \quad (1)$$

$$\theta_g = \left[\frac{2R_p \Delta t}{R_g (R_g + R_p)} \right]^{1/2}, \text{ если } S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p \geq \Delta t. \quad (2)$$

Заметим, что выражения (1) и (2) получены с учетом того, что величины Δt и S_ϕ малы по сравнению с величиной радиуса ролика R_p .

Угол θ_g зависит от фактической подачи S_ϕ , изменения толщины стенки детали Δt , радиусов ролика R_p и заготовки R_g , а также формы ролика (угла конусности ролика α_p). Максимальная протяженность контакта ролика с заготовкой в осевом направлении $l = \Delta t \operatorname{ctg} \alpha_p + S_\phi$. Ширина зоны контакта в каждом сечении может быть определены по формуле $b = R_g \sin \theta_g$.

Пластическая деформация под роликом проходит в сравнительно короткий промежуток времени Δt_{gp} , необходимый для прохождения зоны контакта материала заготовки с роликом. В течение этого промежутка времени материал течет под роликом в осевом направлении. Заметим, что угол контакта материала заготовки с роликом в основном постоянный и переменный в начальном и конечном участках очага деформации.

Рассмотрим вопрос о распределении скоростей течения материала в очаге деформации при установившемся деформировании. Скорость вдавливания ролика в заготовку определяется в сечении заготовки, проведенном под углом θ к линии центров:

$$V_R = R_g \theta (\omega_p + \omega_g),$$

где ω_p – угловая скорость ролика; $\omega_p = \omega_g R_g / R_p$; ω_g – угловая скорость заготовки; $\omega_g = 2\pi n$; n – частота вращения шпинделя.

В цилиндрической системе координат ρ, θ, z , связанной с заготовкой, в зоне контакта ролика с металлом в каждом сечении $z = \text{const}$ в очаге деформации радиальная скорость

$$V_{rk} = -V_R \cos \theta.$$

Запишем радиальную скорость в пластической области очага деформации в виде

$$V_r = -R_s \theta (\omega_p + \omega_s) \frac{r - r_0}{r_k - r_0} \cos \theta,$$

где r_k – радиус контактной поверхности в цилиндрической системе координат в плоскости $z = \text{const}$.

Примем, что в пластической области в цилиндрической системе координат реализуется квазиплоская деформация, т.е. $\xi_\theta = 0$; $\xi_{r\theta} \neq 0$; $\xi_{z\theta} \neq 0$.

Уравнение линии контакта в цилиндрической системе координат в сечении $z = \text{const}$ имеет вид

$$r_k = (R_d + z \operatorname{tg} \alpha_p) / \cos \theta.$$

Приведем окончательные выражения для определения радиальной V_r , тангенциальной V_θ и осевой V_z скоростей течения материала:

$$V_r = -(R_d + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p + z \operatorname{tg} \alpha_p) \theta (\omega_p + \omega_s) \frac{r - r_0}{R_d + z \operatorname{tg} \alpha_p - r_0}; \quad (3)$$

$$V_\theta = -\omega_s r + (\omega_p + \omega_s) \frac{R_d + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p + z \operatorname{tg} \alpha_p}{R_d + z \operatorname{tg} \alpha_p - r_0} (r - r_0) \frac{\theta^2}{2}; \quad (4)$$

$$V_z = \theta (\omega_p + \omega_s) \left[z + (S_\phi + r_0 \operatorname{ctg} \alpha_p) \ln \frac{z \operatorname{tg} \alpha_p + R_d - r_0}{R_d - r_0} \right] - (R_d + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p) \operatorname{ctg} \alpha_p \left[\frac{t_0 (t_k + S_\phi)}{\left(t_k + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p \frac{\theta}{\theta_s} \right)^2} - 1 \right]. \quad (5)$$

Заметим, что последние выражения получены, учитывая малость угла θ по сравнению с 1.

Компоненты скоростей деформаций вычисляются по известным скоростям течения материала в цилиндрической системе координат.

Принимая во внимания выражения для определения радиальной V_r (3), тангенциальной V_θ (4) и осевой V_z (5) составляющих скоростей течения материала и условие несжимаемости материала, вычислим компоненты скоростей деформации так:

$$\xi_z = -\xi_r = \theta (\omega_p + \omega_s) \frac{R_d + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p + z \operatorname{tg} \alpha_p}{R_d + z \operatorname{tg} \alpha_p - r_0}; \quad (6)$$

$$\xi_\theta = 0; \quad (7)$$

$$\xi_r = -\theta (\omega_p + \omega_s) \frac{R_d + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p + z \operatorname{tg} \alpha_p}{R_d + z \operatorname{tg} \alpha_p - r_0}; \quad (8)$$

$$\xi_{r\theta} = (\omega_p + \omega_s) \frac{R_d + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p + z \operatorname{tg} \alpha_p}{R_d + z \operatorname{tg} \alpha_p - r_0} \left(\frac{r_0}{r} - 1 \right); \quad (9)$$

$$\xi_{\alpha z} = \frac{1}{r}(\omega_p + \omega_s) \left\{ z + (S_\phi + r_0 \operatorname{ctg} \alpha_p) \ln \frac{z \operatorname{tg} \alpha_p + R_d - r_0}{R_d - r_0} - \right. \\ \left. - (R_d + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p) \operatorname{ctg} \alpha_p \left[\frac{t_0(t_k + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p)}{\left(t_k + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p \frac{\theta}{\theta_s} \right)^2} - 1 \right] + \right. \\ \left. + 2\theta(R_d + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p) \operatorname{ctg} \alpha_p \frac{t_0(t_k + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p)}{\left(t_k + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p \frac{\theta}{\theta_s} \right)^3} \frac{S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p}{\theta_s} \right\} - \\ - (\omega_p + \omega_s)(r - r_0) \operatorname{tg} \alpha_p \frac{\theta^2}{2} \frac{r_0 + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p}{(R_d + z \operatorname{tg} \alpha_p - r_0)^2}; \quad (10)$$

$$\xi_{rz} = \theta(\omega_p + \omega_s)(r - r_0) \operatorname{tg} \alpha_p \frac{r_0 + S_\phi \operatorname{tg} \alpha_p}{(R_d + z \operatorname{tg} \alpha_p - r_0)^2}. \quad (11)$$

Примем материал трубной заготовки жесткопластическим, несжимаемым, цилиндрически ортотропным, подчиняющимся условию пластичности Мизеса-Хилла и ассоциированному закону пластического течения. Главные оси анизотропии совпадают с радиальным, окружным и осевым направлением (r, θ, z). В очаге пластической деформации реализуется квазиплоское течение материала, т.е.

$$\xi_\theta = 0; \xi_{\theta r} \neq 0; \xi_{\theta z} \neq 0; \sigma_\theta = \frac{F\sigma_r + H\sigma_z}{F + H}; \xi_r = -\xi_z. \quad (12)$$

Введя характеристики анизотропии c_{zr} , $c_{r\theta}$ и $c_{z\theta}$ в условиях плоского деформированного состояния, выражение для определения интенсивности скорости деформации ξ_e примет вид:

$$\xi_i = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{(R_z + R_\theta + R_z R_\theta)(1 + R_\theta)}{R_\theta(R_\theta + R_z + 1)(1 - c_{zr})}} \times \left[(1 - c_{zr})\xi_z^2 + \frac{1}{4}\xi_{zr}^2 + \frac{1}{4} \frac{R_\theta(R_z + 1)(1 - c_{zr})}{R_z(R_\theta + 1)(1 - c_{r\theta})} \xi_{\theta r}^2 + \right. \\ \left. + \frac{1}{4} \frac{(R_z + R_\theta)(1 - c_{zr})}{R_z(R_\theta + 1)(1 - c_{z\theta})} \xi_{z\theta}^2 \right]^{1/2}. \quad (13)$$

В (13): F, G, H, L, M, N – параметры анизотропии; $\sigma_z, \sigma_\theta, \sigma_r, \tau_{z\theta}, \tau_{\theta r}, \tau_{rz}$ – осевые, окружные, радиальные и сдвиговые напряжения соответственно; $\xi_z, \xi_\theta, \xi_r, \xi_{z\theta}, \xi_{\theta r}, \xi_{rz}$ – скорости деформации в различных направлениях.

Можно показать, что в принятых условиях деформирования уравнения пластического течения, устанавливающие связи между напряжениями и скоростями деформаций, для анизотропного тела запишутся в виде:

$$\sigma_z - \sigma = 2\mu_z \xi_z; \quad \sigma_r - \sigma = -2\mu_r \xi_r; \quad \sigma_\theta - \sigma = -2\mu_\theta \xi_\theta; \\ \tau_{z\theta} = \mu_{z\theta} \xi_{z\theta}; \quad \tau_{\theta r} = \mu_{\theta r} \xi_{\theta r}; \quad \tau_{rz} = \mu_{rz} \xi_{rz}. \quad (14)$$

где σ – среднее напряжение;

$$\mu_{z\theta} = \frac{\tau_{sz\theta}^2}{2\tau_{szr}} \frac{1}{\psi}; \quad \mu_{\theta r} = \frac{\tau_{s\theta r}^2}{2\tau_{szr}} \frac{1}{\psi}; \quad \mu_{rz} = \frac{\tau_{srz}}{2\psi};$$

$$\mu_z = \frac{1}{3} \frac{(2+R_\theta)(1-c_{zr})\tau_{s_zr}}{1+R_\theta} \frac{1}{\dot{\psi}}; \quad \mu_r = -\frac{1}{3} \frac{(2R_\theta+1)(1-c_{zr})\tau_{s_zr}}{1+R_\theta} \frac{1}{\dot{\psi}};$$

$$\mu_\theta = -\frac{1}{3} \frac{(1-R_\theta)(1-c_{zr})\tau_{s_zr}}{1+R_\theta} \frac{1}{\dot{\psi}}; \quad \dot{\psi} = \frac{\dot{\lambda}}{2\tau_{s_zr}};$$

$$\frac{\tau_{s_\theta r}}{\tau_{s_zr}} = \sqrt{\frac{R_\theta(R_z+1)(1-c_{zr})}{R_z(R_\theta+1)(1-c_{r\theta})}}; \quad \frac{\tau_{s_z\theta}}{\tau_{s_zr}} = \sqrt{\frac{(R_z+R_\theta)(1-c_{zr})}{R_z(R_\theta+1)(1-c_{z\theta})}};$$

$$\dot{\lambda} = 2\tau_{s_zr} \left[(1-c_{zr})\xi_z^2 + \frac{1}{4}\xi_{zr}^2 + \frac{1}{4}\left(\frac{\tau_{s_\theta r}}{\tau_{s_zr}}\right)^2 \xi_{\theta r}^2 + \frac{1}{4}\left(\frac{\tau_{s_z\theta}}{\tau_{s_zr}}\right)^2 \xi_{z\theta}^2 \right]^{1/2}.$$

Разрешив выражения (14) относительно компонент тензора напряжений, получим

$$\sigma_z = \sigma + 2\mu_z \xi_z; \quad \sigma_r = \sigma + 2\mu_r \xi_r; \quad \sigma_\theta = \sigma + 2\mu_\theta \xi_\theta; \quad (15)$$

$$\tau_{z\theta} = \mu_{z\theta} \xi_{z\theta}; \quad \tau_{\theta r} = \mu_{\theta r} \xi_{\theta r}; \quad \tau_{rz} = \mu_{rz} \xi_{rz}.$$

Подставив уравнения пластического течения, устанавливающие связи между напряжениями и скоростями деформаций, в уравнения равновесия в цилиндрической системе координат получим систему уравнений для определения среднего напряжения

$$\frac{\partial \sigma}{\partial r} + 2 \frac{\partial(\mu_r \xi_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\mu_{r\theta} \xi_{r\theta})}{\partial \theta} + \frac{\partial(\mu_{rz} \xi_{rz})}{\partial z} + \frac{2\xi_z}{r} (\mu_r - \mu_\theta) = 0;$$

$$\frac{\partial(\mu_{r\theta} \xi_{r\theta})}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma}{\partial \theta} + 2 \frac{1}{r} \frac{\partial(\mu_\theta \xi_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\mu_{\theta z} \xi_{\theta z})}{\partial z} + 2\mu_{\theta r} \frac{\xi_{\theta r}}{r} = 0; \quad (16)$$

$$\frac{\partial(\mu_{zr} \xi_{zr})}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\mu_{z\theta} \xi_{z\theta})}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma}{\partial z} + 2 \frac{\partial(\mu_z \xi_z)}{\partial z} + \mu_{zr} \frac{1}{r} \xi_{zr} = 0.$$

Локальный очаг пластической деформации в сечении $z = const$ разобьем θ и r -линиями (рисунок 2):

$r = const$ θ – линия;

$\theta = const$ r – линия.

Заметим, что точки вдоль θ – линии имеют индексацию $(0, 0), (1, 0), (2, 0), (3, 0), \dots, (m, 0)$; точки вдоль r – линии – $(0, 1), (0, 2), (0, 3), (0, 4), \dots, (0, n)$.

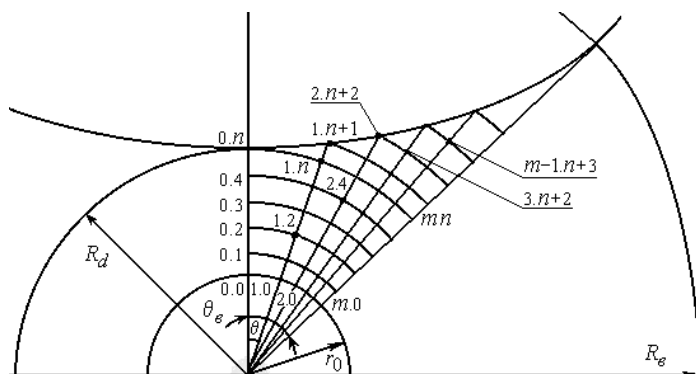


Рисунок 2 – К определению скоростей деформации и напряжений

Запишем уравнения равновесия (16) в виде конечных разностей в соответствии с рисунком 2:

$$\frac{\sigma_{mn} - \sigma_{mn-1}}{r_{mn} - r_{mn-1}} + 2 \frac{\mu_{r_{mn}} \xi_{z_{mn}} - \mu_{r_{mn-1}} \xi_{z_{mn-1}}}{r_{mn} - r_{mn-1}} + \frac{1}{r_{mn}} \frac{\mu_{r_{\theta mn}} \xi_{r_{\theta mn}} - \mu_{r_{\theta m-1n}} \xi_{r_{\theta m-1n}}}{\theta_{mn} - \theta_{m-1n}} +$$

$$+ \frac{\mu_{r_{z_{mn}}}(z_k) \xi_{r_{z_{mn}}}(z_k) - \mu_{r_{z_{mn}}}(z_{k-1}) \xi_{r_{z_{mn}}}(z_{k-1})}{z_k - z_{k-1}} + \frac{2 \xi_{z_{mn}} (\mu_{r_{mn}} - \mu_{\theta mn})}{r_{mn}} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\mu_{r_{\theta mn}} \xi_{r_{\theta mn}} - \mu_{r_{\theta m-1n}} \xi_{r_{\theta m-1n}}}{r_{mn} - r_{mn-1}} + \frac{1}{r_{mn}} \frac{\sigma_{mn} - \sigma_{m-1n}}{\theta_{mn} - \theta_{m-1n}} + \frac{2}{r_{mn}} \frac{\mu_{\theta mn} \xi_{z_{mn}} - \mu_{\theta m-1n} \xi_{z_{m-1n}}}{\theta_{mn} - \theta_{m-1n}} +$$

$$+ \frac{\mu_{\theta_{z_{mn}}}(z_k) \xi_{\theta_{z_{mn}}}(z_k) - \mu_{\theta_{z_{mn}}}(z_{k-1}) \xi_{\theta_{z_{mn}}}(z_{k-1})}{z_k - z_{k-1}} + 2 \mu_{\theta r} \frac{\xi_{\theta r_{mn}}}{r_{mn}} = 0; \quad (18)$$

$$\frac{\mu_{z_{r_{mn}}} \xi_{z_{r_{mn}}} - \mu_{z_{r_{mn-1}}} \xi_{z_{r_{mn-1}}}}{r_{mn} - r_{mn-1}} + \frac{1}{r_{mn}} \frac{\mu_{z_{\theta mn}} \xi_{z_{\theta mn}} - \mu_{z_{\theta m-1n}} \xi_{z_{\theta m-1n}}}{\theta_{mn} - \theta_{m-1n}} +$$

$$+ \frac{\sigma_{mn}(z_k) - \sigma_{mn}(z_{k-1})}{z_k - z_{k-1}} + 2 \frac{\mu_{z_{mn}}(z_k) \xi_{z_{mn}}(z_k) - \mu_{z_{mn}}(z_{k-1}) \xi_{z_{mn}}(z_{k-1})}{z_k - z_{k-1}} +$$

$$+ \frac{\mu_{z_{r_{mn}}}(z_{k-1})}{r_{mn}} \xi_{z_{r_{mn}}}(z_{k-1}) = 0. \quad (19)$$

Разрешив каждое из уравнений системы (17) – (19) относительно среднего напряжения, получим выражения для определения величины σ_{mn} :

по r – линии ($\theta = \text{const}$)

$$\sigma_{mn} = \sigma_{mn-1} + (r_{mn-1} - r_{mn}) \left[2 \frac{\mu_{r_{mn}} \xi_{z_{mn}} - \mu_{r_{mn-1}} \xi_{z_{mn-1}}}{r_{mn} - r_{mn-1}} + \frac{1}{r_{mn}} \frac{\mu_{r_{\theta mn}} \xi_{r_{\theta mn}} - \mu_{r_{\theta m-1n}} \xi_{r_{\theta m-1n}}}{\theta_{mn} - \theta_{m-1n}} + \right.$$

$$\left. + \frac{\mu_{r_{z_{mn}}}(z_k) \xi_{r_{z_{mn}}}(z_k) - \mu_{r_{z_{mn}}}(z_{k-1}) \xi_{r_{z_{mn}}}(z_{k-1})}{z_k - z_{k-1}} + \frac{2 \xi_{z_{mn}} (\mu_{r_{mn}} - \mu_{\theta mn})}{r_{mn}} \right] \quad (20)$$

по θ - линии ($r = \text{const}$)

$$\sigma_{mn} = \sigma_{m-1n} + r_{mn} (\theta_{m-1n} - \theta_{mn}) \left[\frac{2}{r_{mn}} \frac{\mu_{\theta mn} \xi_{z_{mn}} - \mu_{\theta m-1n} \xi_{z_{m-1n}}}{\theta_{mn} - \theta_{m-1n}} + \right.$$

$$\left. + \frac{\mu_{r_{\theta mn}} \xi_{r_{\theta mn}} - \mu_{r_{\theta m-1n}} \xi_{r_{\theta m-1n}}}{r_{mn} - r_{mn-1}} + \frac{\mu_{\theta_{z_{mn}}}(z_k) \xi_{\theta_{z_{mn}}}(z_k) - \mu_{\theta_{z_{mn}}}(z_{k-1}) \xi_{\theta_{z_{mn}}}(z_{k-1})}{z_k - z_{k-1}} + 2 \mu_{\theta r} \frac{\xi_{\theta r_{mn}}}{r_{mn}} \right]; \quad (21)$$

по z

$$\sigma_{mn}(z_k) = \sigma_{mn}(z_{k-1}) + (z_{k-1} - z_k) \left[\frac{\mu_{z_{r_{mn}}} \xi_{z_{r_{mn}}} - \mu_{z_{r_{mn-1}}} \xi_{z_{r_{mn-1}}}}{r_{mn} - r_{mn-1}} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{r_{mn}} \frac{\mu_{z_{\theta mn}} \xi_{z_{\theta mn}} - \mu_{z_{\theta m-1n}} \xi_{z_{\theta m-1n}}}{\theta_{mn} - \theta_{m-1n}} + \right.$$

$$\left. + 2 \frac{\mu_{z_{mn}}(z_k) \xi_{z_{mn}}(z_k) - \mu_{z_{mn}}(z_{k-1}) \xi_{z_{mn}}(z_{k-1})}{z_k - z_{k-1}} + \frac{\mu_{z_{r_{mn}}}(z_{k-1})}{r_{mn}} \xi_{z_{r_{mn}}}(z_{k-1}) \right] \quad (22)$$

Известно, что на границе входа материала в очаг пластической деформации величина осевого напряжения равна нулю, т.е.

$$\sigma_z = 0. \quad (23)$$

Это условие позволяет определить распределение величин среднего напряжения $\sigma(m, n)$ на входе материала в очаг пластической деформации и напряжений $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ и $\tau_{r\theta}, \tau_{\theta z}, \tau_{r\theta}$ по выражениям (14). Далее по выражениям (19) – (22) вычисляются величины среднего напряжения $\sigma(m, n)$ в точках очага пластической деформации.

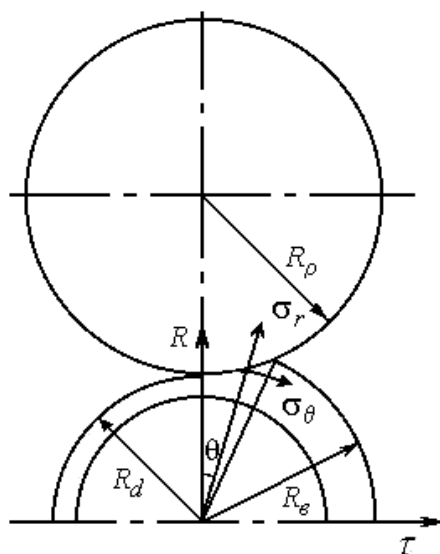


Рисунок 3 – Схема по определению радиальной и тангенциальной силы

Определим радиальное σ_R и тангенциальное σ_τ напряжения на контактной границе r_k (рисунок 3) и осевое напряжение σ'_z . Подставляя выражения для определения напряжений σ_r, σ_θ и $\tau_{r\theta}$ в формулы преобразования компонент напряжений при повороте осей координат, получим выражения для вычисления радиального σ_R , тангенциального σ_τ напряжений на контактной границе r_k и осевого напряжения σ'_z соответственно:

$$\begin{aligned} \sigma_\tau &= \sigma_r \sin^2 \theta + \sigma_\theta \cos^2 \theta + \tau_{r\theta} \sin 2\theta; \\ \sigma_R &= \sigma_r \cos^2 \theta + \sigma_\theta \sin^2 \theta - \tau_{r\theta} \sin 2\theta; \\ \sigma'_z &= \sigma_z. \end{aligned} \quad (24)$$

Зная величины радиального σ_R и тангенциального σ_τ напряжений на контактной границе r_k , можно найти радиальную и тангенциальную составляющие силы, момент силы, приложенный к оправке для осуществления пластической деформации в очаге деформации и работу деформации, совершаемую моментом M_θ на угле θ_θ . Найденные характеристики позволяют оптимизировать процесс ротационной вытяжки, повысить его эффективность и качество изготавливаемых деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пилипенко, О.В. Формирование анизотропии механических свойств при прокатке листового материала: материалы международной научно-технической конференции «Автоматизация; проблемы, идеи, решения»/ О.В. Пилипенко.- Тула: ТулГУ, 2006. с.41-64.
2. Яковлев, С.С. Технологические параметры ротационной вытяжки с утонением стенки трубных заготовок из анизотропного материала / С.С. Яковлев, О.В. Пилипенко.- М: Вестник машиностроения №3. 2008. с.42-73.

Пилипенко Ольга Васильевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Прикладная математика и информатика»
 Г. Орел, Наугорское шоссе, 29
 Тел. (4862) 41-98-12
 E-mail: pilipenkoo@rambler.ru

Яковлев Сергей Сергеевич

Тульский государственный университет, г. Тула
 Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Механика пластического формоизменения»
 Г. Тула, проспект Ленина, 92
 Тел. (4872) 23-54-482
 E-mail: mpf-tula@rambler.ru

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОПИСАНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ «ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗДЕЛИЙ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ САПР» НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В статье рассматривается методология формализованного описания предметной области «Обеспечение технологичности конструкций изделий в интегрированных САПР» на основе онтологии в системе Protégé.

Ключевые слова: технологичность конструкций изделий, интегрированная САПР, онтология, база знаний, формализация.

The methodology of the formalized description of a subject domain «Support of constructions manufacturability of products in the integrated CAD» on the basis of ontology in Protégé system is considered in this article.

Key words: manufacturability of products, integrated cad, ontology, knowledge base, formalization.

Обеспечение технологичности конструкций изделий (ТКИ) является важной функцией подготовки производства, предусматривающей взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на достижение оптимальных трудовых и материальных затрат, сокращение времени на производство, техническое обслуживание и ремонт изделия. Успешное решение задач по обеспечению ТКИ во многом зависит от профессиональных знаний и производственного опыта конструкторов и технологов. Это связано с тем, что задачи по обеспечению ТКИ достаточно трудно формализовать.

В настоящее время ядром программно-методического комплекса компьютерной подготовки производства современного конкурентоспособного промышленного предприятия являются интегрированные САПР (CAD/CAM/CAE-системы). Однако широкое внедрение этих систем в машиностроении и использование их при подготовке производства, как показывает опыт, не затрагивает множество вопросов обеспечения ТКИ главным образом из-за отсутствия формализованных методов их решений [1–3]. Вместе с тем в интегрированных САПР появляются решения, позволяющие реализовать задачи обеспечения ТКИ на качественно новом уровне (например, реализуется проверка проливаемости пресс-форм в специализированных модулях, проверка на наличие необработанных зон и зарезов в САМ-системах и др.).

Все указанные факты подтверждают актуальность и сложность решения проблемы обеспечения ТКИ, в том числе и при использовании САПР. В Брянском государственном техническом университете было выполнено несколько научных работ, посвященных процессам формализации и автоматизации обеспечения ТКИ при использовании современных интегрированных САПР. Основное содержание этих работ заключалось в создании специализированных интеллектуальных модулей, реализующих функции экспертных компонентов [2, 3].

Для реализации любого интеллектуального модуля требуется представить предметную область в формализованном виде. Как правило, при этом проводится большой объем работ по систематизации и классификации понятий предметной области, описанию взаимосвязей между этими понятиями, определению типов решаемых задач.

Формализация описания предметной области «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР» является актуальной задачей, так как позволяет повысить эффективность научных исследований и решений практических задач в этой области.

Особенность предметной области «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР» заключается в том, что эта предметная область является связующей (лежит

на пересечении) нескольких предметных областей, таких как «Проектирование», «Технологическая подготовка производства», «Эксплуатация», «Системы автоматизированного проектирования», «CALS-технологии». Само понятие «технологичность конструкции изделия» – является относительным и учитывает конкретные производственные условия предприятия-изготовителя, будущие условия эксплуатации изделия и множество других факторов. При обеспечении ТКИ изделие необходимо рассматривать как объект проектирования, производства и эксплуатации. Этот фактор обуславливает необходимость рассмотрения процесса обеспечения ТКИ в рамках современной концепции CALS.

Был проведен анализ публикаций, стандартов и выполненных работ в области формализации различных предметных областей. Выявлено, что перспективным методом представления знаний по различным предметным областям в настоящий момент являются онтологии. Онтологии часто применяются в различных интеллектуальных системах: для создания интеллектуальных модулей для поиска информации в сети Интернет, для создания экспертных систем и т.д. В настоящий момент существуют достаточно развитые инструментальные средства для создания онтологий. Наиболее популярными являются Ontolingua, Protégé, OntoEdit, OilEd, Web-Deso.

Учитывая перспективность применения онтологий для реализации интеллектуальных систем и модулей, а также наличие развитых инструментальных средств для построения онтологий, принято решение использовать онтологический подход для описания предметной области «Обеспечение технологичности конструкции изделий в САПР».

Был проведен сравнительный анализ возможностей современных автоматизированных систем для формирования онтологий предметных областей. В результате проведенного анализа для создания онтологии был выбран инструмент Protégé-3.2.1, разработанный в Стэнфордском университете (США). Данный инструмент был выбран исходя из имеющегося опыта работы в данной среде, а также наличия бесплатной версии. На кафедре «Компьютерные технологии и системы» ранее были сформированы фрагменты онтологии по предметной области «CALS-, CAD-, CAM-, CAE-технологии» [4]. Основные классы этой онтологии («Интегрированные САПР», «Типы модулей», «Этапы жизненного цикла промышленного изделия», «Модули САПР») могут быть применены после модификации для создания онтологии предметной области «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР». Protégé-3.2.1 – это «метаинструмент», который помогает пользователям создавать системы приобретения знаний для конкретной предметной области, и эксперты могут использовать эти системы для того, чтобы вводить и просматривать информацию, содержащуюся в электронных базах знаний.

Рассмотрим подробнее процесс построения онтологии предметной области «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР» в среде Protégé. Типовые этапы планирования и создания онтологии в среде Protégé представлены на рисунке 1.

Разработку онтологии наиболее целесообразно начинать с ***определения ее предметной области и масштаба***, потому что степень детализации онтологии и задачи, для которых она создается, могут существенно влиять на сами процессы моделирования.

Онтология по предметной области «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР» *предназначена для:*

- анализа и систематизации знаний в предметной области;
- отделения знаний в предметной области от оперативных знаний;
- возможности повторного использования знаний в предметной области;
- использования в интеллектуальных системах поиска и экспертных системах.

Основными *пользователями* онтологии, формализующей предметную область «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР», будут являться аспиранты, студенты, ученые, исследующие эту предметную область. Один из важных прикладных аспектов заключается в том, что спецификация знаний путем организации таксономических отношений между понятиями позволит молодым специалистам осуществлять быстрое изучение основ новой для них предметной области.

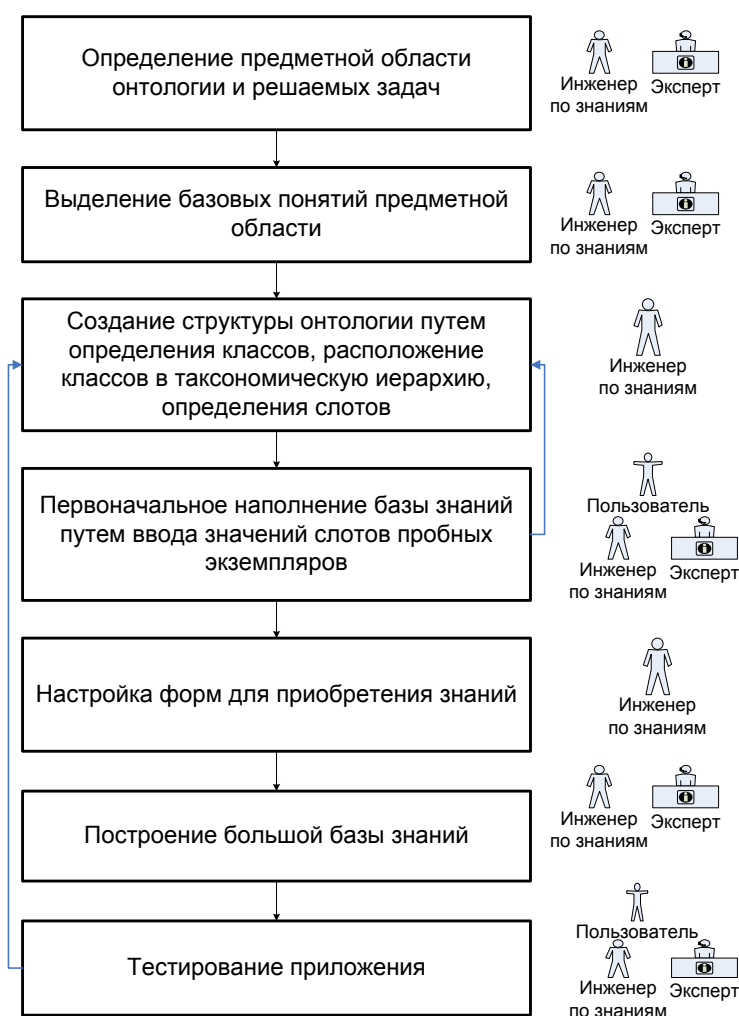


Рисунок 1 – Типовые этапы планирования и создания онтологии в среде Protege

Один из эффективных способов определения масштаба онтологии – сформировать перечень вопросов, на которые должна отвечать база знаний, основанная на онтологии, т.е. **вопросы для проверки компетентности**. Был определен первоначальный список вопросов, на которые должна ответить база знаний, основанная на онтологии, формализующей предметную область «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР»:

- какие виды ТКИ существуют и как они проявляются на разных этапах жизненного цикла изделия;
- какие существуют методы оценки ТКИ на разных этапах жизненного цикла изделий;
- какие существуют мероприятия (рекомендации) по улучшению ТКИ;
- какие показатели, признаки и факторы влияют на ТКИ;
- какие количественные показатели технологичности могут быть использованы при оценке технологичности конструкций изделий различных видов;
- какие параметры контролируются при проведении технологического контроля конструкторской документации;
- какие модули и средства имеются с современных САПР для обеспечения и оценки ТКИ на разных этапах жизненного цикла изделия.

Выделение базовых понятий предметной области реализуется в виде глоссария. При формировании глоссария по предметной области «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР» использовались текстологические методы извлечения знаний,

которые объединяют в себе методы извлечения знаний, основанные на изучении стандартов, специальных текстов из учебников, монографий, статей, методик и других носителей профессиональных знаний. Вначале важно получить полный список терминов, не беспокоясь о пересечении понятий, которые они представляют, об отношениях между терминами и о возможных свойствах понятий.

На основе анализа действующих стандартов и научных трудов в области обеспечения ТКИ [1], технологической подготовки производства, САПР сформирован глоссарий по предметной области «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР». В первую очередь были использованы следующие действующие стандарты и методические рекомендации в области ТКИ: ГОСТ 14.201-83, ГОСТ 14.202-73*, ГОСТ 14.203-73*, ГОСТ 14.204-73*, ГОСТ 14.205-83, ГОСТ 14.206-73, Методические рекомендации МР186-85. Дополнительно использовались следующие стандарты: ЕСКД ГОСТ 2.101-68, ГОСТ 2.103-68* и др. В глоссарий включено более 100 терминов («технологичность конструкции изделия», «обеспечение ТКИ», «технологический контроль конструкторской документации», «изделие», «тип производства» и др.).

После составления глоссария была разработана иерархия понятий (будущих классов) и определены свойства понятий (будущих слотов). Для предварительного составления связей между понятиями использовались классификационные графические схемы, построенные по результатам анализа действующих стандартов и монографий ученых по проблемам ТКИ.

Анализ имеющихся в литературе и действующих стандартах рекомендаций, направленных на улучшение технологичности конструктивных форм деталей, стал основой построения схемы, представленной на рисунке 2, которая позволила предварительно выявить основные слоты, описывающие значимые признаки, для реализации более широкого класса «Рекомендации по обеспечению ТКИ».

Классы онтологии определялись исходя из целевого назначения онтологии с учетом вопросов проверки компетентности.

Все созданные классы онтологии можно разделить на 2 группы:

- вспомогательные (общие);
- функциональные (целевые).

Функциональные классы проектировались для решения целевых задач онтологии (на основе вопросов проверки компетентности). Вспомогательные классы использовались для ссылки на них основных классов и содержали общую, независимую от конкретной предметной области, информацию.

В свою очередь, функциональные классы разделены на 2 большие группы:

- ориентированные на задачи в области «CALS-, CAD-, CAM-, CAE-технологии»;
- ориентированные на задачи в области «Обеспечение ТКИ».

Важнейшими функциональными (целевыми) классами разрабатываемой онтологии, ориентированными на решение задачи в области «Обеспечение ТКИ» являются:

- «Показатель технологичности конструкции изделия» – описывает показатели технологичности, применяемые для количественной оценки ТКИ;
- «Рекомендации по обеспечению ТКИ» – содержит рекомендации по улучшению ТКИ;
- «Оценка технологичности конструкции изделия» – описывает виды оценок технологичности конструкций изделий;
- «Технологический контроль конструкторской документации» – класс содержит информацию о проведении технологического контроля конструкторской документации на каждой стадии разработки конструкторской документации (ГОСТ 14.206-73);
- «Источник рекомендации по улучшению ТКИ» – класс содержит описание источников рекомендации по улучшению ТКИ;
- «Ученые в области обеспечения ТКИ» – класс содержит информацию об ученых, работающих в области обеспечения ТКИ.

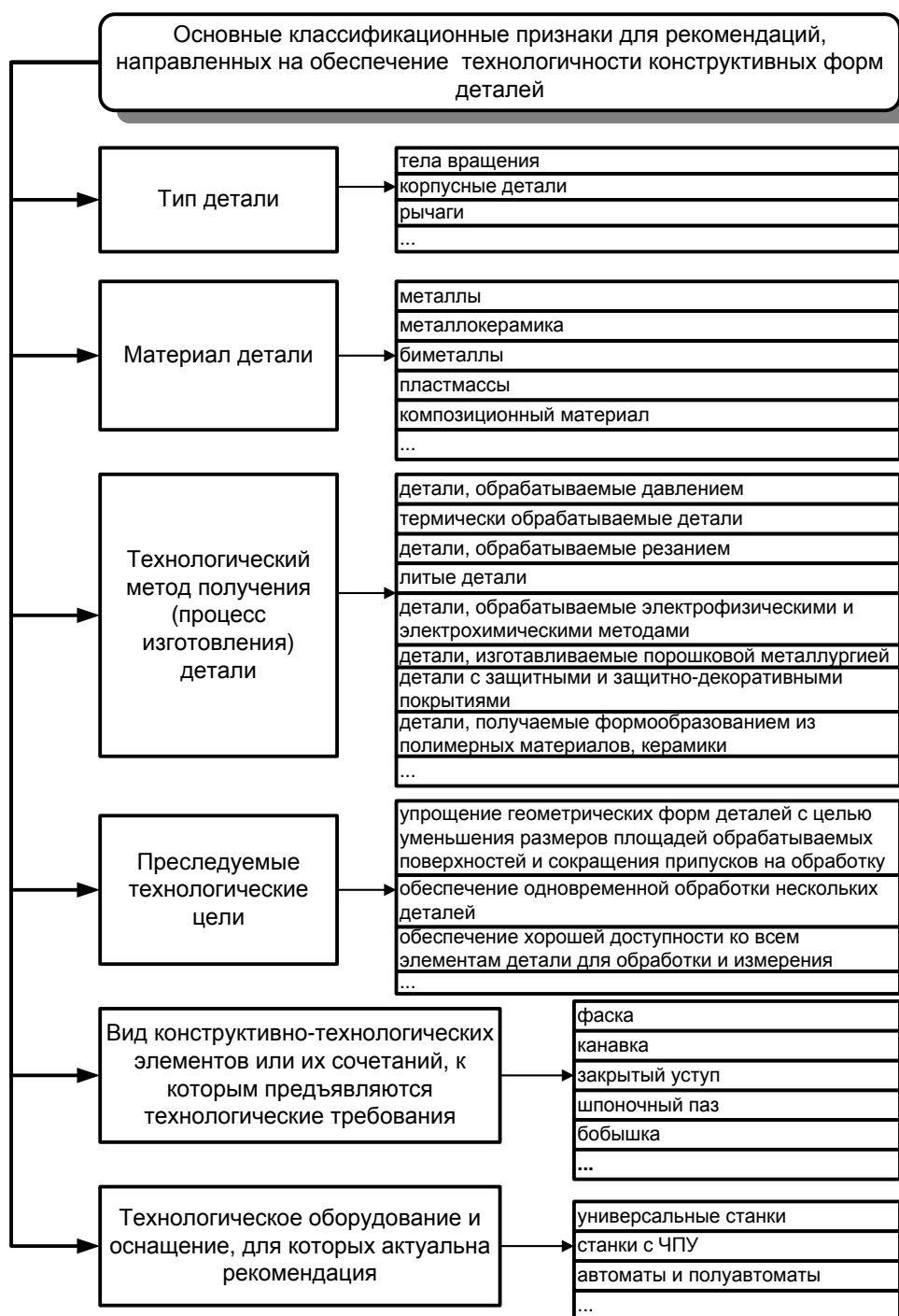


Рисунок 2 – Основные классификационные признаки для рекомендаций, направленных на обеспечение технологичности конструктивных форм деталей

Важнейшими вспомогательными классами разработанной онтологии являются:

- «Изделие» – описывает различные виды изделий, которым будут поставлены в соответствие рекомендации по улучшению ТКИ;
- «Материал» – класс содержит информацию о материалах изделий;
- «Технологическое оборудование» – описывает виды технологического оборудования для того, чтобы связать с каждым из этих видов соответствующие требования по улучшению ТКИ;
- «Этапы жизненного цикла промышленного изделия» – класс содержит наименования этапов жизненного цикла изделия;
- «Конструктивно-технологический элемент» – класс содержит сведения о конструктивно-технологических элементах деталей;

– «Технологический метод получения деталей» – класс содержит наименования технологических методов получения (процессов изготовления) деталей.

Созданная онтология предметной области «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР» в среде Protégé включает в настоящее время 21 основной класс. Представим подробное описание одного из основных функциональных классов онтологии, разработанной в среде Protege.

Класс «Рекомендации по обеспечению ТКИ» предназначен для накопления и систематизации рекомендаций, направленных на обеспечение технологичности конструкций изделий. Этот класс должен позволить решать задачу поиска рекомендаций, направленных на улучшение технологичности конструкций изделий различного вида. При этом должны учитываться следующие основные факторы, влияющие на ТКИ:

- вид изделия;
- материал изделия;
- сфера проявления эффекта при выполнении требования к ТКИ (на какой этап жизненного цикла изделия повлияет выполнение этого требования);
- технологический метод получения детали, для которого актуальна рекомендация по улучшению технологичности конструкции детали (признак действителен только для рекомендаций, направленных на улучшение ТКИ деталей);
- вид технологического оборудования, для которого действительна рекомендация по улучшению ТКИ;
- вид конструктивно-технологического элемента, для которого действительна рекомендация по улучшению ТКИ (признак действителен только для рекомендаций, направленных на улучшение ТКИ деталей).

Исходя из указанных условий, была разработана структура класса путем определения слотов. Структура класса в среде Protege представлены в таблице 1.

Следует отметить, что слот логического типа «актуальность» предназначен для идентификации актуальных для конкретных производственных условий рекомендаций, направленных на улучшение ТКИ. С помощью этого слота имеется возможность сократить область актуальных рекомендаций, направленных на улучшение ТКИ, без их физического удаления из базы знаний.

Слот «из источника» позволяет указать литературный источник (стандарт, учебник, монографию), из которого взята рекомендация, направленная на улучшение ТКИ. Это улучшит возможности отладки и систематизации рекомендаций.

Для проверки корректности структуры класса проводилось его заполнение экземплярами. Были введены более 50 рекомендаций, направленных на улучшение ТКИ различного вида, получаемых различными технологическими методами.

Система Protégé позволяет осуществлять запросы различной сложности для нахождения необходимой информации, направленной на решение целевых задач онтологии. Инструмент формирования запросов позволяет получать сведения из проекта по всем экземплярам классов, которые удовлетворяют интересующим критериям. Для того, чтобы создать запрос, необходимо выбрать один или более классов и один или более слотов в классе.

Также система позволяет сохранять запросы в библиотеку для последующего использования. Система поддерживает объединенные запросы, позволяющие реализовывать поиск по множеству полей (слотов) разных классов.

Для исследования возможностей разработанной онтологии было создано более 30 тестовых запросов, которые позволяли получать из онтологии следующие сведения:

- характеристика качественной оценки ТКИ,
- характеристика количественной оценки ТКИ,
- направления работ по отработке производственной ТКИ,
- модули САПР, направленные на снижение материалоемкости изделий,

- содержание работ по обеспечению технологичности конструкции сборочной единицы на стадии эскизного проекта,
- рекомендации по улучшению технологичности валов и осей, обрабатываемых резанием;
- параметры, проверяемые на стадии эскизного проектирования при технологическом контроле конструкторской документации и другие.

Таблица 1 - Структура класса «Рекомендации по обеспечению ТКИ»

Имя класса (Name)		Рекомендации по обеспечению ТКИ			
Тип (роль) класса (Role)		Конкретный (concrete) – имеет непосредственные экземпляры			
Информация о классе (Documentation)		Класс содержит рекомендации по обеспечению (улучшению) ТКИ			
Наименование слота (Name)	Тип значения слота (Value Type)	Информация о слоте (Documentation)	Способ получения значения слота	Мощность (Cardinality)	Значение по умолчанию (Default Values)
1	2	3	4	5	6
для изделия	Class (класс)	Содержит описание вида изделия, для которого предназначена рекомендация по улучшению ТКИ	Разрешенный родитель – класс «Изделие»	Single (единственный элемент)	-
для материала	Class	Содержит описание материала изделия, отрабатываемого на технологичность	Разрешенный родитель – класс «Материал изделия»	Single	-
для оборудования	Class	Содержит описание технологического оборудования, для которого актуальна рекомендация по улучшению ТКИ	Разрешенный родитель – класс «Технологическое оборудование»	Single	-
для технологического метода	Class	Содержит описание технологического метода получения детали, для которого актуальна рекомендация по улучшению технологичности конструкции детали	Разрешенный родитель – класс «Технологический метод получения деталей»	Single	-
влияние на этапы ЖЦИ	Class	Сфера проявления эффекта при выполнении рекомендации по улучшению ТКИ	Разрешенный родитель – класс «Этапы жизненного цикла промышленного изделия»	Multiply (множество значений)	-

Продолжение таблицы 1					
1	2	3	4	5	6
для КТЭ	Instance (экземпляр)	Описание конструктивно-технологического элемента (КТЭ), для которого применяется рекомендация по улучшению ТКИ	Разрешенные классы – класс «Конструктивно технологический элемент»	Single	-
из источника	Instance	Содержит описание источника, откуда взята рекомендация по улучшению ТКИ	Разрешенные классы – класс «Источник рекомендации по улучшению ТКИ»	Multiply	-
текст рекомендации	String (строка символов)	Содержит текст рекомендации, направленной на улучшение ТКИ	Ввод вручную	Single	-
актуальность	Boolean (логическое значение)	Указывает на актуальность применения рекомендации для условий конкретного производства	Ввод (выбор) вручную	Single	True (Правда)

Результаты тестовых запросов позволили сделать вывод о правильности реализации онтологии.

Был предложен комплекс организационных мероприятий по внедрению разработанной онтологии. К настоящему моменту результаты проекта в виде программного и методического обеспечения переданы в областной центр новых информационных технологий БГТУ. Вместе с тем, активно ведутся работы по наполнению и развитию созданной онтологии предметной области «Обеспечение технологичности конструкций изделий в САПР».

ЛИТЕРАТУРА

1. Амиров, Ю.Д. Технологичность конструкции изделия: Справ. / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др.; под общ. ред. Ю.Д. Амирова.-2-е изд., перераб. и доп.-М.:Машиностроение, 1990.-768 с.
2. Шкаберин, В.А. Математическое моделирование процедур автоматизированного обеспечения технологичности конструкций деталей в условиях применения интегрированных САПР (CAD/CAM-систем) /В.И. Аверченков, В.А. Шкаберин. Вестник Брянского государственного технического университета: научно-технический журнал, 2004.-С.82-90.
3. Шкаберин, В.А. Математическое моделирование и автоматизация процедур обеспечения технологичности конструкций деталей в условиях применения интегрированных САПР / В.А. Шкаберин. Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: информационные системы и технологии». – 2008. - № 1-3/269(544).- С.297-302.
4. Шкаберин, В.А. Применение онтологического подхода для реализации системы интеллектуального поиска в области CALS-, CAD-, CAM-, CAE-технологий /В.А. Шкаберин, А.А. Мартыненко. Вестник Брянского государственного технического университета: научно-технический журнал, №2 (18) 2008.- С.103-110.

Шкаберин Виталий Александрович

Брянский государственный технический университет, г. Брянск

Кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Брянского областного центра новых информационных технологий, доцент кафедры «Компьютерные технологии и системы»

Тел.: +7(4832)56-49-90

E-mail: vash@tu-bryansk.ru

УДК 621.787.4

В.А. ГОЛЕНКОВ, С.Ю. РАДЧЕНКО, О.В. ДОРОФЕЕВ, Д.О. ДОРОХОВ

СОЗДАНИЕ ГРАДИЕНТНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ МЕТОДА ВАЛКОВОЙ ШТАМПОВКИ

Рассмотрены вопросы формирования градиентных структур сочетанием поверхностного пластического деформирования и интенсивной пластической деформацией. Проанализировано изменение механических характеристик по сечению изделия. В качестве примера рассмотрена технология создания градиентных структур способом упрочняющей валковой штамповки.

Ключевые слова: валковая штамповка, градиентные структуры, механические свойства, упрочнение, микротвердость, величина зерна.

Process of formed gradient structures as combination of superficially plastic deformation and intensive plastic deformation has been considerate in this work. There have been analyzed changes of mechanical characters over article profile. As example will be considered technology increase oft structure by the method of hardening rolls stamping.

Key words: roll stamping, gradient structures, stress-strain properties, hardening, microhardness, quantity grain.

Задача формирования высоких эксплуатационных свойств деталей машин – одна из актуальных проблем современного машиностроения. Одним из методов повышения ресурса работоспособности узлов и деталей является поверхностное пластическое деформирование (ППД). Упрочнение ППД позволяет создавать поверхностные слои с высокой твердостью и усталостной прочностью. Основными величинами, характеризующими различные способы ППД являются [1]: степень наклепа ΔH_{μ} и градиент наклепа $\Delta H_{\mu h}$, которые определяются как:

$$\Delta H_{\mu} = \frac{H_{\mu} - H_{\mu 0}}{H_{\mu 0}} 100, \quad (1)$$

$$\Delta H_{\mu h} = \frac{H_{\mu} - H_{\mu 0}}{h_{\mu}} 100, \quad (2)$$

где H_{μ} - микротвердость металла после упрочнения, $H_{\mu 0}$ - исходная микротвердость; h_{μ} - глубина упрочнения.

Сравнительная характеристика различных методов упрочняющего поверхностного пластического деформирования (ППД) представлена на рисунке 1. Типичными характеристиками различных методов ППД являются различные кривые: $H_{\mu} - h_{\mu}$, $\Delta H_{\mu} - h_{\mu}$, $\Delta H_{\mu h} - h_{\mu}$. В то же время микротвердость является структурно зависимой характеристикой (например, от величины и степени разориентировки зерен). Величины зерна и угловые границы зерен можно измерить по сечению изделия. Известно, что механические характеристики, в том числе и микротвердость в металлах, тем выше, чем меньше размеры зерен и больше величина степени их разориентировки [2]. При обработке методами ППД кривые изменения величины зерна на глубину проработки h_{μ} могут носить различный характер, при этом наилучшим вариантом является кривая без перегибов. При этом по аналогии с (2) можно рассчитать градиент изменения величины зерна ΔD :

$$\Delta D = \frac{d_{3\max} - d_{3\min}}{h_{\mu}} 100, \quad (3)$$

d_{3min} , d_{3max} – минимальный и максимальный (соответствующий состоянию до обработки) средний размер зерен.

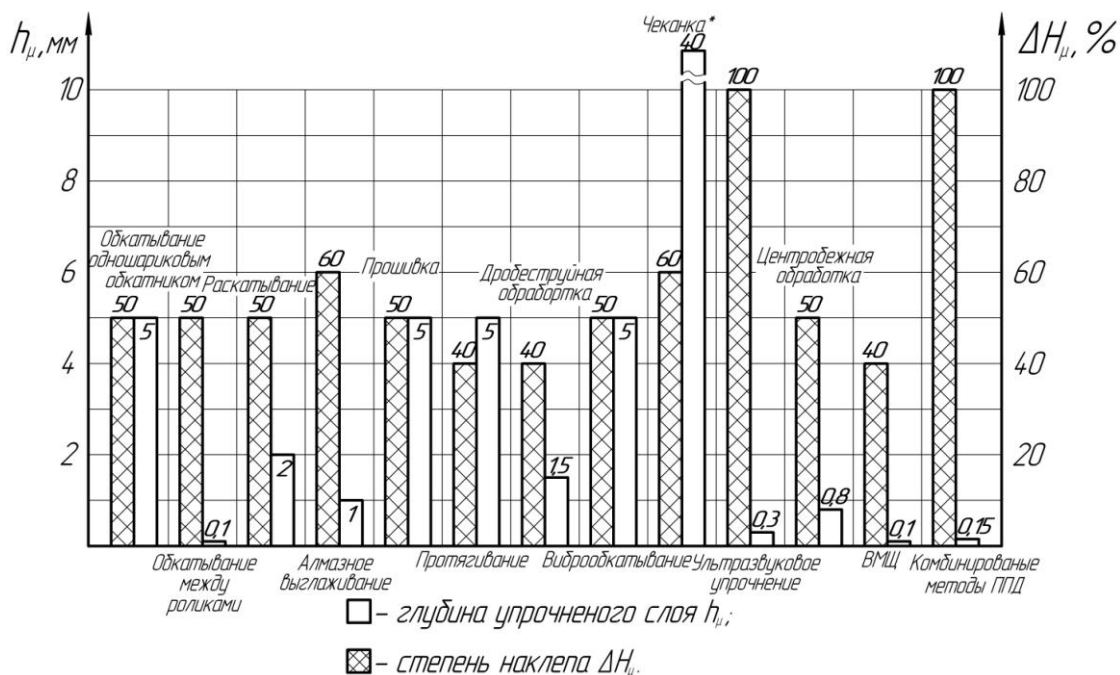


Рисунок 1 – Сравнительная характеристика методов ППД
 * данные для чеканки приведены по [3]

Недостатки методов ППД очевидны – небольшая глубина наклепа, наличие границы (иногда резко выраженной) перехода от упрочненного слоя к исходному, высокая вероятность перенаклепа. Данные недостатки – следствие малости шарового тензора деформаций, т.к. обработка осуществляется по схемам, далеким от схемы всестороннего сжатия. Подобных недостатков лишены методы интенсивной пластической деформации (ИПД) [2].

В то же время ИПД направлена на создание объемных наноструктурированных материалов (средняя величина зерен постоянна по всему сечению $d_3 = \text{const}$), что не всегда практически оправдано и целесообразно. Для машиностроения в основном необходимы материалы с высокими эксплуатационными характеристиками рабочих поверхностей и высокой нагрузочной способностью всей детали в целом. Таким образом, для решения практических задач перспективным является направление, соединяющие в себе ППД и ИПД.

Известен метод упрочнения, сочетающий объемную ориентированную деформацию с поверхностным наклепом (наклеп в напряженном состоянии) [4], который является одним из наиболее эффективных методов повышения усталостной прочности. Например, предел выносливости пружин из проволоки при этом методе упрочнения увеличивается в 2 раза. При этом объемная деформация характеризуется напряжениями, не превышающими предела текучести, и направлена таким образом, что поверхность, подвергаемая упрочнению, является растянутой. Упругий изгиб производится в ту же сторону, в которую рессора или пружина будет деформироваться при эксплуатации. Такой метод упрочнения повышает долговечность рессор в 20 раз, увеличивает остаточные напряжения сжатия на 30% в сравнении с обычным наклепом дробью, и упругие свойства сохраняются на исходном уровне [4]. Данный способ упрочнения деталей не нашел широкого применения, поскольку ограничивается упрочнением деталей, работающих упруго (рессор, пружин), а наиболее эффективным способом упрочнения проволоки, используемой для их изготовления, являются химико-термические методы.

Другим методом является упрочняющая валковая штамповка (ВШ) (рисунок 2) [5,6].

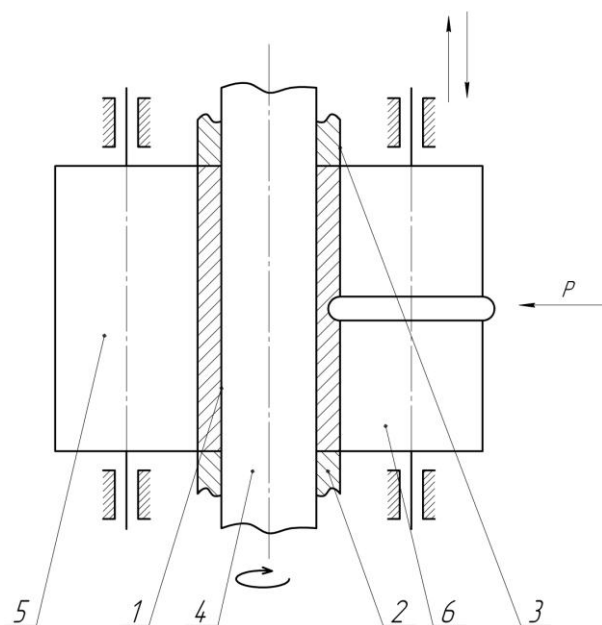


Рисунок 2 – Схема способа упрочняющей ВШ: 1 – заготовка, 2 – упор, 3 – прижим, 4 – оправка, 5,6 – ролики

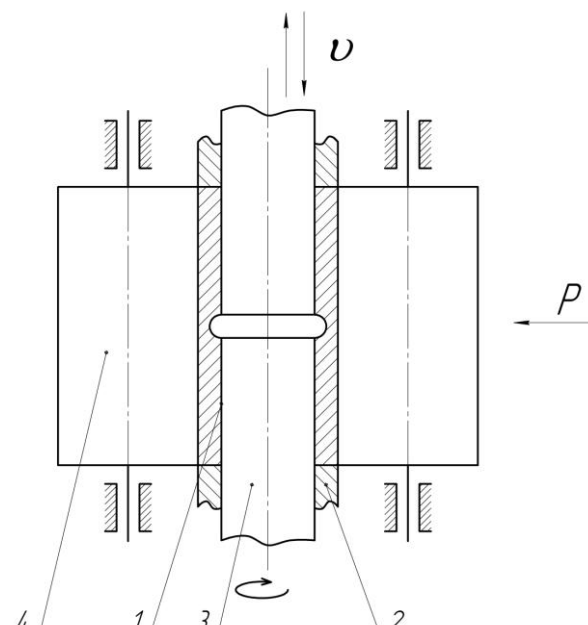


Рисунок 3 – Схема упрочняющего дорнования при ВШ: 1 – заготовка; 2 – упоры; 3 – дорн (пуансон); 4 – валковая матрица

Способ реализуется следующим образом: заготовку 1 устанавливают на оправку 4 и фиксируют между упором 2 и прижимом 3, сообщая при этом осевое сжатие. Затем подводят ролики 5 и 6, один или более из которых имеет кольцевой деформирующий выступ, после чего заготовке сообщают крутящий момент. Наружную поверхность формируют многократным возвратно-поступательным осевым перемещением роликов, имеющих кольцевые выступы, после чего ролики разводят, отводят прижим и извлекают оправку и готовое изделие [5,6]. Таким образом, обработка происходит по схеме квазигидростатического сжатия - обеспечивается роликовой матрицей и поджатием упоров. Деформирование (девиаторная часть тензора деформаций) – происходит за счет ролика, при этом деформация локальна (кольцевой выступ на ролике) и комплексна (вращательное и возвратно-поступательное движение ролика). Аналогично упрочнение может идти от внутренней поверхности (см. рисунок 3) [5,7]

В ходе упрочняющей ВШ весь объем металла находится в напряженном состоянии, следовательно, все зерна металла подвергаются фрагментации различной степени. По аналогии с рисунком 2 рассмотрим изменение величины зерна по сечению заготовки при упрочняющей ВШ.

Уравнение (3) запишется как:

$$\Delta D = \frac{d_{3\max} - d_{3\min}}{t} 100 ,$$

(4)а градиент наклепа

$$\Delta H_{\mu t} = \frac{H_{\mu} - H_{\mu t}}{t} 100 , \quad (5)$$

где H_{μ} - микротвердость металла на поверхности, от которой производилось упрочнение, $H_{\mu t}$ - микротвердость на противоположной поверхности; t – толщина втулки.

Вид кривой изменения величины зерна зависит от геометрических факторов: размеров изделия и роликов, геометрии кольцевого выступа, и от технологических: частоты вращения, скорости возвратно-поступательного перемещения. Изменяя эти характеристики, можно добиться любого вида кривой $t-d_3$ по заранее заданной программе.

Методы измерения величины зерна и степени их разориентировки весьма трудоемки и дорогостоящи. Аппаратура, измеряющая микротвердость, более проста и доступна, поэтому

для решения инженерных задач более подходяще построение зависимостей типа $H_{\mu} - h_{\mu}$, чем $d_3 - t$. В то же время величины H_{μ} и d_3 можно связать: по отношениям, связывающим твердость с интенсивностью напряжений [8], условию Губера-Мизеса и соотношению Холла-Петча. Для технологий, представляющих сочетание ИПД и ППД, большой интерес представляет не распределение наклепа, его степени или градиента по сечению изделия, а изменение характеристик упрочнения в зависимости от отношения расстояния до внешних поверхностей изделия к общей толщине изделия (рисунок 4).

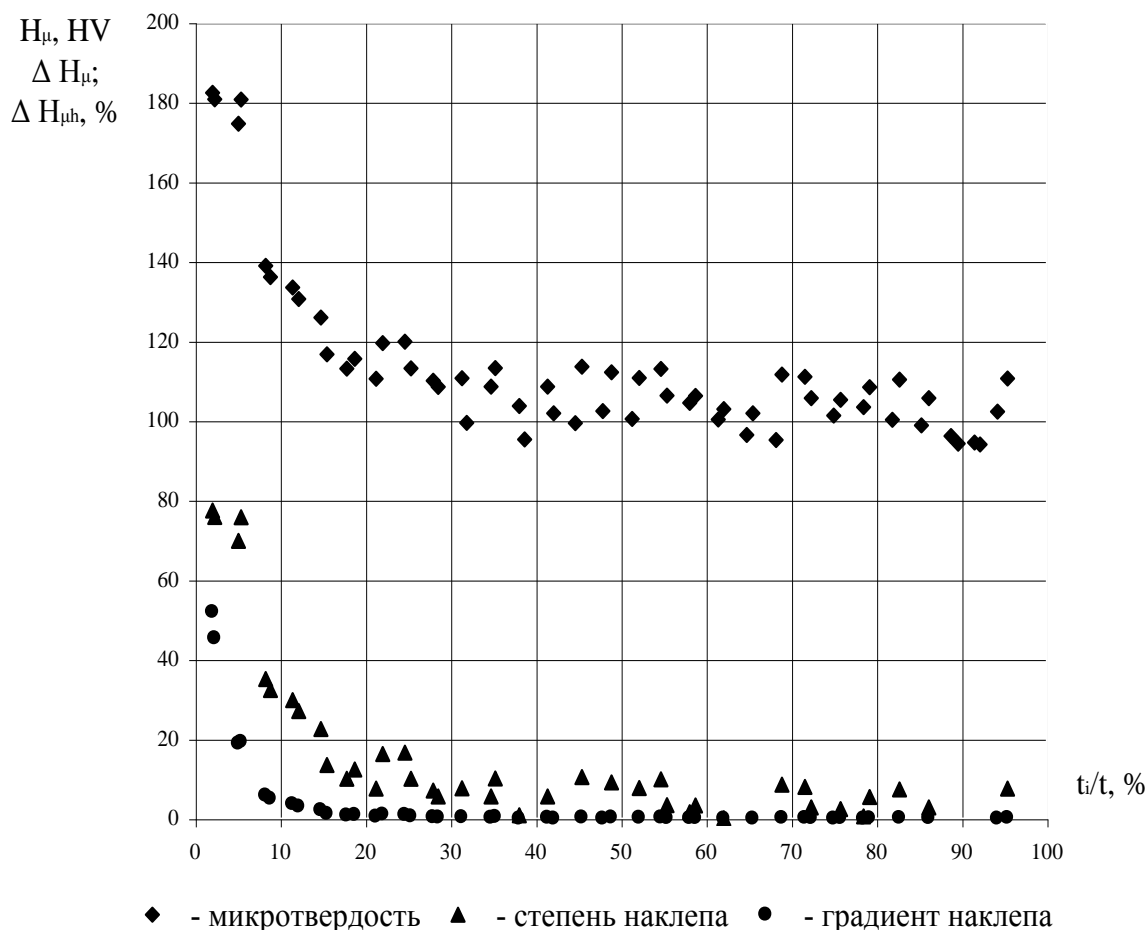


Рисунок 4 – Распределение значений параметров микротвердости в зависимости от t_i/t , для втулки из сплава $BrO5Ц5C5$ $H_{\mu 0} = 102,8HV$ обработанной по способу [6] с числом проходов 18, $\phi_{нар.} 45мм$, $\phi_{внут.} 30мм$. t_i – расстояние i -той точки до внешней поверхности.

Технология упрочняющей ВШ, сочетающая в себе ИПД и ППД – перспективный способ упрочнения изделий. При упрочняющей ВШ возможно создание градиентных структур по заранее заданной программе. Выгодным отличием данного способа от ППД и ИПД является получение высокой степени градиента структуры и измельчение зерен до наноразмеров при малых потребных усилиях деформирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киричек, А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. – М.: Машиностроение, 2004 – 288с.
2. Бейгельзимер, Я. Е. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации / Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков. – Донецк: Фирма ТЕАН, 2003. - 87с.
3. Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием :: справочник / Л. Г. Одинцов. М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
4. Мэтсон, Р. Л. Усталость, остаточные напряжения и упрочнение поверхностного слоя наклепом / Р. Л.

Мэтсон – в сб.: Усталость металлов. – М.: Изд-во ИЛ, 1961.

5. Голенков, В.А. Разработка конструкции экспериментальной установки для получения изделий с градиентными субмикро – и наноструктурными состояниями вещества на основе валковой штамповки /В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // Известия ОрелГТУ. Серия: «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» – 2008-2/270(545). С.53-55.

6. Патент РФ по заявке № 2007110990 от 26.03.07, решение о выдаче патента от 27.06.08. Способ получения металлических втулок / Голенков В.А., Малинин В.Г., Радченко С.Ю., Короткий Г.П., Дорохов Д.О.

7. Пат. 2320433 RU, МКИ 4 В21D 51/02 С21D 7/04 С22F 1/00 В82В 3/00 Способ получения металлических втулок с субмикро- и нанокристаллическим состоянием материала / Голенков В.А., Малинин В.Г., Радченко С.Ю., Короткий Г.П., Малинин В.В. (РФ). – № 2006121277/02; Заявлено 15.06.2006; Опубл. 27.03.2008; Бюл. №9. – 2 с.: ил.

8. Дель Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости / Г.Д. Дель. М.: Машиностроение, 1971. -200с.

Голенков Вячеслав Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, ректор, профессор

Г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел. (4862) 420024,

E-mail: admin@ostu.ru

Радченко Сергей Юрьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, проректор, профессор

Г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел. (4862) 437125

E-mail: sur@ostu.ru

Дорофеев Олег Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, зав. кафедрой «Автопласт», доцент

Г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел. (4862) 773569

E-mail: da shy@inbox.ru

Дорохов Даниил Олегович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Автопласт»

Г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел. (48646) 25689

E-mail: olorin84@mail.ru

Ю.С. КОРНЕЕВ, В.А. ГОРДОН, Е.Н. КОРНЕЕВА,
Б.Г. КОБЦЕВ, Т.Ю. КОРНЕЕВА

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПУСКОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

В работе рассматриваются конструкции пускозащитных устройств технологических машин, их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: *дробемуфта, центробежная муфта, машинный агрегат, гидромуфта, фрикционная муфта.*

Article is devoted to constructions of protectional devices of technological machines, to their merits and demerits.

Key words: *coupling, centrifugal coupling, machine set, hydro coupling, frictional coupling.*

К приводам машин предъявляются весьма высокие технические требования. Для их выполнения необходима оптимизация характерных приводов машин, которая немыслима без разработки инженерных методов анализа и синтеза рассматриваемых систем.

Технические требования, предъявляемые к приводам, весьма многообразны [1]:

Они должны:

1. Надежно работать в заданных условиях.
2. Обеспечивать заданную грузоподъемность и заданную производительность машины.
3. Выдерживать заданную плавность движения.
4. Обеспечивать требуемую лёгкость хода.

Поэтому муфты, представляющие собой главную составную часть привода машин, являются ответственными узлами, часто определяющими надежность и долговечность всей машины.

Большинство маломощных машин приводятся от короткозамкнутых асинхронных электродвигателей. Это объясняется высокой надёжностью и простотой таких двигателей. Однако асинхронные двигатели имеют существенные недостатки, среди которых следует отметить:

- значительное увеличение реактивной мощности при увеличении скольжения в роторе;
- наличие ветви неустойчивой характеристики, обуславливающей сравнительно малый пусковой момент.

В мощных приводах используются электродвигатели с фазными кольцами на роторе, позволяющими включать в его цепь активное или индуктивное регулирующее сопротивление. Но эти приводы обладают тем недостатком, что они сложны и дороги.

Для устранения недостатков, присущих приводу с непосредственным соединением асинхронного двигателя с рабочей машиной широко применяются приводы, в которых полезная мощность с электродвигателя на рабочую машину передается через муфты.

Разнообразие задач, решаемых с помощью муфт, и требований, предъявляемых к ним в соответствии с условиями эксплуатации машин и агрегатов, привело к использованию в машиностроении большого количества конструкций муфт различных видов.

Одной из разновидностей фрикционных муфт являются пневматические муфты [2,15,16]. Они подразделяются на шинно-пневматические (пневмокамера, которых участвует в передаче крутящего момента) и пневмокамерные (пневмокамера, которых не участвует в передаче крутящего момента).

Схема радиальной шинно-пневматической муфты показана на рисунке 1.

Между ведущей 1 и ведомой 2 полумуфтами помещается резинокордный баллон 4, прикрепленный к полумуфте 1. На внутренней поверхности баллон несет фрикционные накладки 3. При поступлении сжатого воздуха через штуцер 5 в камеру баллона последний расширяется, и колодки прижимаются к полумуфте 2 с силой, обеспечивающей передачу заданного крутящего момента.

Осевые шинно-пневматические муфты (рисунок 2) не подвержены заметному действию центробежных сил. Баллон 1 при подаче воздуха прижимает диск 4 к диску 5. Заключенные между ними фрикционные диски 3 обеспечивают передачу крутящего момента. Отключение муфты происходит с помощью пружин 2 после стравливания воздуха из баллона.

Пневматические муфты [2,15,16] нашли широкое применение в буровых и судовых установках, экскаваторах, землеройных машинах, в кузнечно-прессовом оборудовании, конвейерах и т.д. Они позволяют регулировать величину передаваемого крутящего момента путем изменения давления воздуха в баллоне, допускают местное и дистанционное плавное включение и выключение, компенсируют значительные смещения валов. Шинно-пневматические муфты обладают высокими упругими и демпфирующими свойствами, сохраняют работоспособность при температурах от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$, обеспечивают высокую надежность и долговечность системы. Без каких-либо существенных изменений конструкции эти муфты могут быть использованы в качестве тормозов, а также в качестве ограничителей перегрузок. Однако пневматические муфты обладают серьезными недостатками:

- потребность в сжатом воздухе, сложность подвода его к рабочим органам муфты и обеспечение герметичности трубопровода;
- необходимость иметь специальное устройство в виде поршней и цилиндров;
- снижение крутящего момента при попадании на поверхность трения смазочных материалов;
- влияние тепла, выделяемого во время работы на резину пневмокамеры, что ускоряет процесс старения резины;
- влияние частоты и величины механических деформаций на процесс старения резины.

В зарубежной и отечественной литературе [5,6] указывается на применение для запуска машин муфт с металлической дробью или металлическим порошком в качестве рабочего тела. Дробемуфта (рисунок 3) представляет собой конструкцию, в которой от ведущей полумуфты 1 к ведомой полумуфте 2 передается с помощью диска 3, помещенного в кожух 6, заполненный металлической дробью диаметром 0,56-0,81 мм. Для того чтобы рабочая полость муфты не загрязнялась пылью от износа дроби, в корпусе муфты выполнены канавки, образующие кольцевую полость 4, отгороженную от полости 7 несколькими слоями металлической сетки 5. Диаметр отверстий в сетке около 0,32 мм. Поэтому сквозь сетку проходят только мелкие частицы и пыль. После завершения разгона муфта работает без скольжения и является эффективным средством предохранения от перегрузок. Однако исследования [17] выявили нестабильность характеристик дробемуфт, а

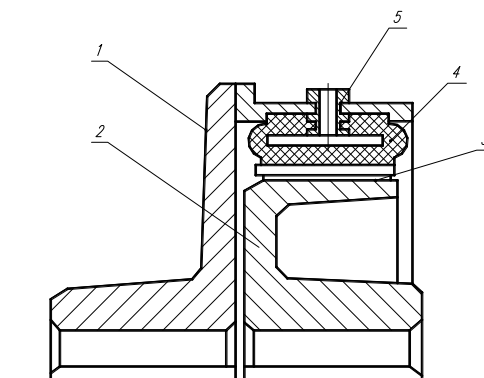


Рисунок 1 – Схема радиальной шинно-пневматической муфты

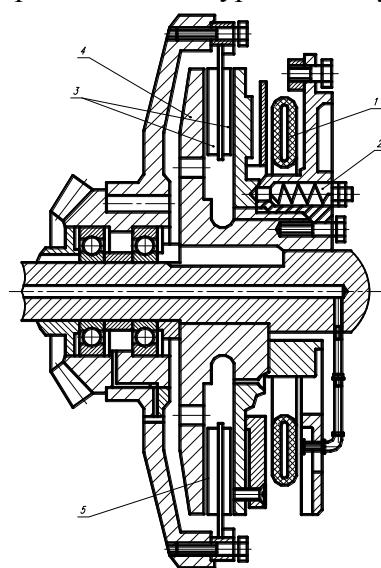


Рисунок 2 – Схема осевой шинно-пневматической муфты

также недостаточное снижение динамических нагрузок. Поэтому дробемуфты не являются эффективным средством улучшения работы машины при пуске.

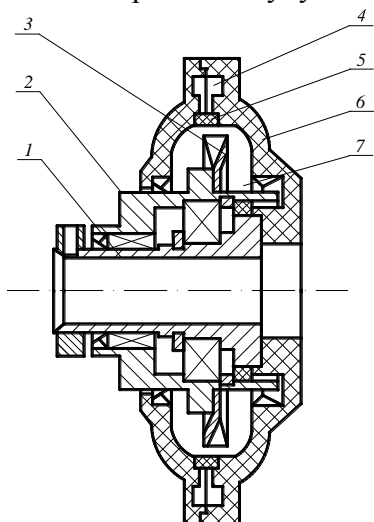


Рисунок 3 – Схема дробемуфты

При создании многих машин различного назначения возникает необходимость передавать крутящий момент от двигателя к исполнительному механизму. Эффективным способом передачи момента является установка в привод агрегата гидродинамических муфт с определенными свойствами. Благодаря гидромуфте можно, например, с помощью асинхронного короткозамкнутого электродвигателя небольшой мощности легко разогнать тяжелую центрифугу, экстрактор или другой инерционный агрегат. На рисунке 4 предлагается конструкция гидравлической муфты трения, обеспечивающей передачу момента с одного вала на другой за счет жидкостного трения между двумя полумуфтами 2 и 3. Полумуфта 2 закреплена на ведущем валу 1 с фланцем 6. Ведомая полумуфта 3 соединена с выходным фланцем 4. Рабочая жидкость 5 залита в зазор между коническими поверхностями полумуфт 2 и 3. На рисунке муфта показана в рабочем вертикальном положении при неподвижно ведущем валу 1. Когда вал 1 начинает вращаться, под действием сил трения приходит во вращение и полумуфта 3. При этом под действием сил жидкость 5 поднимается вверх по зазору и частично выходит в канавку 7 до положения равновесия, когда давление, возникает под действием центробежных сил, сравняется с давлением столба жидкости. Таким образом, в момент трогания с места муфта, работая полной поверхностью, развивает максимальный момент, а затем по мере разгона передаваемый момент снижается.

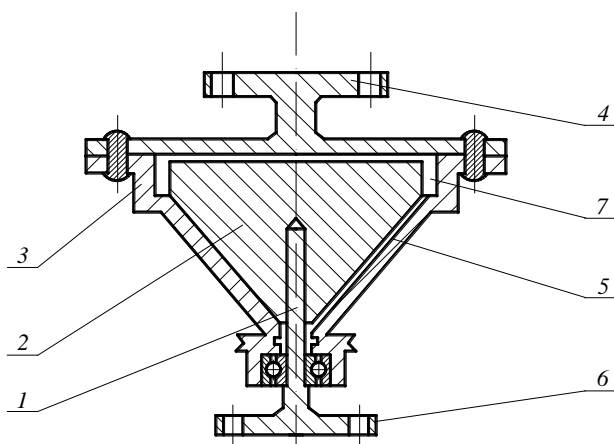


Рисунок 4 – Схема гидравлической муфты трения

На рисунке 5 а, б показаны конструкция и характеристика разгона полумуфт гидромуфты со статическим самоопораживанием [6]. Такие муфты используются для ограничения передаваемого момента. С уменьшением количества жидкости уменьшается передаваемый гидромуфтой момент. Поэтому в муфтах со статическим самоопораживанием сконструировали за турбинным колесом дополнительную камеру, куда переливается жидкость благодаря разности гидростатических напоров при увеличении скольжения.

Все конструкции существующих гидромуфт позволяют осуществлять плавный разгон агрегата и уменьшать длительность разгона электродвигателя. Недостатком распространенных в настоящее время гидромуфт являются потери энергии в них за счет проскальзывания [4], причем эти потери достигают 8 – 10 процентов. При большом моменте инерции и недостаточном отводе тепла [18] жидкость внутри гидромуфты может закипеть, что приведет к недопустимому повышению давления в рабочей полости, возрастанию осевых сил, повреждению уплотнений и выбрасыванию горячей жидкости наружу. Поэтому необходимо устройство внешней системы охлаждения (обдув вентиляторами), а также тепловая защита.

Эксплуатация гидромуфт показывает, что они сложны в изготовлении, требуют тщательного монтажа и ухода, точности сборки, в противном случае уплотнения быстро выходят из строя, возникают значительные утечки масла и его быстрое старение.

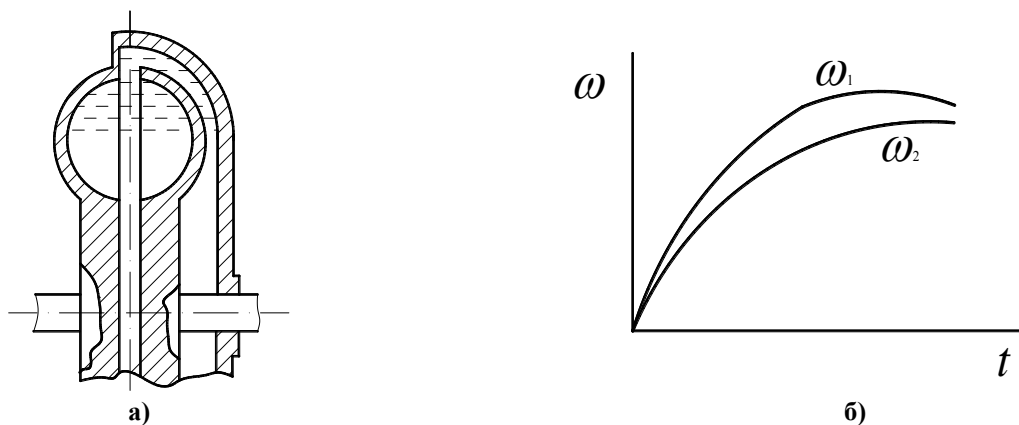


Рисунок 5 – Конструкция а) и характеристика разгона б) полумуфт гидромуфты со статическим самоопоразживанием

Это вызывает нарушение характеристик гидромуфт и их неудовлетворительную работу. Однако данные муфты нашли широкое применение в различных отраслях промышленности: автомобилестроении (трансмиссии); тепловозостроении (трансмиссии, компрессоры); подъемно-транспортном, строительном и дорожном машиностроении (подъемники и муфты, ленточные и цепные транспортеры, мешалки, дробилки и т. д.); металлургической промышленности (вспомогательное оборудование прокатных и литейных цехов) и т.д.

Для облегчения условий разгона машин двигателями с малыми пусковыми моментами (асинхронными электродвигателями, двигателями внутреннего сгорания, ветродвигателями) и получения плавной характеристики пускового режима широко применяются самоуправляющиеся центробежные муфты [3,15,16]. Конструктивно центробежные муфты представляют собой сцепные фрикционные муфты осевого или радиального действия (дисковые, колодочные и др.), автоматически управляющиеся центробежными силами и пружинами. Как и все сцепные муфты, они могут быть нормально-разомкнутыми или нормально-замкнутыми. В нормально-разомкнутых схемах рабочие элементы разжаты усилием пружин и замыкаются за счет центробежных сил, действующих на грузы, колодки и т.п., а в нормально-замкнутых – наоборот. При наличии нормально-замкнутой муфты двигатель набирает обороты на холостом ходу и лишь после достижения определенной скорости постепенно (с проскальзыванием) нагружается внешней нагрузкой. Нормально-замкнутые центробежные муфты служат в качестве ограничителей скорости и предохранителей от разноса вращающихся масс. Возможность снижения величины момента, передаваемого муфтой при малых оборотах, ограничение максимального момента при номинальном режиме, простота и высокая надежность конструкции обусловили их широкое применение. Основным недостатком таких муфт является неполное разъединение фрикционных поверхностей в период пуска, что приводит к потере энергии и излишнему износу. С целью ослабления недостатков в конструкцию вводят пружину, противодействующую центробежным силам. В этом случае, в конечном счете, величина передаваемого момента определяется разностью центробежной силы и силы натяжения пружины.

Существует много конструктивных разновидностей центробежных муфт с замедляющими упругими элементами. Общим достоинством таких муфт является простота устройства, высокая надежность, осуществление начала разгона двигателя без нагрузки, что позволяет снизить время разгона электродвигателей.

В США предложена центробежная фрикционная пусковая муфта с плавным включением [8], которая изображена на рисунке 6,а.

На рисунке 6,б предложена другая конструкция центробежной муфты [9], обеспечивающей быстрое соединение ведомого и ведущего элементов при достижении определенной угловой скорости.

С ведущим валом 1 соединена втулка 2 с радиальными ребрами 3,4 и 5, ведущими колодками 6. В зазорах между ребрами 3 и 4 установлены клинья 7 и 8, прижимаемые к втулке пружинами сжатия 9 и 10, причем пружина 9 имеет меньшую жесткость. При достижении ведущим валом 1 определенной скорости колодки 6 расходятся, растягивая пружины 11, и прижимаются к ведомому барабану 12. В первый момент ведущим является только ребро 3, и прилегание колодки 6 к барабану является неполным, а, следовательно, передается лишь часть крутящего момента. При дальнейшем повышении скорости вала 1 клинья 7 и 8 последовательно выходят из зазора, сжимая свои пружины. При этом колодка 6, ведомая сначала ребрами 4, а затем 5, поворачивается, соприкасаясь с барабаном 12 по всей дуге контакта. Передаваемый момент возрастает.

Ведущей частью муфты является ротор, закрепленный на валу 1. Ротор включает ступицу 2, на которой свободно вращается ведомый шкив 3 клиноременной передачи. На ступице 2 на шлицах 4 установлены одинаковые детали, имеющие четыре выступа 5,6,7 и 8.

Между выступами подвижно в радиальном направлении установлены четыре пластины 9, к которым приклепано по две колодки 10. Браслетная пружина 11 стягивает колодки.

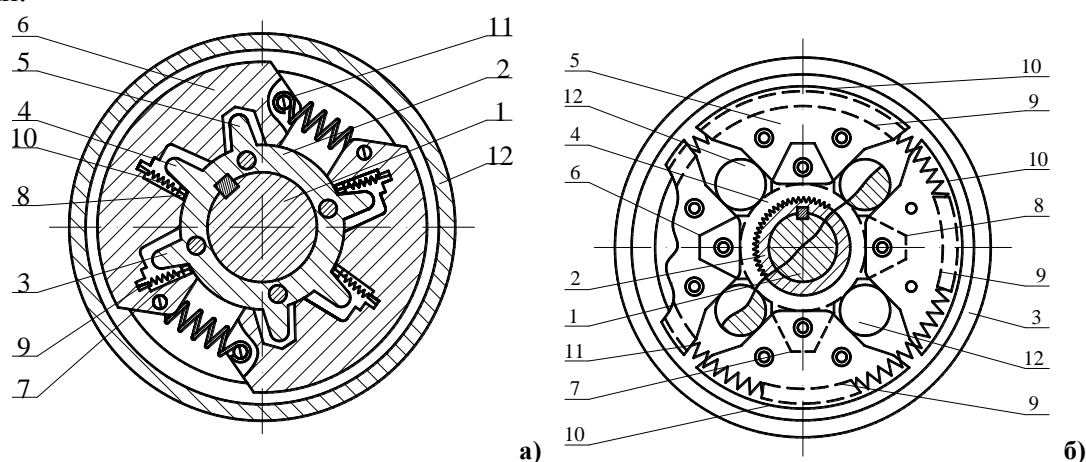


Рисунок 6 – Центробежная фрикционная (а) и центробежная (б) муфты

Между колодками образованы полости, в которые вложены цилиндрические грузы 12. Радиальные перемещения грузов 12 ограничены скосами колодок 10. При малой угловой скорости центробежные силы инерции, действующие на колодки 10, пластины 9 и грузы 12, не могут преодолеть упругой силы пружины 11. Увеличение угловой скорости приводит к возрастанию сил инерции до таких значений, при которых эти силы инерции становятся больше силы сжатия пружины 11, колодки смещаются в радиальных направлениях, прижимаясь к внутренней поверхности шкива 3. При снижении скорости браслетная пружина 11 возвращает колодки 10 и грузы 12 в исходное положение. Эта угловая скорость ниже, чем скорость включения муфты. Быстрое включение муфты при большой скорости и выключение при малой позволяет значительно снизить износ рабочих фрикционных поверхностей колодок и ведомого барабана.

Недостатком муфт, изображенных на рисунках 6,а и 6, б является то, что они имеют большую массу ведущих колодок, в результате чего разгон электродвигателя происходит с возрастающей нагрузкой, а процесс пуска несколько замедляется, потребление электроэнергии увеличивается.

Известна также конструкция центробежной муфты [10], в которой ведущая полумуфта выполнена в виде двух опорных дисков 1 (рисунке 7, а), помещенных внутри стакана 2 ведомой полумуфты, по периферии которых располагаются ролики 3 и 4, сжатые браслетной пружиной. Ролики охватываются упругой лентой 5, покрытой с наружной стороны фрикционным слоем. Крайний ролик группы неподвижно соединен с упругой лентой. При достижении заданной скорости ролики 3 и 4 под действием центробежных сил, воздействуя на упругую ленту 5, распирают ее, создавая фрикционное соединение полумуфт.

На рисунке 7, б изображена конструкция предохранительной муфты [12], в которой полумуфты 1 и 2 соединены шариками 3, поджимаемыми справа штоком 4 с регулировочным винтом 5. Шарик 6 располагается между гайкой 7 и пакетом тарельчатых пружин 8, упираясь в скошенный паз на штоке 4. При перегрузке шарик 6 осевой силой выжимается скошенным пазом в радиальном направлении, освобождая шток 4. При этом шарик 3 смещается вдоль оси, вызывая расцепление полумуфт. Настройку муфты осуществляют гайкой 7. Эта муфта проста в изготовлении. Однако она отличается малой долговечностью при передаче больших нагрузок вследствие быстрого износа каналов в местах соприкосновения их с шариками, поэтому их следует применять лишь в легких приводах.

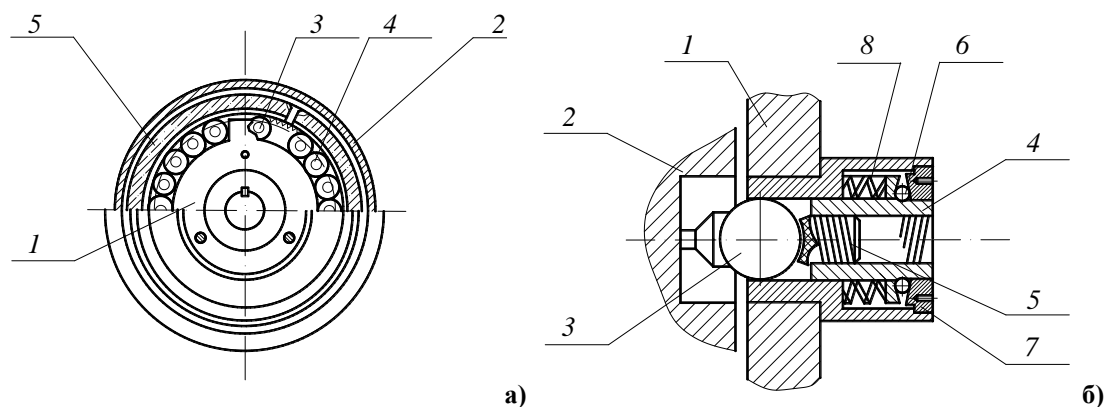


Рисунок 7 – Центробежная (а) и предохранительная (б) муфты

В Германии предложены центробежные муфты с гидравлическими замедлителями [7,13]. Муфта (рисунок 8,а) состоит из ведомого шкива 1 и ведущей полумуфты 7, в радиальных отверстиях которой помещаются колодки 5 с фрикционными накладками 4.

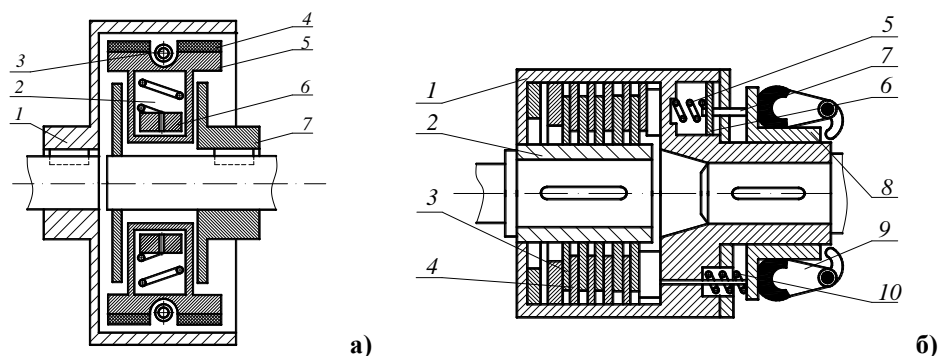


Рисунок 8 – Центробежные муфты с гидравлическими замедлителями

Во включенном положении, при не вращающейся муфте, колодки стягиваются к центру охватывающей их пружиной 3. Колодки имеют цилиндрическую часть, в которой могут перемещаться поршни 6. В цилиндр колодки заливается масло, которое при перемещении поршня перетекает через зазоры и калиброванные отверстия в поршне из одной полости цилиндра в другую. В начале пуска поршень и колодка удерживаются в исходном положении пружинами 2 и 3, и трения между накладками 4 и шкивом 1 не происходит. По мере возрастания угловой скорости поршень под действием центробежной силы начинает перемещаться от центра периферии, вытесняя масло. Включение муфты, т.е. фрикционное замыкание колодок с рабочей цилиндрической поверхностью ведомого шкива, произойдет тогда, когда центробежная сила увеличится настолько, что, преодолевая сопротивление пружины 3, раздвинет колодки.

В многодисковом варианте (рисунок 8, б) муфта состоит из ведущей части 1, ведомой части 2, ведущих 4 и ведомых 3 дисков, рычагов 9 с грузами, втулки 8, включающих стержней 11 с пружинами 10, поршня замедлителя 6 со штоком 7 и пружиной 5. В процессе разгона ведущей части муфты, рычаги 9 под действием центробежных сил, стремятся

повернуться и передвинуть втулку 8 в осевом направлении влево. При этом, втулка перемещает поршни гидравлического замедлителя. Таким образом, осуществляется плавное включение муфты. При остановке привода рычаги 9, втулка 8, стержни 11, поршни 6 приводятся в исходное положение под действием пружин 5 и 10.

Более совершенными являются муфты с гидравлическими устройствами [14]. Такая конструкция (рисунок 9) состоит из муфт 20 и 30, в которой полумуфта 21, соединенная с ведущим валом 11, является цилиндром для поршня 22 и через фрикционные диски 24 и 25, соединяется с полумуфтой 31, соединенной шлицами с ведомым валом 12 и являющейся цилиндром для поршня 32.

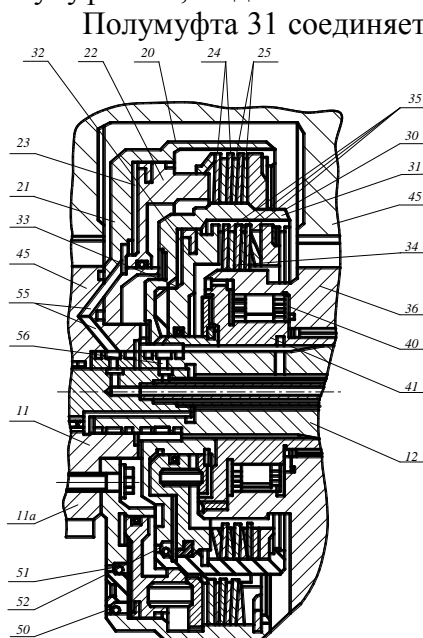


Рисунок 9 – Фрикционная муфта с гидравлическими устройствами

Полумуфта 31 соединяется фрикционными дисками 34 и 35 с полумуфтой 36, которая обгонной роликовой муфтой 40, соединена с втулкой 41, сидящей на валу 12 на шлицах, а с помощью зубчатого колеса 45 с двумя венцами и колеса 11а с ведущим валом. Управление муфтой осуществляется при помощи клапанов 50, 51 и 52. При не включенных муфтах валы 11 и 12 разъединены; благодаря зубчатым колесам полумуфта 36 вращается вместе с валом 11, но из-за обгонной муфты 40 вращение на вал 12 не передается. При подаче масла по каналу 56 в полость 33 клапан 52 закрывается, поршень 32, перемещаясь вправо, сжимает диски, соединяя полумуфты 31 и 36. В этом случае замедленное вращение передается с вала 11 через колеса 11а и 45 на полумуфту 36 и далее через полумуфту 31 на ведомый вал. Муфта 20 при этом отключена. При подаче масла по каналу 55 давление в полости 33 снижается, а в полости 23 – возрастает, клапаны 50, 51 закрываются, клапан 52 открывается, обеспечивая слив масла из в этом случае передается непосредственно через муфту 20.

Достоинством муфт с гидравлическими замедлителями является возможность осуществления регулируемой задержки включения муфты и плавности приложения крутящего момента, благодаря чему такие муфты нашли довольно широкое применение в общем машиностроении, в горной технике и т.п. Недостатком этих муфт является сложность конструкции, заключающаяся в наличии большого числа подвижных деталей и герметичных соединений, а также отсутствие возможности регулирования разгона ведомой части в зависимости от кинематических характеристик ведомой части.

В США известна конструкция автоматической центробежной муфты с рычагами [11]. Муфта (рисунок 10) позволяет быстро разъединять ведущий вал 1 с ведомым зубчатым колесом 2 при достижении предельной частоты вращения. Муфта регулируется гайкой 3, создающей предварительное натяжение тарельчатой пружины 4, прижимающей фрикционное кольцо 5 к поверхности 6. На пружину 4 действуют рычаги 7 и 8, прижимаемые пружиной 9. Ось пальца 10, соединяющего рычаги 7 и 8 расположена несколько ниже оси 11, соединяющей центры шарниров подвески рычагов 7 и 8.

При достижении предельной скорости вращения рычаги 7 и 8 под действием центробежных сил инерции стремятся разойтись, поворачиваясь на своих осях и преодолевая воздействие пружин 9 и 4. До тех пор, пока ось пальца 10 дойдет до оси 11 пружина 4 сжимается, а затем рычаги 7 и 8 быстро расходятся, выключая муфту. Для усиления воздействия сил инерции на пальцы 10 дополнительно надеты цилиндрические грузы 12. Четыре рычажных устройства муфты равномерно расположены вокруг втулки 13. Достоинством муфты является простота и надежность. Недостатком такой конструкции является то, что в неработающей муфте фрикционное кольцо 5 прижато к поверхности 6 и при включении муфты происходит рывок.

Таким образом, улучшение условий эксплуатации технологических машин может быть достигнуто установкой в их привод муфт новых конструкций, позволяющих снизить ускорения в системе, осуществить плавный пуск машины, и тем самым избежать больших динамических нагрузок.

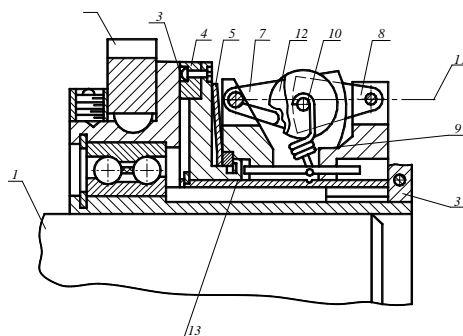


Рисунок 10 – Автоматическая центробежная муфта с рычагами

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреевко, С.Н. Проектирование приводов манипуляторов / С.Н. Андреевко, М.С. Ворошилов, Б.А. Петров. – Л.: Машиностроение, 1975 г.
2. Борисов, С.М. Пневмокамерные фрикционные муфты / С.М. Борисов. М.: Машиностроение, 1971 г.
3. Дмитриев, В.А. Детали машин / В.А. Дмитриев. Л.: Судостроение, 1970 г.
4. Котов, М.А. К вопросу о приводе мощных ленточных конвейеров / М.А. Котов. Известия Вузов. Горные машины и автоматика, №4, 1958 г.
5. Марголин, И.И. К расчету порошковых и дробемуфт для шахтных конвейеров / И.И. Марголин. Изв. Вузов. Горный журнал, №10, 1960 г.
6. Мотина, М.А. Центробежные порошковые и дробевые муфты в горной промышленности / М.А. Мотина. Вопросы рудничного транспорта, вып.2, 1957 г.
7. Патент Германии, №526613, 1927 г.
8. Патент США, №577336, 1976 г.
9. Патент США, №656378, 1977 г.
10. Патент США, №3948372, 1974 г.
11. Патент США, №713140, 1977 г.
12. Патент США, №3985213, 1974 г.
13. Патент ФРГ, №1717278, 1950 г.
14. Патент Японии, №47-51978, 1976 г.
15. Поляков, В.С. Муфты / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш. М.: Машиностроение, 1973 г.
16. Поляков, В.С. Справочник по муфтам / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш, О.А. Ряховский. Л.: Машиностроение, 1979 г.
17. Смирнов, В.И. Исследование различных режимов работы предохранительных дробемуфт / В.И. Смирнов. Изв. ДГИ, №22, 1965 г.
18. Яременко, О.В. Ограничивающие гидродинамические муфты / О.В. Яременко. М.: «Машиностроение», 1970 г.

Корнеев Юрий Степанович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-96

Гордон Владимир Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-48

Корнеева Елена Николаевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Высшая математика»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-48

Кобцев Борис Георгиевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-72

Корнеева Татьяна Юрьевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирантка кафедры «Экономика и менеджмент»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 45-41-35

УДК 629.7.04

В.Г. МАЛИНИН, О.П. МУЛЮКИН, А.А. МЫШЕЧКИН,
М.И. БОРЗЕНКОВ, О.Е. ЛАВРУСЬ, С.А. ФИНОГЕНОВ

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРУЖИННОЙ И БЕСПРУЖИННОЙ ПНЕВМОГИДРОАРМАТУРЫ В ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКЕ²

Систематизированы особенности классифицирования, конструктивного исполнения и недостатки пружинной пневмогидроарматуры, накладывающие ограничения на области ее использования в транспортной технике. На базе оригинальных и перспективных авторских разработок впервые разработана классификационная схема всех типов беспружинной пневмогидроарматуры, нацеленной на обеспечение рационального выбора ее конкретного вида.

Ключевые слова: беспружинная пневмогидроарматура, упругие элементы, мембрана, металлические, газовые и жидкостные пружины, колебания, ресурс.

Features classify, a design and the lacks of spring pneumohydroarmature imposing restrictions on areas of her use in transport technics are systematized. On the basis of original and perspective author's development the classification scheme of all types of the springless pneumohydroarmature aimed at maintenance of a rational choice of her concrete kind for the first time is developed.

Key words: sprinless pneumohydroarmature, elastic elements, membrane, metal, gas and liquid springs, fluctuation, resource.

Арматуростроение, так же как и другие отрасли промышленности, должно иметь тщательно разработанные, научно и методически обоснованные методы решения технических вопросов, связанных с проектированием и изготовлением пневмогидроарматуры (ПГА). И хотя конструктивные решения ПГА обычно не отличаются сложностью кинематических связей, тем не менее, при ее проектировании конструктору приходится учитывать многочисленные, сложные и разнообразные явления (вопросы гидравлики, трения, износа, эрозии, коррозии, прочности, в том числе динамической, влияние температуры и т.д.) [1].

Пневмогидроарматуру потребляют все отрасли промышленности, и, как правило, решающее значение на будущую надежность работы в эксплуатации проектируемой ПГА оказывает правильность выбора типа конструкции с учетом обоснованности приоритетности выше охарактеризованных явлений.

В настоящее время, по сведениям авторов, более 60% всех типов пневмогидроарматуры выполняется на базе пружинных задатчиков нагрузки, обеспечивающих компромиссное решение проблем достижения требуемых параметров герметизирующей способности и динамического качества клапанных уплотнений и других видов подвижных уплотнительных соединений (рисунок 1, термин «жидкостные» пружины введен условно: ввиду несжимаемости жидкости речь идет об эффекте изменения гидрожесткости при диссипации энергии среды, выдавливаемой через дросселирующие сечения) [2].

Конструктивные схемы распространенных в транспортной технике упругих элементов представлены на рисунке 2 [3].

Работа упругих элементов в агрегатах и системах транспортной техники заключается в накоплении энергии и ее последующей отдаче или в осуществлении требуемого постоянного нажатия. Для возможности накопления большого количества энергии на единицу массы целесообразно применять элементы с возможно более равномерным напряженным состоянием.

² Работа выполнена в рамках договора №1-06 от 27 апреля 2006г. о научно-техническом и педагогическом сотрудничестве Орловского государственного технического университета (ОрелГТУ) и Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС) на 2006-2010г.г.

Основное распространение в транспортной технике получили цилиндрические витые пружины растяжения и сжатия, конструирование и расчет которых не представляет каких-либо затруднений [4, 5].



Рисунок 1 – Классификационная схема типов упругих элементов

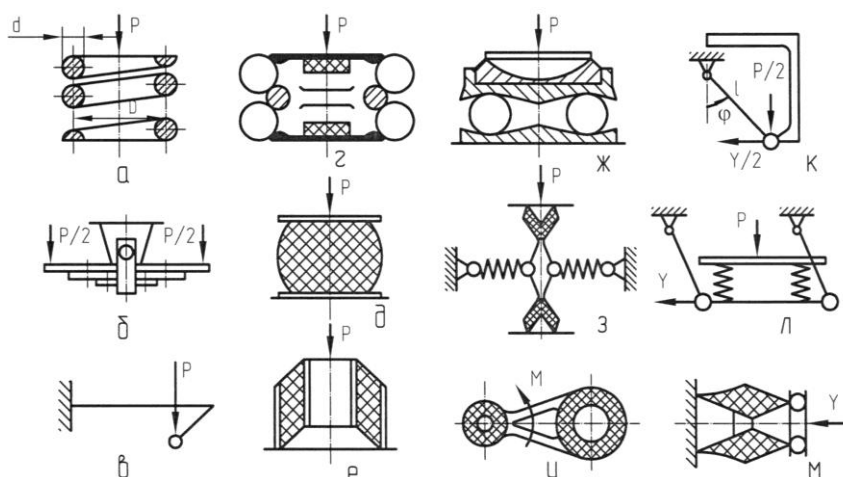


Рисунок 2 – Конструктивные схемы основных типов упругих элементов транспортных средств

- а – винтовая пружина; б – листовые рессоры; в – торсион;
 г – пневмобаллон; д, е, м – резиновые рессоры;
 ж – роликовое возвращающее устройство;
 з – качающаяся опора фирмы Альтом; и – кинематическая связь;
 к – маятниковое устройство; л – люлечное возвращающее устройство

Листовые рессоры (рисунок 3) для повышения гибкости составляют из листов разной длины, что приближает их к телам равного сопротивления изгибу.

Листовые рессоры применяют в основном для упругой подвески автомобилей, железнодорожного подвижного состава, а также используют в кузнечно-прессовых и других машинах. Для обеспечения плотного контакта между листами и некоторой разгрузки длинных листов (поломка которых более опасна, чем коротких) короткие листы выполняют с большей начальной кривизной, чем длинные.

При выборе упругих элементов из неметаллических материалов следует учитывать следующее. Высокомолекулярные материалы (резины, полимерные материалы типа вулкола-

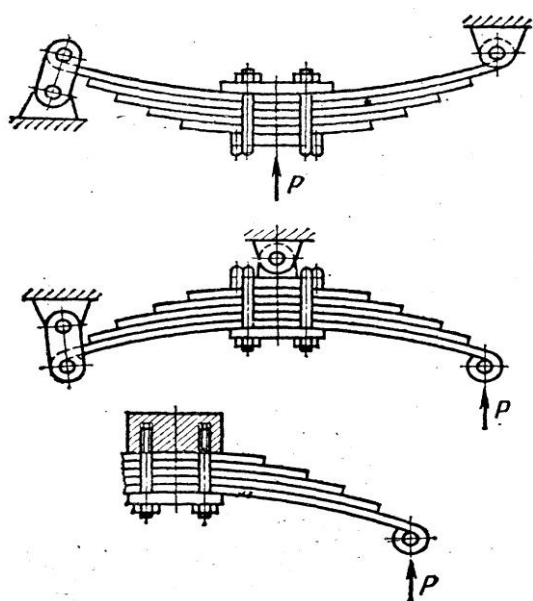


Рисунок 3 – Варианты конструктивного исполнения металлических рессор с равным сопротивлением изгибу

на) могут из-за малого модуля упругости аккумулировать большое количество энергии на единицу массы, чем закаленные пружинные стали. Упругие элементы из синтетических материалов получаются более простыми по форме, чем металлические, которые для получения значительных деформаций приходится составлять из нескольких листов (рессоры). В синтетических материалах упругие свойства удачно сочетаются с демпфирующими. Основной недостаток этих материалов – быстрое старение, сопровождающееся потерей упругости. Синтетические материалы используют для изготовления собственно упругих элементов и упругих баллонов пневматических рессор.

Нелинейность резиновых рессор (рисунок 2 д, е, м) проявляется при

изменении вида нагружения. Нелинейность в тележечной (колесной) ступени демпфирования обуславливает полигармоническое возмущение и вибрацию экипажа. Вместе с тем резиновые буксовые рессоры с потерями на гистерезис и квазилинейной характеристикой хорошо демпфируют воздействия пути, поэтому их применяют, несмотря на малую долговечность.

Общеизвестно, что установка резиновых прокладок под витыми пружинами не создает виброзащитного эффекта.

Демпфирующей способности резиновых рессор для гашения основных частот подвижного состава [6] недостаточно. В пневмобаллонах диафрагменного типа (рисунок 2, г) она достигается существенным увеличением динамической жесткости. Сухое трение в листовых рессорах (рисунок 2, б) не обеспечивает нужного качества гашения. Основным средством виброизоляции кузова служит винтовая пружина (рисунок 2, а), торсион (рисунок 2, в) и пневмобаллон (рисунок 2, г).

Восстанавливающая сила в возвращающих устройствах чаще обладает нелинейной характеристикой. Такая неудовлетворительная характеристика присуща качающейся опоре фирмы Альстом (рисунок 2, з). Люлечное возвращающее устройство (рисунок 2, л) получило широкое распространение в кузовной связи, особенно у пассажирских вагонов. Для исключения биений в ряде конструкций поперечные балки связываются с рамой тележки продольными поводками. При их отсутствии образуется маятниковое устройство (рисунок 2, к). Оно оказывает центрирующее действие на виляние тележек и исключает опору скольжения, которой свойственны задиры и увеличения рамных давлений ввиду значительного демпфирующего момента.

Наиболее распространенным типом подвешивания является люлечное с опорами скольжения; в тяжелых кузовах целесообразно применение роликовых возвращающих устройств (рисунок 2, ж). Возвращающим устройством могут служить горизонтальные гибкие витые пружины и пневмобаллоны диафрагменного типа.

Из представленного в [1, 6, 7] анализа следует, что более 90% от общего количества применяемых в изделиях отечественного машиностроения упругих элементов составляют металлические пружины с линейной характеристикой (цилиндрические пружины сжатия и растяжения). Из пружин с нелинейной характеристикой применяются в основном конические и тарельчатые пружины (шайбы Бельвиля), а также некоторые виды спиральных и плоскостных пружин. Нелинейные пружины практически не применяются в

пневмогидроарматуре и имеют ряд недостатков технологического характера, обусловленные сложностью изготовления. В частности, для изготовления каждой отдельной конической пружины требуется индивидуальная оправка. Поэтому в ряде случаев вместо конических пружин применяют цилиндрические, заведомо сужая диапазон регулирования.

Систематизированные сведения о применяемых в отечественной промышленности пружинных элементах, их силовых характеристиках, а также особенностях расчета изложены в [1].

Классификация пружин представлена на рисунке 4 [1, 2, 6].

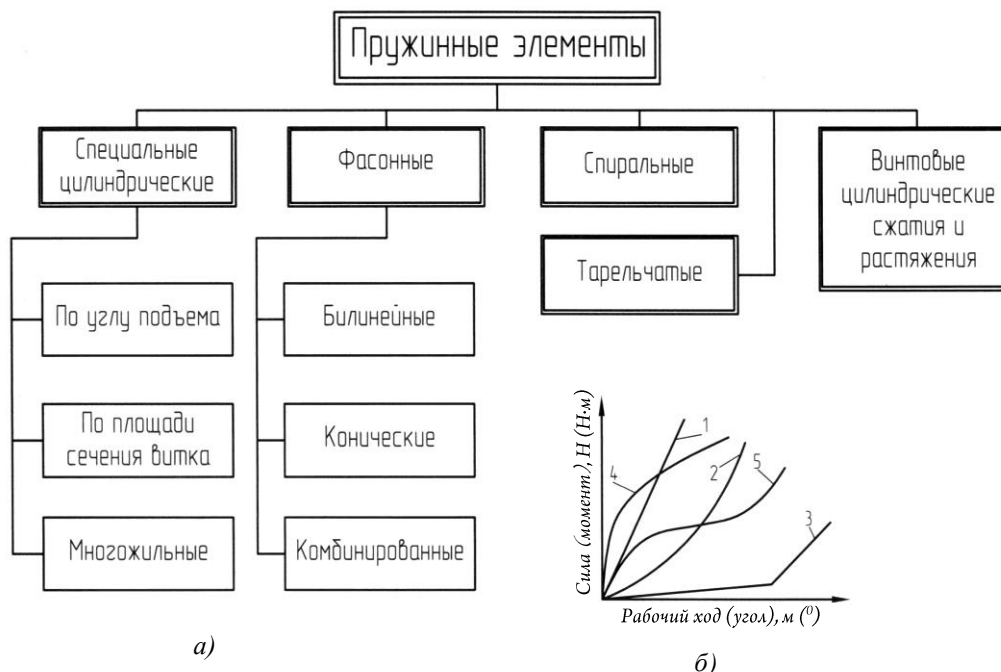


Рисунок 4 – Классификация (а) и рабочие характеристики (б) основных типов пружин:

1 – винтовые цилиндрические; 2 – специальные цилиндрические (с переменным углом подъема, с переменной площадью сечения витка), фасонные; 3 – цилиндрические многожильные; 4 – тарельчатые; 5 – спиральные плоские (прямоугольного сечения с отогнутыми зацепами)

Классификация винтовых цилиндрических пружин сжатия и растяжения из стали круглого сечения приведена в [8], обозначения параметров и методика определения размеров – в [9], стандарты на основные параметры витков – в таблице 1 [10] (режим работы пружин I и III классов – циклический; II класса – циклический и статический).

Таблица 1 – Классификация и стандарты на основные параметры витков цилиндрических винтовых пружин растяжения и сжатия из стали круглого сечения [11]

Класс и разряд пружин	Вид пружин	Сила пружины при максимальной деформации, Н	Диаметр проволоки (прутки) d, мм	ГОСТ
1	2	3	4	5
I – 1	ОСР	1...850	0,2...0,5	13766-86
1	2	3	4	5
I – 2	ОСР	1...800	0,2...5,0	13767-86
		25...800	1,25...5,0	13767-86
I – 3	ОСР	150...6300	3,15...12,5	13768-86
I – 4	ОС	2800...180000	14...71	13769-86
II – 1	ОСР	1,50...1400	0,2...5,0	13770-86
II – 2	ОСР	1,25...1250	0,2...5,0	13771-86
		42,5...1250	1,25...5,0	13771-86

Продолжение таблицы 1				
II – 3	ОСР	265...112000	3,15...12,5	13772-86
II – 4	ОС	4500...280000	14,0...71	13773-86
III – 1	ТС	12,5...1000	0,35...2,8	13774-86
III – 2	ОС	355...15000	3,15...12,5	13775-86
III – 3	ОС	6000...20000	14,0...25	13776-86

Примечание. Принятые обозначения: ОСР – пружины одножильные сжатия и растяжения; ОС – пружины одножильные сжатия; ТС – пружины трехжильные сжатия.

Известны конструкции газовых и «жидкостных» пружин [2], (рисунок 5).

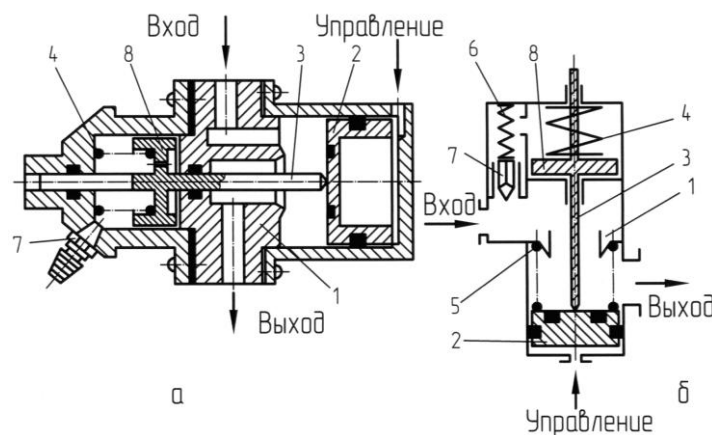


Рисунок 5 – Газовые и «жидкостные» пружины агрегатов с автономной запиткой (а) и с перепуском рабочей среды (б):
 1 – седло; 2 – клапан; 3 – шток; 4, 5, 6 – пружина;
 7 – обратный клапан; 8 – катакрат

Газовая пружина (рисунок 5, а) включает уплотненный шток с поршнем, который сцентрирован в цилиндре, заполненном газом под некоторым начальным давлением. Газовые пружины обладают возможностью значительного поглощения энергии перемещаемой массы при несложной настройке заданного.

На рисунке 5, б представлена конструкция «жидкостной» пружины, запитываемой рабочей средой, подводимой на вход клапанного устройства через подпружиненный обратный клапан (в ряде конструкций вместо обратного клапана устанавливают дроссель с постоянной площадью проходного сечения).

Недостатком указанных пружин, в сопоставлении с металлическими, является их относительно невысокая надежность, так как величина давления рабочего тела, используемого в качестве упругой среды, полностью зависит от качества герметизирующих уплотнений. Кроме того, для закачки газовой рабочей среды в цилиндр требуется наличие специального оборудования, оснастки и контролирующей аппаратуры. В силу охарактеризованных недостатков создатели новой техники неохотно идут на использование газовых и «жидкостных» пружин в разработках перспективных объектов железнодорожного транспорта.

В работах [1, 6, 7, 12] авторами показано, что и пружинной пневмогидроарматуре на базе упругоподвешенных на металлических пружинах клапанно-седельных пар (КСП) присущ ряд серьезных недостатков:

1. В ряде случаев, включая внештатные или аварийные ситуации в обслуживаемой пневмогидросистеме (ПГС), включающей ПГА на базе КСП с пружинными задатчиками нагрузки, срабатывание золотника (тарели клапана) сопровождается его колебаниями с определенной частотой. Это провоцирует возникновение колебания рабочей среды и нестабильность ее расхода через КСП.

2. Вибронагружение предохранительного клапана (ПК) с пружинной КСП со стороны мест крепления его корпуса с виброактивным основанием объекта при

транспортировании существенно (по известным литературе источникам до 5%) снижает настроечное значение величины давления открытия золотника рабочей средой. Это обуславливает рост непроизводительных утечек через КСП, что помимо экономической создает также и экологическую проблему при стравливании сверхнормативного избыточного давления экологически опасных рабочих сред (токсичные, криогенные и т.п.) в окружающую среду.

3. Наличие колебаний значительных масс упругоподвешенных частей КСП (или инерционных сил) приводит к возникновению больших ударных нагрузок при посадке золотника на седло и многократным отскокам золотника от золотника, частота которых определяется частотой колебаний золотника. Совершенно очевидно, что вследствие этого ресурс пружинной ПГА, определяемый гарантийным числом циклов срабатываний до выхода из строя наиболее «слабого» к динамическому нагружению элемента (это, как правило, клапанное уплотнение КСП, сильфонный чувствительный элемент, уплотнения и пары трения подвижных сопряжений), вырабатывается за более короткий промежуток времени. Это, в свою очередь, может привести к непрогнозируемым параметрическому или катастрофическому отказам ПГА с соответствующим нарушением требований безопасности эксплуатации ПГС и резервуаров с избыточным давлением рабочих сред.

Примечание. Согласно [13-15] допустимое число циклов срабатывания $[Z]$ для металлических сильфонов составляет $3 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^3$ циклов; для резиновых мембран, работающих при давлениях $5 \dots 6$ МПа $[Z] = 10^5 \dots 10^7$ циклов [16]; клапанных уплотнений затворов на базе резин и фторопластов $[Z] = 100 \dots 1000$ циклов [7].

4. Стабильность выходных параметров пружинной ПГА существенно зависит от стабильности силовой характеристики металлической пружины, на которую влияет температура в зоне ее установки (известно, что при понижении температуры жесткость пружины увеличивается и наоборот). Этот факт переходит в разряд определяющих при разработке высокоточной ПГА, работающей на криогенных или высокотемпературных средах.

5. Использование в КСП вместо металлических пружин металлических упругих элементов типа сильфонов и мембран сопряжено с рядом отрицательных моментов:

- ресурс работы такого рода металлических упругих элементов, на порядок-два ниже, чем у металлических пружин;

- их крепление и центрирование в корпусе ПГА сопряжено с усложнением ее конструкции, увеличением ее габаритов и массы, а также увеличением трудоемкости изготовления из-за потребности проведения комплекса мер по герметизации стыков мембран (сильфонов) с корпусом и подвижным элементом;

- значительные колебания (разброс) нелинейной жидкостной характеристики мембран и сильфонов (даже одной партии изготовления) требует индивидуальной тарировки включающего такой элемент чувствительного органа с обеспечением необходимого резерва поджатия упругого элемента, что, в свою очередь, ухудшает габаритно-массовые параметры. Кроме того, в конструкциях с сильфонным или мембранным оболочечным элементом выход последнего из строя вследствие потери герметичности (образование в местахгиба или по гофрам трещин, вскрытие пор при термоциклировании в процессе перекачки силовых органов и пр.) сопряжен с выходом изделия из строя, так как при выравнивании давления по обе стороны оболочечного элемента он перестает функционировать.

Указанные недостатки ПГА с металлическими упругими звеньями расширяют области использования в пневмогидросистемах беспружинной пневмогидроарматуры (БПГА) с другими типами задатчиков нагрузки, – рисунок 6 (разработанная классификационная схема представляется впервые и базируется на оригинальных и перспективных авторских разработках различных видов БПГА).

При представлении данных на рисунке 6 авторами принималось во внимание то, что до настоящего времени в России не было издано ни одной монографии или наукоемкого пособия, содержащего в едином формате обобщенные сведения по всем видам БПГА, позволяющие проектировщику новой техники уже на этапе эскизного проектирования осуществить рациональный выбор конкретного вида БПГА из всех существующих видов, а лишь после этого выбора обратиться к более углубленным научным трудам и инженерным методикам, жестко привязанных к выбранному типу беспружинной пневмогидроарматуры.

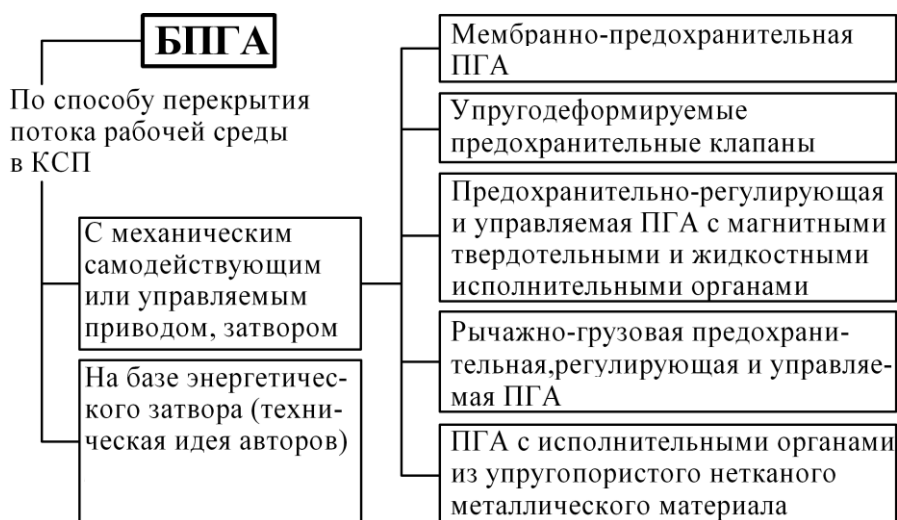


Рисунок 6 – Классификационная схема беспружинной пневмогидроарматуры

К настоящему времени упругодеформируемые предохранительные клапаны описаны в подготовленной грифовой рукописи учебного пособия: «Конструкция и прочность агрегатов защиты и предохранения пневмогидротопливных систем с беспружинными упругодеформируемыми запорными органами» авторов: О.П. Мулюкин, Г.Ю. Ермоленко, О.Е. Лаврус и др.; под общ. ред. О.П. Мулюкина, объемом 195 страниц с иллюстрациями и направленной на издание в СамГУПС г. Самара в 2009 году. Рычажно-грузовая предохранительная, регулирующая и управляемая ПГА описана в подготовленной грифовой рукописи учебного пособия: «Конструкция и динамика беспружинной рычажно-грузовой клапанной пневмогидроарматуры» авторов О.П. Мулюкин, О.Е. Лаврус, С.А. Финогенов и др.; под ред. О.П. Мулюкина, объемом 168 страниц с иллюстрациями и направленной на издание в СамГУПС г. Самара в 2009 году, а ПГА с исполнительными органами из упругопористого нетканого металлического материала описаны в подготовленной монографии «Элементы пневмогидроарматуры из упругопористого нетканого материала» авторов А.И. Белоусов, Е.В. Шахматов, О.П. Мулюкин и др., объемом 120 страниц с иллюстрациями и направленной на издание в СамГУПС г. Самара в 2009 году.

ВЫВОДЫ

1. Охарактеризованы классификационная схема, конструктивное исполнение и области применения используемых в транспортной технике стандартизированных (металлических) и специфических упругих элементов, включая элементы имитирующие упругие свойства за счет преобразования энергии полей различной физической природы.
2. Систематизированы вводные ограничения на области применения недостатки пружинной пневмогидроарматуры с клапанно-седельными парами, упругоподвешенными на металлических пружинах.
3. Впервые разработана классификационная схема всех типов беспружинной пневмогидроарматуры, базирующаяся на оригинальных и перспективных авторских разработках арматуры такого рода и позволяющая осуществить рациональный выбор конкретного вида беспружинного пневмоагрегата под заданные эксплуатационные условия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чегодаев, Д.Е. Гидропневмотопливные клапанные агрегаты с управляемым качеством динамических процессов: Учебно-справочное пособие / Д.Е. Чегодаев, О.П. Мулюкин, А.Н. Кирилин и др.; Под ред. Д.Е. Чегодаева и О.П. Мулюкина. – Самара: СГАУ, 2000. – 546с.: ил.
2. Иванов, Б.Г. Конструкция и расчет исполнительных рычажных механизмов системы жизнеобеспечения железнодорожного транспорта: Учебное пособие / Б.Г. Иванов, А.В. Ковтунов, О.П. Мулюкин, В.М. Трухман. – Самара: Сам ГУПС, 2007. – 374с.: ил.
3. Варава, В.И. Прикладная теория амортизации транспортных машин: Монография / В.И. Варава. – Л.: Изд-во Ленингр. университета, 1986. – 186с.: ил.
4. Детали машин. Расчет и конструирование: Справочник / Под ред. Н.С. Ачеркана. – М.: Машиностроение, 1968. – Кн. 1. – 245с.: ил.

5. Решетов, Д.Н. Надежность машин: Учебное пособие для машиностроительных спец. вузов [Текст] / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев; Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Высшая школа, 1988. – 238с.: ил.
6. Чегодаев, Д.Е. Элементы клапанных устройств авиационных агрегатов и их надежность: Учебное пособие / Д.Е. Чегодаев, О.П. Мулюкин. – М.: Изд-во МАИ, 1994. – 208с.: ил.
7. Чегодаев, Д.Е. Гидропневмотопливные агрегаты и их надежность: Монография / Д.Е. Чегодаев, О.П. Мулюкин. – Куйбышев: Кн. изд-во, 1990. – 104с.: ил.
8. ГОСТ 13764-86. Пружины винтовые цилиндрические сжатия из стали круглого сечения. Обозначения параметров, методика определения размеров.
9. ГОСТ 13765-86. Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения из стали круглого сечения. Обозначения параметров, методика определения размеров.
10. ГОСТ 13766-86. Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения из стали круглого сечения. Основные параметры (по классам и разрядам).
11. Чекарев, А.А. Справочник по машиностроительному черчению / А.А. Чекарев, В.К. Осипов. – М.: Высшая школа, 1995. – 671с.: ил.
12. Чегодаев, Д.Е. Конструирование рабочих органов машин и оборудования из упругопористого материала МР: Учебно-справочное пособие в двух частях. – Ч.1. – Самара: НПЦ «Авиатор», 1994. – 156с.: ил.; Ч.2. – Самара: НПЦ «Авиатор», 1994. – 100с.: ил.
13. ГОСТ 21744-83. Многослойные металлические сильфоны.
14. ГОСТ 22388-77. Сильфоны однослойные разделительные и компенсаторные из нержавеющей стали.
15. ГОСТ 24553-81. Однослойные металлические сильфоны, армированные кольцами.
16. Лемберг, М.Д. Релейные системы пневмоавтоматики: Монография / М.Д. Лемберг. – М.: Энергия, 1968. – 142с.: ил.
17. Лаврусь, О.Е. Типовые и нетрадиционные конструкции пневмогидравлических мембранно-предохранительных устройств: Монография / О.Е. Лаврусь, А.С. Левченко, А.В. Ковтунов, О.П. Мулюкин. – Самара: СамГУПС, 2009. – 80с.: ил.
18. Лаврусь, О.Е. Беспружинная предохранительно-регулирующая пневмогидроарматура с магнитными твердотельными и жидкостными исполнительными органами (принципы построения, конструкции): Монография / О.Е. Лаврусь, А.В. Варламов, О.П. Мулюкин. – Самара: СамГУПС, 2008. – 91с.: ил.

Малинин Владислав Георгиевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, заведующей кафедрой «Динамика и прочность машин»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 41-9813
E-mail: malinin@ostu.ru

Мышечкин Алексей Александрович

Московский государственный университет приборостроения и информатики, г. Москва
Кандидат технических наук, доцент кафедры «ТИ-2»
107076, Стрмынка, 20
Тел. 8 (495) 946-11-14

Борзенков Михаил Иванович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автопласт»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 43-48-90
E-mail: bim@ostu.ru

Лаврусь Ольга Евгеньевна

Самарский государственный университет путей сообщения, г. Самара
Доцент кафедры «Высшая математика» СамГУПС
443086, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18
Телефон сотовый: 8-927-708-43-10
E-mail: om46@mail.ru

Мулюкин Олег Петрович

Самарский государственный университет путей сообщения, г. Самара
Заведующий кафедрой «Инженерная графика» СамГУПС, д.т.н., профессор
443086, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18
Телефон: (846) 249-64-73
E-mail: om46@mail.ru

Финогенов Сергей Александрович

Самарский государственный университет путей сообщения, г. Самара
Заведующий учебной лабораторией кафедры «Инженерная графика» СамГУПС
443086, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18
Телефон сотовый: 8-908-387-55-25

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ С НАПОЛНИТЕЛЕМ

Рассмотрен способ комбинированной обработки в электролите с токопроводящим наполнителем. Представлены результаты экспериментальных исследований по состоянию поверхностного слоя после обработки. Даны рекомендации по применению предложенного процесса для обработки деталей машин различных отраслей машиностроения.

Ключевые слова: комбинированная обработка, электролит, токопроводящий наполнитель, поверхностный слой.

The article deals with the method of combined treatment in electrolyte with filling. It presents the results of experimental tests of surface layer state after treatment. The author gives recommendations for the use of the introduced process for the treatment of machine parts in different branches of machine-building.

Key words: the combined processing, electrolyte, current-carrying filler, a superficial layer.

В России и за рубежом ведутся работы по разработке теоретических основ и практическому применению процесса электрохимической размерной обработки с твердым токопроводящим наполнителем. В этой области достигнуты значительные результаты по исследованию основных технологических схем обработки, а также по созданию способов и устройств для их реализации [1]. Исследованиями было установлено, что существенное влияние на технологические показатели процесса комбинированной обработки оказывает скорость контакта гранул наполнителя с поверхностью заготовки и их геометрические и физико-механические характеристики [2,3]. При взаимном регулировании скорости прокачки электролита, выступающего в роли транспорта, материала и размеров гранул представляется возможным обрабатывать сложнопрофильные участки поверхности детали, расположенные на расстоянии более 100 мм (рисунок 1).

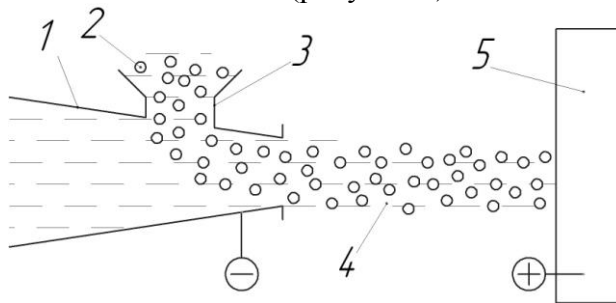


Рисунок 1 - Схема электрохимической обработки в электролите с токопроводящим наполнителем:

1 – сопло; 2 – гранула наполнителя; 3 – канал для ввода наполнителя в электролит; 4 – рабочая смесь; 5 – обрабатываемая поверхность

Многофазная рабочая среда (электролит и наполнитель) выступает при этом в качестве дискретного электрода-инструмента (ЭИ), форма которого зависит от того объема, в который он заключен. Если обрабатываются открытые полости, то ЭИ принимает форму струи, истекающей из гидравлического элемента, если же обрабатываются закрытые полости и каналы, то ЭИ принимает соответствующую им форму.

Удар гранул твердого наполнителя оказывает механическое воздействие на обрабатываемую поверхность, вызывает ее наклеп, влияет на скорость формообразования микроповерхности.

Исследования проводились с целью определения состояния поверхностного слоя после электрохимической обработки в электролите с токопроводящим наполнителем.

Образцы выполнялись из стали 12Х18Н9Т. В качестве электролита использовался 14 % раствор NaCl при $T=296$ К. Расход электролита – 20 л/мин. Наполнитель – графит. Напряжение $u=18$ В. Обработка производилась при межэлектродном зазоре от 0,1 до 0,7 мм. Время обработки – до 30 с.

Установлено, что при электрохимической обработке деталей в электролите с токопроводящим наполнителем дефектный слой практически отсутствует. Поверхность зерен ровная, только на границах наблюдается незначительные углубления. Токопроводящий наполнитель интенсивно снижает шероховатость обработанной поверхности. Это достигается за счет повышения плотности тока на границе наполнитель - обрабатываемая поверхность и механической депассивации анодной поверхности, что способствует ускоренному удалению металла с вершин неровностей. Так, при обработке в 14 % растворе NaCl нержавеющей стали 2Х13 удалось уменьшить высоту неровностей до 0,3-0,35 мкм (рисунок 2).

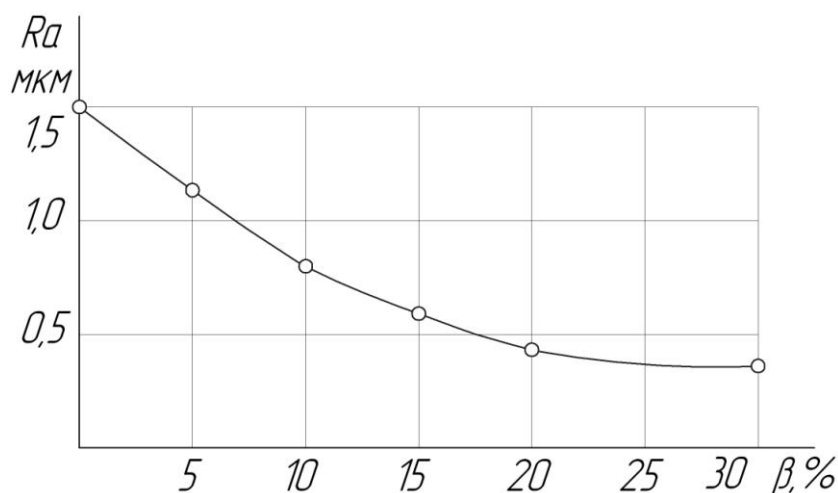


Рисунок 2 – Влияние концентрации наполнителя на шероховатость поверхности: напряжение – 60 В, расстояние между электродами – 160 мм

Произведены измерения микротвердости обработанной поверхности. Рабочая среда подавалась струйным методом. Установлено, что величина наклепа зависит от марки и свойств материала, размеров наполнителя, гидродинамики электролита. Наблюдалось увеличение микротвердости на 8-10 %. Установлено отсутствие водорода в поверхностном слое, что исключает возможность охрупчивания. Видимо, при значительных межэлектродных зазорах диффузия водорода в деталь практически отсутствует. Расчеты усталостной прочности при знакопеременном нагружении показали, что заметного снижения предела выносливости для исследуемых марок сталей не наблюдается.

Полученные результаты показали принципиальную возможность управлять качеством поверхности, создавать в ней бездефектный слой с заданным наклепом. Упрочнение поверхности за счет наклепа дает возможность не только компенсировать некоторое снижение прочности по сравнению с обработкой в электролите без наполнителя, но и увеличить предел прочности на 3-7 % по сравнению с обработкой лезвийным или абразивным инструментом. Кроме того, за счет упрочнения возрастает скорость анодного растворения [4]. Так при степени наклепа поверхности около 10 % съем металла на 20-50 % выше (рисунок 3), чем для того же материала без пластической деформации. При этом снижается высота неровностей и глубина микрораствраиваний. Ранее было показано [5], что за счет деформации поверхностного слоя на 20-25 % (в зависимости от марки материала) можно снизить высоту микронеровностей на 20-30 %. Следовательно, создавая гарантированный наклеп за счет энергии струи с наполнителем, можно обеспечить высокую чистоту обрабатываемых участков, удаленных на значительное расстояние от электрода-

инструмента. Регулирование степени наклепа позволяет существенно снизить высоту неровностей без увеличения напряжения. При повышении скорости перемещения наполнителя на границе с обрабатываемой поверхностью высота неровностей значительно снижается. Это можно объяснить возрастанием наклепа в местах соударений наполнителя и заготовки. Для стали 2Х13 изменение скорости перемещения электролита с металлическим наполнителем с 2 до 10 м/с вызывает снижение высоты неровностей на 50 %.

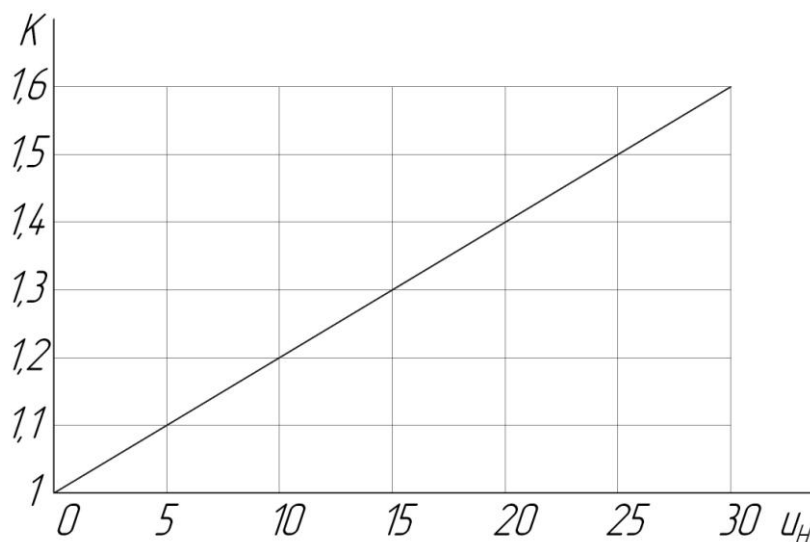


Рисунок 3 – Влияние степени наклепа u_n обрабатываемой поверхности на скорость анодного растворения стали 2Х13 (K – коэффициент увеличения скорости)

Проведенные исследования позволили рекомендовать процесс для обработки внутренней поверхности каналов, в частности, литых закрытых колес центробежных насосов. Ранее такие поверхности не обрабатывались. Применение твердого токопроводящего наполнителя открыло возможность в течение 5-6 мин снизить высоту неровностей с $R_a = 40$ мкм до $R_a = 6,3-7$ мкм. Испытания насоса с обработанным проточным трактом показали возможность снижения затрат электроэнергии на перекачивание жидкостей на 8-15 %. Промышленностью ежегодно выпускаются сотни тысяч машин с закрытыми рабочими колесами, эффект повышения коэффициента полезного использования установок измеряется миллионами рублей.

Электрохимическая обработка в электролите с твердым токопроводящим наполнителем была внедрена для удаления заусенцев с роторных и статорных пластин электродвигателей. По условиям эксплуатации требовалось локализовать съем металла с кромок без нарушения точности профиля и качества поверхности деталей. В установках для электрохимической обработки в электролитах без наполнителя не удавалось снизить межэлектродный зазор до величины, обеспечивающей локальный съем металла с кромки, т.к. размеры заусенцев после штамповки достигали 0,3-0,5 мм. При этом съем с торцевых поверхностей деталей мог достигать 0,1- 0,15 мм, что выходило за поле допуска на деталь. Проблема была решена с применением наполнителя из графита, который насыпался на сетку, установленную на входе деталей в зону обработки станка (рисунок 4). Сетка и наполнитель являлись катодом, через них свободно проливался электролит. Зазор между поверхностью детали и наполнителя выбирался в пределах 0,1 мм, что не исключало контакта между графитовыми гранулами и заусенцами. При этом выступающая часть заусенца сгорела, оставался оплавленный участок. Проведенные исследования показали, что скорость анодного растворения таких участков сначала заметно ниже, чем соседних, хотя они расположены ближе к катоду-инструменту. Однако за счет снижения межэлектродных зазоров между деталью и наполнителем удалось повысить скорость скругления кромок в 2,5-3 раза и снизить съем металла с торцевых поверхностей до 0,02 мм. Это укладывалось в заданное поле допуска. Внедрение результатов позволило получить детали с высоким

качеством поверхности, механизировать ручную операцию обработки кромок изношенных деталей, получить экономический эффект около 60,0 тысяч рублей на изделие.

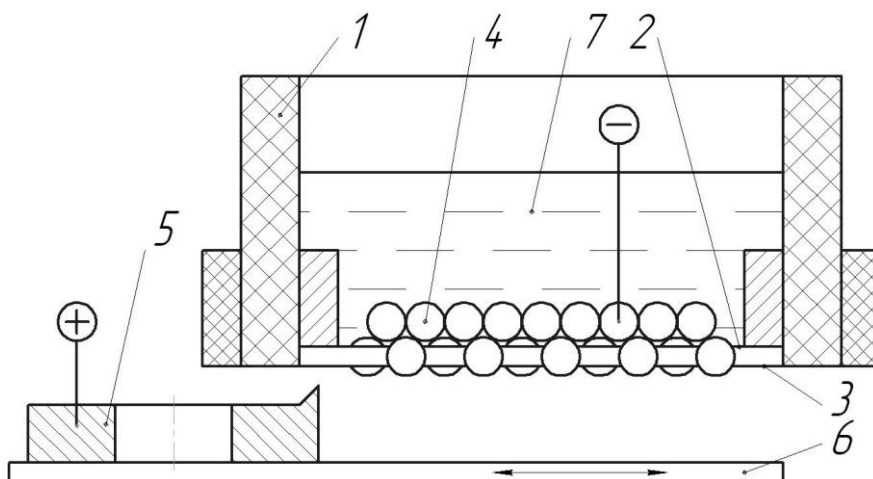


Рисунок 4 – Схема устройства для снятия заусенцев:
*1 – корпус; 2 – диэлектрическая сетка; 3 – сетка электропроводящая;
4 – гранулы наполнителя; 5 – обрабатываемая деталь;
6 – подвижный стол; 7 – электролит*

Анализ поверхностей, обработанных в среде с различными видами наполнителя, показал, что электрохимическая обработка в электролите с твердым токопроводящим наполнителем может найти широкое применение в различных отраслях машиностроения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузовкин, А.В. Размерное формообразование сложнопрофильных деталей с применением токопроводящего наполнителя / А.В. Кузовкин, В.П. Смоленцев – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000. – 176 с.
2. А.с. 1191215 СССР, МКИ⁴ В 23 Н 3/08. Способ размерной электрохимической обработки / А.И. Болдырев, В.П. Смоленцев, Е.П. Зорин, Э.Х. Милушев. - № 3654695; Заявлено 29.07.83; Оpubл. 15.07.85; // Открытия. Изобретения. – 1985. – № 42.
3. Пат. 2072281 РФ, МПК⁷ В 23 Н 5/06, 5/12. Гранула наполнителя для комбинированной электрообработки / В.П. Смоленцев, А.И. Болдырев, А.В. Кузовкин. - № 93036401; Заявлено 14.06.1993; Оpubл. 27.01.1997; // Открытия. Изобретения. – 1997. – № 3.
4. Седыкин, Ф.В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин / Седыкин Ф.В.– М.: Машиностроение, 1975. – 301 с.
5. А. с. 1192917 СССР, МКИ⁴ В 23 Н 3/00. Способ размерной электрохимической обработки / В.П. Смоленцев, А.И. Болдырев, Г.П. Смоленцев. - № 3702600; Заявлено 20.02.84; Оpubл. 22.07.85; // Открытия. Изобретения. – 1985. – № 43.

Болдырев Александр Иванович

Воронежский государственный технический университет,
Заведующий кафедрой «Технология машиностроения», кандидат технических наук, профессор
394026, Воронеж, Московский проспект, 14
Тел.: (4732)348173, (4732)530973
E-mail: alexboldyrev@yandex.ru

УДК 621.983.4

А.В. КИРИЧЕК, А.Ю. МАЛЬЦЕВ, А.Н. АФОНИН

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСА МАСЛЯНОГО ФИЛЬТРА МОДЕЛИРОВАНИЕМ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ

Описана методика моделирования технологического процесса ротационной вытяжки. Приведены полученные в результате моделирования поля напряжений и деформаций, критерия разрушения, силы деформирования.

Ключевые слова: резьба, накатывание, деформация, инструмент, технология.

The technique of simulation of technological process of a rotational extract is described. The fields of stress and strains, criterion of damage, force of deformation received as a result of simulation are resulted.

Key words: thread, rolling, deformation, tool, technology.

Колпак автомобильного масляного фильтра относится к осесимметричным изделиям, к которым предъявляются высокие требования по качеству, точности геометрических размеров, чистоте поверхности, уровню механических свойств. Эти требования по экономическим причинам следует выполнять при минимальном количестве технологических операций.

Изготовление таких деталей традиционными методами обработки металлов давлением (глубокой вытяжкой с дальнейшей механической обработкой) отличается высокой трудоемкостью и связано с использованием крупногабаритного дорогостоящего прессового, химического и термического оборудования. Более рациональной является ротационная вытяжка с помощью вращающихся роликов. Ротационная вытяжка позволяет изготавливать такие детали на высокопроизводительных специализированных станках, имеющих сравнительно малые габариты, массу и мощность, поскольку величина силы при ротационной вытяжке значительно ниже, чем при глубокой вытяжке, что связано с созданием локального очага деформации.

Большинство рекомендаций по проектированию инструмента и технологии ротационной вытяжки основаны на эмпирических данных. Причиной этого является сложный, объемный характер напряженно-деформированного состояния в локальных деформируемых объемах и достаточно сложная кинематика процесса. Экспериментальные исследования процессов обработки давлением весьма сложны и дорогостоящи, что сдерживает развитие данного перспективного технологического процесса.

Для исследования сложных процессов поверхностно-объемного пластического деформирования представляется перспективным использование современных компьютерных методов численного моделирования (в частности метода конечных элементов (МКЭ)) с последующим выявлением общих закономерностей протекания процессов поверхностно-объемной пластической деформации.

Одним из мировых лидеров в данной области является система DEFORM (разработана компанией Scientific Forming Technologies Corporation (США)), обладающая возможностью моделирования значительных объемных пластических деформаций и современным, интуитивно понятным графическим интерфейсом. Поскольку при ротационной вытяжке имеет место объемное напряженно-деформированное состояние заготовки, для моделирования процесса использовался модуль DEFORM 3D.

При моделировании заготовка принималась идеально пластичной, а инструмент идеально жестким. Механические свойства материала заготовки и инструмента задавались путем выбора соответствующей стали из имеющихся в программном комплексе библиотек материалов. При этом используется мультилинейная модель упрочнения.

Заготовка при моделировании являлась неподвижной, а инструменту сообщались два вращательных движения (вокруг собственной оси и вокруг оси заготовки), имитирующих главное движение, и поступательное движение подачи.

Параметры разбиения модели заготовки на конечные элементы должны выбираться таким образом, чтобы обеспечить достаточную точность сетки и, следовательно, точность расчетов в очаге деформации при минимальном количестве конечных элементов (для обеспечения приемлемой скорости расчетов). Поскольку деформация при ротационной вытяжке носит локальный характер, наибольшая точность расчетов должна быть достигнута в сравнительно небольшом по размерам очаге деформации. Следовательно, размеры конечных элементов в очаге деформации должны быть значительно меньше, чем в объемах заготовки, не подвергающихся деформации. В связи с этим, в зонах контакта роликов с заготовкой создавались «окна плотности» с более густой сеткой элементов, перемещающиеся вместе с инструментом.

На рисунках 1 и 2 приведены полученные в результате моделирования ротационной вытяжки корпуса масляного фильтра поля напряжений и деформаций.

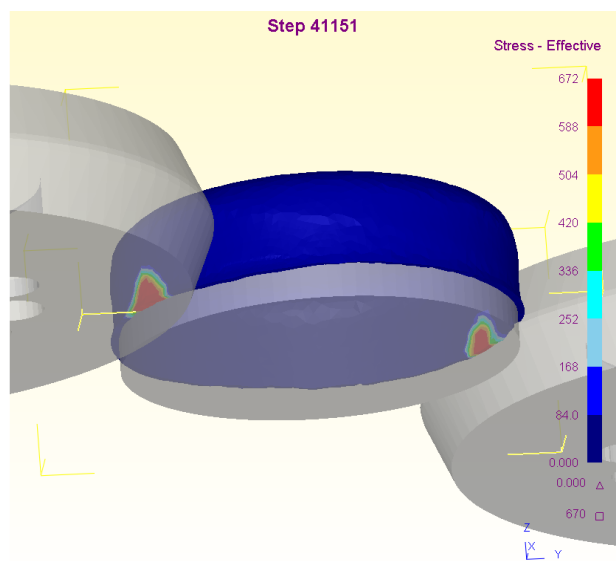


Рисунок 1 – Эквивалентные напряжения по Мизесу

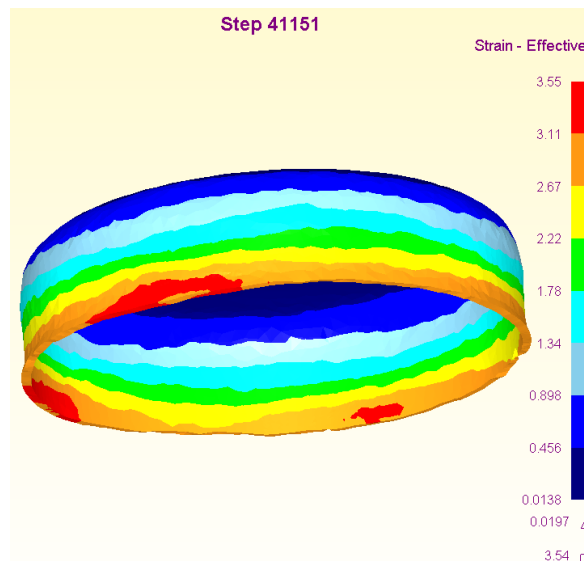


Рисунок 2 – Эквивалентные деформации по Мизесу

На рисунке 3 приведены поля перемещений металла по оси z. Из иллюстрации видна неравномерность перемещения металла, приводящая к образованию на торце наплывов.

На рисунке 4 показано распределение численного значения модифицированного критерия разрушения Кокрафта-Лейтема. Из результатов моделирования следует, что критерий разрушения при ротационной вытяжке корпуса масляного фильтра не достигает критической для сталей величины ($\approx 0,65$).

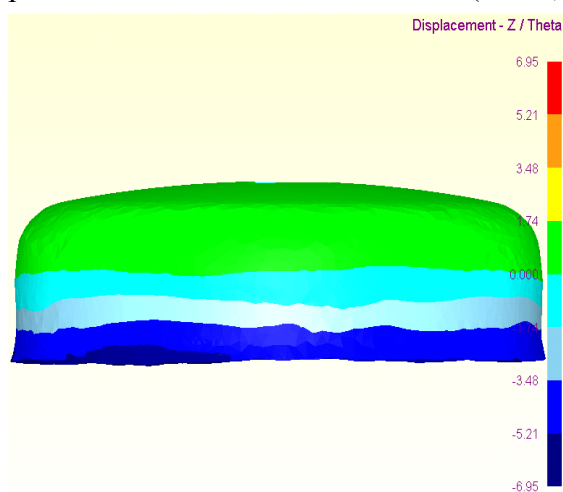


Рисунок 3 – Перемещения металла по оси z

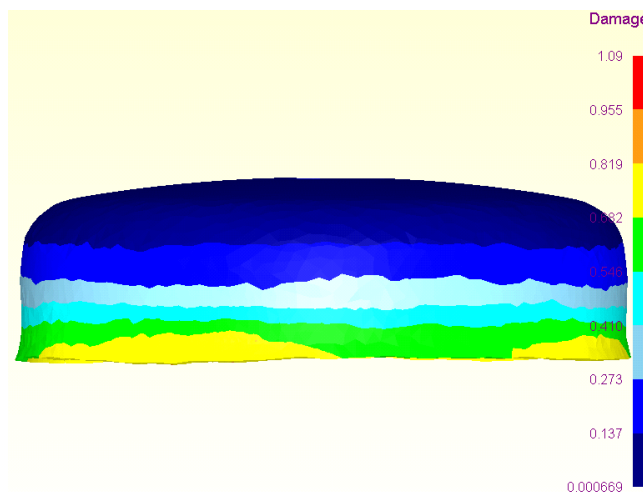


Рисунок 4 – Значения критерия разрушения Кокрафта-Лейтема

На рисунке 5 приведены графики изменения во времени радиальной и осевой сил деформирования. В целом полученные значения соответствуют известным экспериментальным данным.

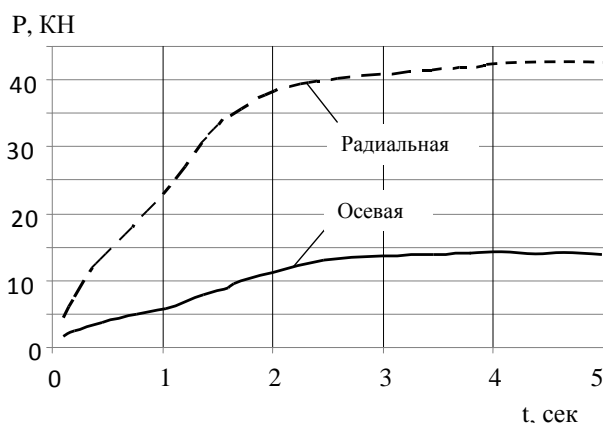


Рисунок 5 – Силы деформирования при ротационной вытяжке

Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными свидетельствует о их достаточно высокой достоверности и позволяет сделать вывод о том, что пакет DEFORM 3D обеспечивает приемлемую точность при моделировании такого сложного технологического процесса как ротационная вытяжка.

Использование пакета DEFORM 3D для моделирования процесса ротационной вытяжки позволит определить рациональную технологию накатывания и конструкцию давящего инструмента, обеспечивающее снижение напряжений и деформаций в инструменте и заготовке и исключающее возможность их разрушения, существенно сократив объем дорогостоящих и трудоемких экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушенин, Д.В. Сравнение твёрдости резьбовых профилей, полученных пластическим деформированием различными методами / Д.В. Бушенин, А.В. Киричек, А.Н. Афонин, И.Б. Кульков – Вестник машиностроения. – 1999. – №10. – С. 40-43.
2. Киричек, А.В. Исследование напряжённо-деформированного состояния резьбонакатного инструмента и заготовки методом конечных элементов / А.В. Киричек, А.Н. Афонин – СТИН. – 2007. №7. – С. 21-25.
3. Киричек, А.В. Перспективы применения методов теоретического расчёта пластической деформации для исследования накатывания резьб / А.В. Киричек, А.Н. Афонин – Известия ОрёлГТУ, Машиностроение. Приборостроение. – 2004. – №1. – С. 32-33.
4. Кузьменко, А.Ф. Закономерности распределения контактных напряжений при накатывании резьбы // Автомобильная промышленность. – 2004. – №2 – С.25-28.
5. Лапин, В.В. Накатывание резьб, червяков, шлицев и зубьев / В.В. Лапин, М.И.Писаревский, В.В.Самсонов, Ю.И. Сизов – Л.: Машиностроение, 1986. – 228 с.

Киричек Андрей Викторович

Орловский государственный технический университет, г.Орел
 Доктор технических наук, профессор, директор Технологического института ОрелГТУ
 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 34
 Тел. (4862) 555524
 E-mail: avk@ostu.ru

Мальцев Алексей Юрьевич

Орловский государственный технический университет, г.Орел
 Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 34
 Тел. (4862) 541503
 E-mail: tmsi@ostu.ru

Афонин Андрей Николаевич

Орловский государственный технический университет, г.Орел
 Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 34
 Тел. (4862) 541503
 E-mail: af@au.ru

А.А. КАТУНИН

ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НЕПОЛНОЙ СФЕРЫ ПРИ ОБКАТКЕ БЕССЕПАРАТОРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Рассмотрена методика определения шероховатости поверхности при бессепараторном отделочно-упрочняющем обкатывании неполных сфер. Предложена математическая модель составляющей профиля шероховатости, обусловленной геометрией и кинематикой перемещения инструмента, в виде уравнения, позволяющего учесть влияние основных технологических параметров процесса, на микрогеометрию формируемой поверхности.

Ключевые слова: отделочно-упрочняющая обкатка, шаровый палец, неполная сферическая поверхность.

The technique of assessment of a roughness of a surface is considered at a cageless finishing-strengthening rolling of incomplete spheres. The mathematical model of a component of a profile of the roughness caused by geometry and kinematics of moving of the tool, in the form of the equation is offered, allowing to consider influence of the basic technological parameters of process, on a roughness of a formed surface.

Key words: rotation rolling, ball shank, incomplete spherical surfaces.

Эксплуатационные свойства многих деталей машин в значительной степени зависят от шероховатости их рабочих поверхностей. Это в полной мере относится к сферическим головкам автомобильных шаровых пальцев и конструктивно подобным деталям. Однако, для того, чтобы обеспечить получение заданной шероховатости, необходимо иметь возможность управлять процессом ее формирования. Такая возможность может быть реализована на основе математической модели микрорельефа (шероховатости) неполной сферической поверхности, получаемого при отделочно-упрочняющей бессепараторной обкатке.

Отделочно-упрочняющая обработка (ОУО) металлов поверхностным пластическим деформированием (ППД) основана на свойстве металлов пластически деформироваться в холодном состоянии. Сущность ее состоит в том, что под давлением деформирующего элемента (шарика), более твердого, чем обрабатываемый металл, выступающие неровности обрабатываемой поверхности пластически деформируются – сминаются, при этом шероховатость поверхности уменьшается и образуется новый микрорельеф.

Схема деформации неровностей исходной сферической поверхности при ОУО шариками показана на рисунке 1.

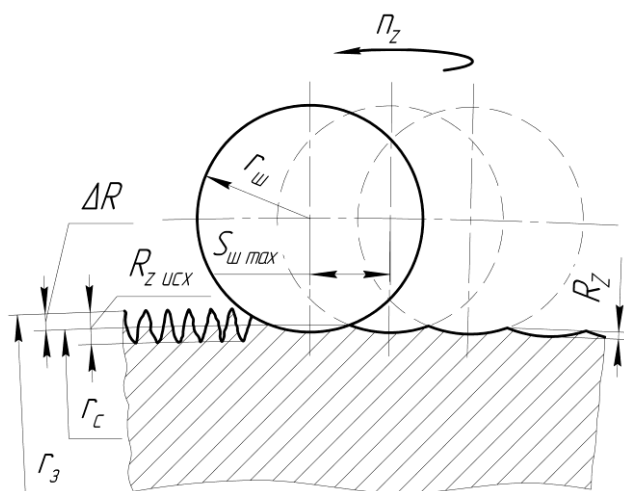


Рисунок 1 – Схема отделочно-упрочняющей обкатки сферической поверхности

При обкатывании сферической головки многошариковым бессепараторным обкатником высота исходных микронеровностей $R_{z\text{исх}}$ уменьшается и образуется новый микрорельеф с шероховатостью R_z , зависящей от основных параметров обработки.

Средняя высота профиля шероховатости в общем случае определяется равенством [3]:

$$R_z = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (1)$$

где h_1 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная геометрией и кинематикой перемещения рабочей части инструмента;

h_2 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная колебаниями инструмента относительно обрабатываемой поверхности;

h_3 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная пластическими деформациями в зоне контакта инструмента и заготовки;

h_4 – составляющая профиля шероховатости, обусловленная шероховатостью рабочих поверхностей инструмента.

Принято, считать, что составляющая профиля шероховатости, обусловленная геометрией и кинематикой перемещения рабочей части инструмента при отделочно-упрочняющей обработке ППД шариками и роликами деталей кругового профиля равна [3]:

$$h_1 = \frac{S^2}{8r},$$

где S – подача, мм/об; r – радиус шарика, мм.

В случае обкатки многошариковым бессепараторным обкатником неполной сферы, эта формула не дает достоверного результата, поэтому возникает необходимость разработки математической модели, для определения составляющей профиля h_1 . Кроме того, в работе [1] было установлено, что круговая подача S_i является обобщенной характеристикой процесса обкатки, отражающей суммарную подачу детали на весь инструмент за один его оборот. В то время как подача $S_{ин}$ – это подача на один шарик. Она наиболее точно отражает рабочий процесс поверхностного пластического деформирования при бессепараторной обкатке шариками.

Анализ показывает, что колебательные перемещения инструмента при отделочно-упрочняющей обработке ППД относительно обрабатываемой поверхности, обусловленные неоднородностью её исходной шероховатости и твердости, не оказывают влияние на образование шероховатости [3], поэтому в нашем случае может быть принята равной нулю $h_2 = 0$.

Остаточная высота исходной шероховатости h_3 определяется как разность исходной высоты шероховатости $R_{z\text{исх}}$ и двойной величины её пластических деформаций h_{nl} [3]:

$$h_3 = R_{z\text{исх}} - 2h_{nl} = R_{z\text{исх}} \left[1 - 12 \left[\frac{1200 \cdot P \cdot \sqrt{1 + f^2}}{\pi \cdot R \cdot HB_{\text{исх}} \cdot (h_{кин} - h_{упр})} \right] \right]^{0,5}$$

Составляющую профиля шероховатости, обусловленную шероховатостью рабочих поверхностей шариков также можно принять равной нулю, поскольку в процессе имеет место многократное прокатывание большого числа деформирующих элементов $h_4 = 0$.

Исходными данными для разработки математической модели составляющей профиля h_1 являются: радиус заготовки r_3 , радиус сферы r_c , радиус деформирующих шариков $r_{ин}$, и величина подачи $S_{ин}$.

Обкатка сферы осуществляется, в основном, за один оборот заготовки, вместе с тем, в зависимости от требований к качеству она может выполняться за 1,5...2 оборота. В связи с этим в работе полученные две математические модели по определению составляющей высоты неровностей профиля h_1 при обкатке за один и два оборота заготовки.

На рисунке 2 представлена обобщенная расчетная схема последовательного формирования наибольшей высоты неровностей профиля h_1 и h_1' , образующихся на экваториальной части неполной сферической поверхности деформирующими шариками при первом и втором оборотах заготовки. В связи с этим в предлагаемой методике последовательно рассматриваются два этапа: в первом определяется h_1 , а во втором – h_1' .

Пунктирной линией показаны положения двух соседних шариков обкатника при первичном обкатывании сферы (во время первого оборота заготовки), центры которых обозначены O_1 и O_1' . Основной линией показано положение деформирующего шарика с центром в точке O_2 при вторичном обкатывании (во время второго оборота заготовки). При повторном обкатывании происходит пластическая деформация микропрофиля, полученного

при первичном обкатывании с образованием вторичного микропрофиля.

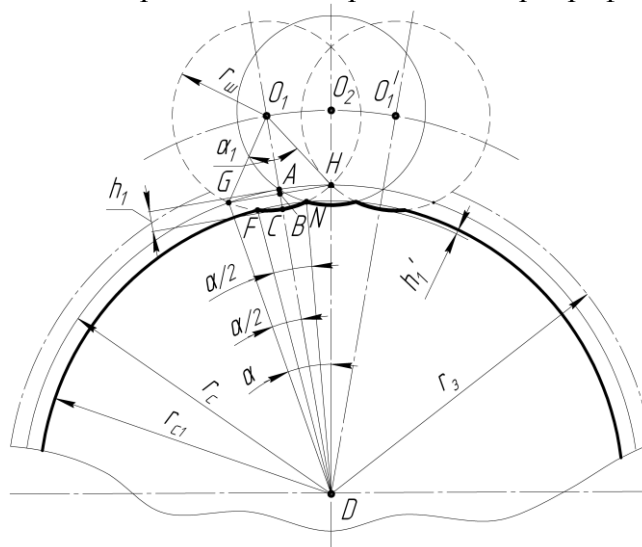


Рисунок 2 – Расчетная схема формирования составляющей профиля h_1

Согласно расчетной схеме, показанной на рисунке 2, высота микронеровностей

$$h_1 = AC = O_1D - O_1A - CD \quad (2)$$

Межцентровое расстояние $O_1D = O_1B + BD$.

По схеме величина $O_1A = O_1C - AC$, а $CD = AD - AC$.

На рисунке 3а показан начальный этап, соответствующий первичному обкатыванию заготовки, когда формируется составляющая профиля h_1 , как совокупность следов деформации от прокатывания соседних шариков обкатника.

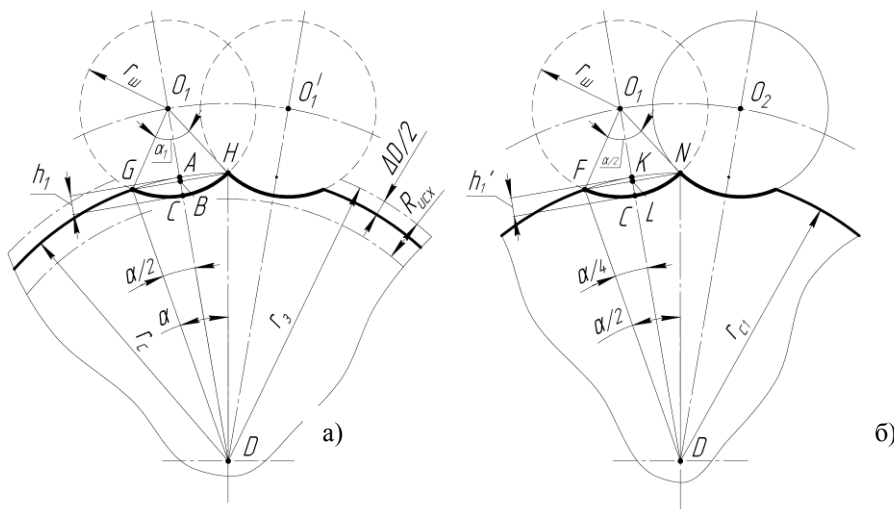


Рисунок 3 – Стадии формирования шероховатости

Поскольку $O_1C = r_w$, а $AD = r_c$, то после замены получим:

$$AC = r_w + r_c - O_1B - BD \quad (3)$$

Из прямоугольного треугольника HBD :

$$BD = r_c \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \quad (4)$$

Из прямоугольного треугольника O_1BH :

$$O_1B = r_w \cdot \cos \frac{\alpha_1}{2} \quad (5)$$

После подстановки в выражение (3) получим:

$$h_1 = AC = r_u + r_c - r_u \cdot \cos \frac{\alpha_1}{2} - r_c \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = \left(r_u - r_u \cdot \cos \frac{\alpha_1}{2} \right) + \left(r_c - r_c \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) =$$

$$= r_u \left(1 - \cos \frac{\alpha_1}{2} \right) + r_c \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad (6)$$

Из прямоугольного треугольника HBD :

$$BH = r_c \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (7)$$

Из прямоугольного треугольника O_1BH :

$$\sin \frac{\alpha_1}{2} = \frac{BH}{r_u} = \frac{r_c}{r_u} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (8)$$

Можно записать, что

$$\cos \frac{\alpha_1}{2} = \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\alpha_1}{2}} = \sqrt{1 - \frac{r_c^2}{r_u^2} \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}} \quad (9)$$

Учитывая, что:

$$\alpha = \frac{S_{u \max} \cdot 180}{\pi \cdot r_3} \quad (10)$$

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{S_{u \max} \cdot 180}{2 \cdot \pi \cdot r_3} \quad (11)$$

После подстановки (9) в (6), с учетом (10), получим формулу по определению составляющей профиля шероховатости, формируемой на поверхности сферы в экваториальной части после первого оборота:

$$h_1 = r_u \left(1 - \sqrt{1 - \frac{r_c^2}{r_u^2} \cdot \sin^2 \frac{S_{u \max} \cdot 180}{2 \cdot \pi \cdot r_3}} \right) + r_c \left(1 - \cos \frac{S_{u \max} \cdot 180}{2 \cdot \pi \cdot r_3} \right) \quad (12)$$

В работе [1], было получено выражение для определения максимальной подачи на шарик в экваториальной части сферы:

$$S_{u \max} = \frac{\pi \cdot d_c \cdot n_3}{n_z \cdot z}, \quad (13)$$

где n_3 – частота вращения заготовки;

n_z – частота вращения шариков вокруг оси головки.

Учитывая, что

$$n_z = k \cdot n_u, \quad (14)$$

где $k = k_1 \cdot k_2$ - коэффициент замедления;

$k_1 = \frac{(d_u + r_c)}{d_u + d_c}$ - кинематический коэффициент;

$k_2 = 0,83...0,99$ - эмпирический коэффициент, учитывающий действие силового фактора и проскальзывание;

n_u – частота вращения обкатника.

Частота вращения шариков вокруг оси головки:

$$n_z = \frac{(d_u + r_c) \cdot n_u \cdot k_2}{d_u + d_c}, \quad (15)$$

с учетом формулы (15) можно записать:

$$S_{u\max} = \frac{\pi \cdot d_c \cdot n_3 \cdot (d_u + d_c)}{(d_u + r_c) \cdot n_u \cdot z \cdot k_2} \quad (16)$$

После подстановки (16) в (12) получим:

$$h_1 = r_u \left(1 - \sqrt{1 - \frac{r_c^2}{r_u^2} \cdot \sin^2 \frac{d_c \cdot n_3 \cdot (d_u + d_c) \cdot 90}{(d_u + r_c) \cdot n_u \cdot z \cdot r_3 \cdot k_2}} \right) + r_c \left(1 - \cos \frac{d_c \cdot n_3 \cdot (d_u + d_c) \cdot 90}{(d_u + r_c) \cdot n_u \cdot z \cdot r_3 \cdot k_2} \right) \quad (17)$$

На рисунке 3б показана расчетная схема, соответствующая второму обороту заготовки, когда на поверхности сферы формируется шероховатость h_1' на экваторе сферы.

В соответствии с рисунком 3б можно записать:

$$h_1' = KC = O_1D - O_1K - CD, \quad (18)$$

Межцентровое расстояние: $O_1D = O_1L + LD$,

тогда:

$$h_1' = KC = O_1L + LD - O_1K - CD. \quad (19)$$

Из рисунка 3б следует, что $KC = O_1C + KD - O_1L - LD$.

Поскольку $O_1C = r_\phi$, а $KD = r_{c1}$, после замены получим:

$$KC = r_u + r_{c1} - O_1L - LD \quad (20)$$

Из прямоугольного треугольника O_1LN :

$$O_1L = r_u \cdot \cos \frac{\alpha_1}{4} \quad (21)$$

Из прямоугольного треугольника NKD :

$$LD = r_{c1} \cdot \cos \frac{\alpha}{4} \quad (22)$$

Учитывая, что $\alpha = \frac{S_{u\max} \cdot 180}{\pi \cdot r_3}$, после подстановки в (19) получим:

$$\begin{aligned} h_1' = KC &= r_u + r_{c1} - r_u \cdot \cos \frac{\alpha_1}{4} - r_{c1} \cdot \cos \frac{S_{u\max} \cdot 180}{4 \cdot \pi \cdot r_3} = \\ &= r_u \left(1 - \cos \frac{\alpha_1}{4} \right) + r_{c1} \left(1 - \cos \frac{S_{u\max} \cdot 180}{4 \cdot \pi \cdot r_3} \right) \end{aligned} \quad (23)$$

Из прямоугольного треугольника NLD :

$$LN = r_{c1} \cdot \sin \frac{\alpha}{4} \quad (24)$$

Из прямоугольного треугольника O_1LN :

$$\sin \frac{\alpha_1}{4} = \frac{LN}{r_u} = \frac{r_{c1}}{r_u} \cdot \sin \frac{\alpha}{4} \quad (25)$$

Можно записать, что

$$\cos \frac{\alpha_1}{4} = \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\alpha_1}{4}} = \sqrt{1 - \frac{r_{c1}^2}{r_u^2} \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{4}} \quad (26)$$

После подстановки (26) в выражение (23) получим:

$$h_1' = r_u \left(1 - \sqrt{1 - \frac{r_{c1}^2}{r_u^2} \cdot \sin^2 \frac{S_{ш\max} \cdot 180}{4 \cdot \pi \cdot r_3}} \right) + r_{c1} \left(1 - \cos \frac{S_{ш\max} \cdot 180}{4 \cdot \pi \cdot r_3} \right) \quad (27)$$

С учетом зависимости (16) можно записать:

$$h_1' = r_u \left(1 - \sqrt{1 - \frac{r_{c1}^2}{r_u^2} \cdot \sin^2 \frac{45 \cdot (d_u + d_c) \cdot d_c \cdot n_3 \cdot}{(d_u + r_c) \cdot n_u \cdot z \cdot r_3 \cdot k_2}} \right) + r_{c1} \left(1 - \cos \frac{45 \cdot (d_u + d_c) \cdot d_c \cdot n_3 \cdot}{(d_u + r_c) \cdot n_u \cdot z \cdot r_3 \cdot k_2} \right) \quad (28)$$

Радиус сферы после вторичного обкатывания:

$$r_{c1} = \sqrt{r_u^2 + \left(r_u \cdot \cos \frac{\alpha_1}{2} + r_c \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right)^2} - 2r_u \left(r_u \cdot \cos \frac{\alpha_1}{2} + r_c \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) \cdot \cos \frac{\alpha_1}{4}$$

Таким образом, получена математическая модель составляющей профиля шероховатости, обусловленной геометрией и кинематикой перемещения инструмента, в виде уравнения, позволяющего учесть влияние основных технологических параметров процесса, на шероховатость формируемой поверхности сферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катунин, А.А. Определение круговой подачи при обкатке сферических поверхностей / А.А. Катунин / Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». - 2009. №2/274(560). 110 с.
2. Папшев, Д.Д. Упрочение деталей обкаткой шариками / Д.Д. Папшев. - М.: Машиностроение, 1988. - 132 с.
3. Суслов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. - М.: Машиностроение, 2002. - 684с. с илл.
4. Шнейдер, Ю.Г. Технология финишной обработки давлением / Ю.Г. Шнейдер. - С.-Пб.: Политехника, 1998. - 414 с. : ил.

Катунин Андрей Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

302030, г. Орел, ул. Московская, д. 34

Тел. +79155080508

E-mail: aak808@yandex.ru

УДК 621.833

А.М. ГАВРИЛИН, В.И. СОТНИКОВ, А.В. ТЮХТА

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОЛБЯКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ С ТРЕУГОЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ ШЛИЦЕВ

Представлена методика расчета и проектирования долбяков для обработки отверстий с треугольным профилем шлицев, обеспечивающая определение криволинейного профиля зубьев в торцовой плоскости инструмента и возможность его замены более технологичным профилем.

Ключевые слова: долбяк, обработка отверстий, шлиц, треугольный профиль, криволинейный профиль зубьев.

The method of calculation and planning of gear cutters is presented for treatment of openings with the three-cornered type of splines, providing determination of curvilinear type of gears in the butt end plane of instrument and possibility of his replacement more technological type.

Key words: gear cutter, processing of the holes, triangular profile, curvilinear profile of cogs.

При изготовлении деталей со шлицевыми отверстиями, имеющими треугольный профиль шлицев, в условиях серийного и мелкосерийного производства обработку часто выполняют по методу обката при использовании долбяков со специальным криволинейным профилем зубьев [1, 2, 3]. В этом случае приходится решать задачу по расчету и проектированию специальных долбяков.

При нарезании внутренних зубчатых венцов на зубодолбежных станках, Егорьевский станкозавод «Комсомолец» рекомендует число зубьев долбяка z_D , выбирать в зависимости от числа зубьев z нарезаемого колеса (рисунок 1).

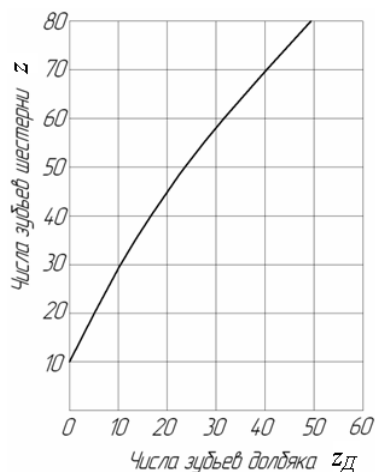


Рисунок 1 – Рекомендации по выбору зуборезных долбяков для нарезания внутренних зубчатых венцов со стандартным профилем

Эти рекомендации даны для нарезания зубчатых колес с эвольвентным профилем зуба, высоту которого принимают равной 2,25 величины модуля зацепления, а делительный диаметр – произведению модуля на число зубьев.

При чистовом проходе, когда долбяк внедрился в нарезаемое колесо на полную высоту зуба, угол дуги контакта долбяк – нарезаемое колесо можно определить из треугольника O_3O_DV (рисунок 2). На этом рисунке O_DV – наружный радиус долбяка, равный $\frac{m \cdot z_D + 2,5 \cdot m}{2}$;

O_3V – внутренний радиус вершин зубьев нарезаемого колеса, равный $\frac{m \cdot z - 2 \cdot m}{2}$;

O_3O_D – расстояние между центрами долбяка и нарезаемого колеса, которое определяется:

$$O_3O_D = O_3A - O_DA = \frac{m \cdot z}{2} + 1,25 \cdot m - \frac{m \cdot z_D}{2} - 1,25 \cdot m = \frac{m \cdot (z - z_D)}{2} \quad (1)$$

Если принять $O_3O_D = b$, $O_3V = a$, $O_DV = c$, получим:

$$\cos \beta = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c} = \frac{(z - 2)^2 + (z - z_D)^2 - (z_D + 2,5)^2}{2 \cdot (z - 2) \cdot (z - z_D)} \quad (2)$$

Если сохранить этот угол контакта зуборезного модульного долбяка с нарезаемым колесом и для проектируемого долбяка, то, учитывая изменение высоты зубьев нарезаемых колес с H до h , определим его оптимальный диаметр.

В треугольнике ABO_3 (рисунок 2):

AO_3 – максимальный радиус R_{max} профиля нарезаемого колеса;

BO_3 – наименьший радиус R_{min} профиля нарезаемого колеса:

$$AB = \sqrt{R_{max}^2 - R_{min}^2} \quad (3)$$

$$\sin \alpha = \frac{R_{min}}{R_{max}} \quad (4)$$

Тогда, из треугольника ABO_D , радиус долбяка $O_D A = O_D B = r$:

$$r = \frac{AB}{2 \cdot \cos \alpha} \quad (5)$$

Выбрав у нарезаемого колеса окружность обката $D_{об} = 2R_{max}$, ориентировочное число зубьев долбяка находим из соотношения:

$$z'_D = \frac{r \cdot z}{R_{max}} \quad (6)$$

Полученное число зубьев долбяка округляется до целого значения.

Далее определяем наружный диаметр долбяка из условия равенства дуг окружностей на шаге зубьев долбяка и нарезаемого колеса:

$$r = \frac{z'_D \cdot R_{max}}{z}$$

Расчетные перемещения (вращение), обеспечивающие обкаточное движение долбяка с числом зубьев z'_D и обрабатываемой детали с числом зубьев z : при повороте на один оборот долбяка, нарезаемое колесо необходимо повернуть на $\frac{z'_D}{z}$ оборота, или поворот долбяка на один шаг зубьев должен соответствовать повороту детали также на один шаг: $\frac{1}{z'_D} \rightarrow \frac{1}{z}$ или

$$\frac{360}{z'_D} \rightarrow \frac{360}{z}$$

При прохождении линии AO_3 контакта, в процессе обката долбяка и нарезаемой детали, смещение точки профиля зуба детали равно смещению точки профиля зуба долбяка. Исходя из этого, профилирование режущей кромки долбяка в расчетном сечении сводится к определению радиального смещения профиля зуба нарезаемого зубчатого венца при его повороте на одинаковые углы, которые выбираются проектировщиком, исходя из конкретных условий заданного профиля зубьев (рисунок 3).

При обработке внутренних зубьев имеющих треугольную форму (две плоские поверхности пересекаются под углом 2δ) радиальное смещение профиля зуба при повороте нарезаемой детали на угол θ составит:

$$\Delta = R_{max} \cdot \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta \cdot \cos \theta + \sin \theta}\right) \quad (7)$$

Смещения такой же величины должны быть и на режущей кромке долбяка, но его угол поворота при этом составит:

$$\theta_D = \frac{\theta \cdot z}{z'_D} \quad (8)$$

Радиус точки M (рисунок 3) и K (рисунок 4) в полярной системе координат относительно центра O_D долбяка:

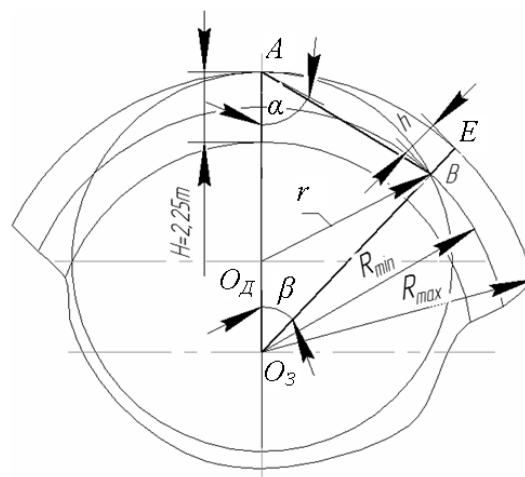


Рисунок 2 – Определение радиуса r долбяка

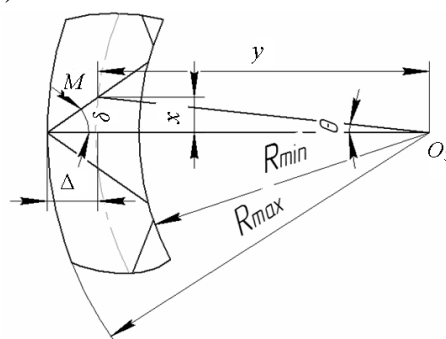


Рисунок 3 – Профиль зуба нарезаемого колеса

$$r_D = AO_D - \Delta \quad (9)$$

где AO_D - максимальный радиус профиля долбяка.

В прямоугольной системе координат, координаты точек профиля зуба нарезаемого колеса (рис. 3):

$$x = \frac{R_{\max} \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \sin \theta}{\operatorname{tg} \delta \cdot \cos \theta + \sin \theta} \quad (10)$$

$$y = \frac{R_{\max} \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \cos \theta}{\operatorname{tg} \delta \cdot \cos \theta + \sin \theta} \quad (11)$$

Координаты точек профиля зуба долбяка (рисунок 4):

$$x_D = r'_D \cdot \sin \theta_D \quad (12)$$

$$y_D = r'_D \cdot \cos \theta_D \quad (13)$$

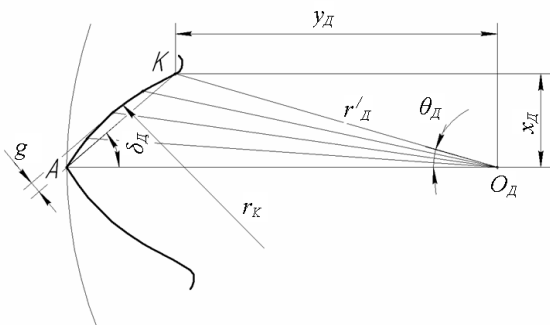


Рисунок 4 – Построение профиля зуба долбяка

С целью упрощения технологии изготовления долбяков для обработки шлицев с прямолинейным профилем (например, упрощения правки шлифовального круга) в зависимости от требуемой точности, полученный профиль зуба долбяка следует заменить либо дугой окружности, либо прямой линией.

Для случая замены профиля зуба долбяка дугой окружности, следует крайние точки (точки А и К) соединить прямой линией и определить угол δ_D .

$$\operatorname{tg} \delta_D = \frac{x_D}{r_D - y_D} \quad (14)$$

где x_D и y_D - координаты точки К;

r - наружный радиус зубьев долбяка.

Длину отрезка прямой АК можно определить из зависимости:

$$AK = \frac{x_D}{\sin \delta_D},$$

тогда радиус дуги окружности:

$$r_K = \frac{(AK)^2 + 4 \cdot g^2}{8 \cdot g} = \frac{x_D^2}{8 \cdot g \cdot \sin \delta_D} + \frac{g}{2}, \quad (15)$$

где g - величина отклонения криволинейного профиля зуба долбяка от прямой линии.

Если долбяк имеет передний угол γ и задний угол α , то величину угла δ_D следует увеличить на угол $\Delta \delta_D$, который определяется из зависимости:

$$\operatorname{tg} \Delta \delta_D = \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \delta_D \quad (16)$$

Представленная методика расчета с использованием зависимостей (1) – (17) позволяет определить криволинейный профиль зубьев долбяка, а также заменить его более технологичным радиусным профилем, который обеспечивает упрощение изготовления долбяка.

Данная методика была использована для расчета долбяков, предназначенных для обработки муфт бурового оборудования, которые выполнены со шлицевым отверстием с трехугольным профилем шлицев.

При проектировании долбяка следует руководствоваться следующими положениями:

1. Передний угол $\gamma = 5^\circ$, задний угол $\alpha = 6^\circ$;
2. Диаметр шейки хвостовика долбяка $D_{Ш}$, выбирается, исходя из условия обеспечения максимальной жесткости, меньше наименьшего диаметра режущей части на 3 – 4 мм;
3. Длина шейки хвостовика долбяка выбирается исходя из длины нарезаемого шлица плюс 5 – 6 мм;
4. Конструкция долбяка должна соответствовать ГОСТ 9323-76 типу 4;

5. Усеченный конус Морзе выбирается по ГОСТ 9953-82.

Использование на заводе бурового инструмента и оборудования, изготовленных с учетом предложенных рекомендаций долбяков, показало высокую точность формирования профиля зубьев шлицевых отверстий, удовлетворяющих требованиям чертежей деталей, и достаточно высокую стойкость долбяков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник металлста. Т. 3 / Под ред. А.Н. Малова. – М.: Машиностроение, 1977. – 748 с.
2. Лашнев, С.И. Проектирование режущей части инструмента с применением ЭВМ / С.И. Лашнев, М.И. Юликов. – М.: Машиностроение, 1980. – 208 с.
3. Дерли, А.Н. Повышение эффективности зубодолбления / А.Н. Дерли, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов. – Орел: ОрелГТУ, 2008. – 152 с.

Гаврилин Александр Михайлович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы», доцент

302030, г. Орел, ул. Московская, д. 34

Тел. (4862) 54-14-19

E-mail: asis@ostu.ru

Сотников Владимир Ильич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Автоматизированные станочные и инструментальные системы», доцент

302030, г. Орел, ул. Московская, д. 34

Тел. (4862) 54-14-19

E-mail: asis@ostu.ru

Тюхта Антон Владимирович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Ассистент кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы», аспирант

302030, г. Орел, ул. Московская, д. 34

Тел. (4862) 54-14-19

E-mail: asis@ostu.ru

М.В. ЖУПЛОВ, А.Л. ПРАВДИН, А.А. АГАРКОВ, А.С. ТАРАПАНОВ

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ УСТАНОВКИ ДИСКОВОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЛУЗАКРЫТЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ СХЕМЫ ПРОФИЛИРОВАНИЯ

В статье ставятся вопросы задания, расчёта и оценки точности обработки винтовых поверхностей при погрешностях установки инструмента. Приводятся частные решения поставленных вопросов, включая алгоритмы расчёта отклонений. Рассмотрение производится на примере математической модели обработки дисковой фрезой полузакрытой винтовой поверхности, построенной на основе метода профилирования, базирующейся на трёхмерном отображении схемы профилирования.

Ключевые слова: винтовая поверхность, схема профилирования, погрешность обработки.

In clause questions of the task, calculation and an estimation of accuracy of processing of screw surfaces are put at errors of installation of the tool. Individual decisions of the put questions, including algorithms of calculation of deviations are resulted. Consideration is made on an example of mathematical model of processing by a disk mill of the half-closed screw surface constructed on the basis of a method of profiling, a scheme of profiling based three-dimensional displays.

Key words: a screw surface, the scheme of profiling, an error of processing.

При профилировании инструмента необходимо оценить влияние различных факторов на степень адекватности обрабатываемой винтовой поверхности в реальных производственных условиях и поверхности заданной по чертежу. Это предопределяет выявление наиболее существенных факторов влияющих на точность обработки винтовой поверхности (ВП), а также разработку критерия оценки погрешности номинальной поверхности. Поставленные задачи можно решить в рамках метода профилирования ВП [1], основанного на трёхмерном отображении схемы профилирования.

Целью данной работы является структурирование и решение задач, возникающих при оценке погрешностей обработки ВП. Практической значимостью работы является формализация решения соответствующих задач, достаточная для реализации методики профилирования в виде интерактивной программной системы (ИПС) для ЭВМ.

Основными факторами, влияющими на точность лезвийной обработки заготовки, являются биение, несоосность, др. погрешности оборудования, допуски на изготовление заготовки и инструмента, силы резания, вибрации системы, износ режущего инструмента, погрешности установки и настройки оснастки. Если принять, что система СПИД является достаточно жесткой и при обработке в ней отсутствуют вибрации и биения, а также оборудование повышенной точности, то ряд факторов в расчете погрешности обработки заготовки можно не учитывать. Такие факторы как допуски на изготовление инструмента и износ режущего инструмента могут быть объединены с погрешностями установки и настройки оснастки для случая обработки полузакрытой ВП дисковой фрезой (рисунок 1).

Основу разработанного метода профилирования винтовых поверхностей составляет математическое описание процесса формообразования номинальной винтовой поверхностью профиля инструмента. Оно предполагает вывод выражения, описывающего положение каждой точки винтовой поверхности в любой момент времени обработки. Первоначально, поверхность представлена в параметрическом виде. Затем посредством ввода новых параметров производится вывод выражения описывающего перемещение винтовой поверхности. При этом все движения выполняет винтовая поверхность. Методика профилирования строится на определении для каждого участка профиля винтовой

поверхности, в процессе совместного обката винтовой поверхности и инструмента, толщины срезаемого слоя [2], и последующем выборе ее минимальных значений. Для каждой, кривой составляющей исходный профиль винтовой поверхности, такая точка будет одна. Можно считать эту точку одновременно принадлежащей и инструменту и винтовой поверхности. Найдя для ряда положений такие точки можно получить профиль инструмента [1,2].

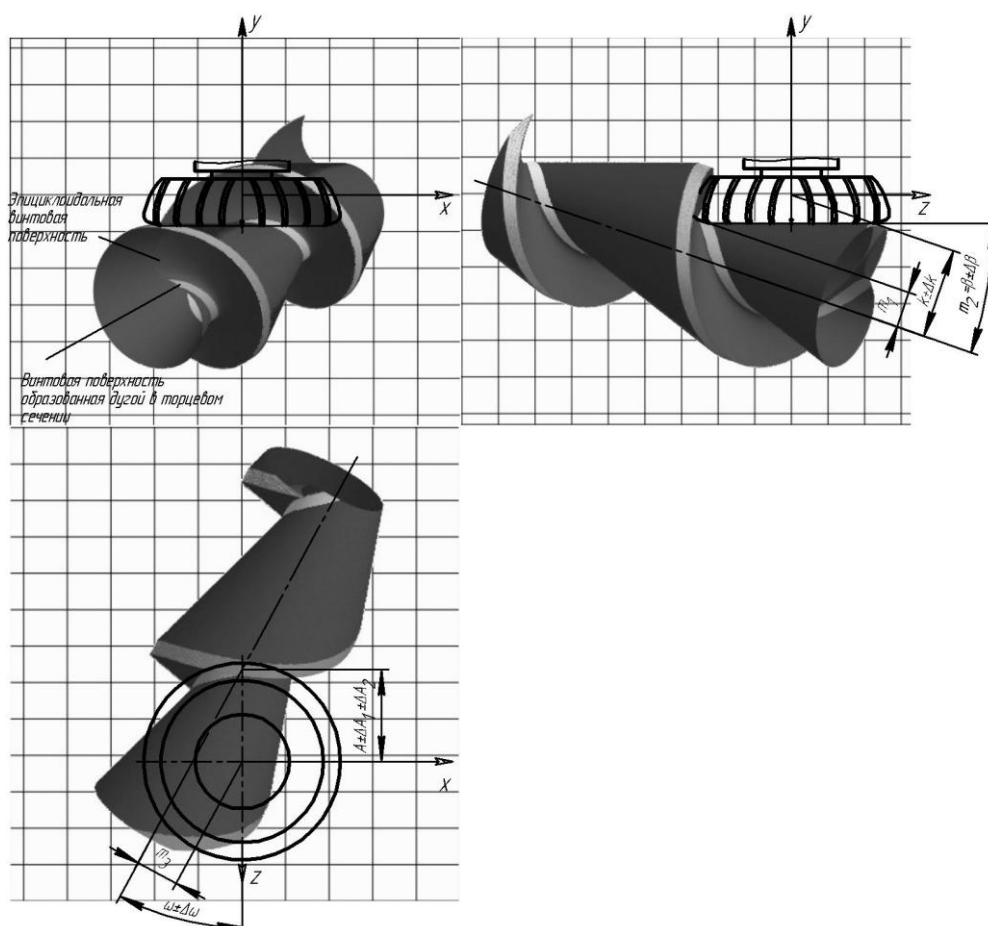


Рисунок 1 – Схема установки дисковой фрезы при обработке полузакрытой винтовой поверхности

t_1, t_2, t_3 – параметры, определяющие технологическую настройку оборудования на обработку;
 A, ω, β, k – параметры установки, используемые при расчете профиля инструмента;
 $\Delta A_1, \Delta \omega, \Delta \beta, \Delta k$ – допуски для соответствующих параметров установки;
 ΔA_2 – допуск диаметра фрезы на изготовление и износ

После нахождения производящей поверхности инструмента, решая обратную задачу профилирования, мы находим номинальную ВП, виртуально обработанную спрофилированным инструментом, без учета различных погрешностей. Восстановленная ВП представляет собой множество координат точек, принадлежащих линии касания ВП с инструментом. Т. к. в процессе решения прямой задачи мы определяем точки этой линии, то для восстановления ВП достаточно перевести эти точки из системы координат инструмента в исходную систему координат ВП. Необходимо учитывать обратный порядок используемых геометрических преобразований. Если при этом каждому преобразованию задавать допуск, то получим набор линий (поверхностей), каждая из которых обрабатывается инструментом, установленным с определенной погрешностью. В случае если расстояние от точки ВП, полученной с учетом погрешности установки инструмента, до соответствующей точки номинальной поверхности (любой точки номинальной поверхности) меньше допуска на расположение этой точки, то данная установка инструмента приемлема.

Процесс профилирования для заданной схемы установки инструмента, в рамках процесса технологического проектирования лезвийной обработки винтовых поверхностей (ВП) можно представить в виде диаграммы в стандарте IDEF-0 [3] (рисунок 2).

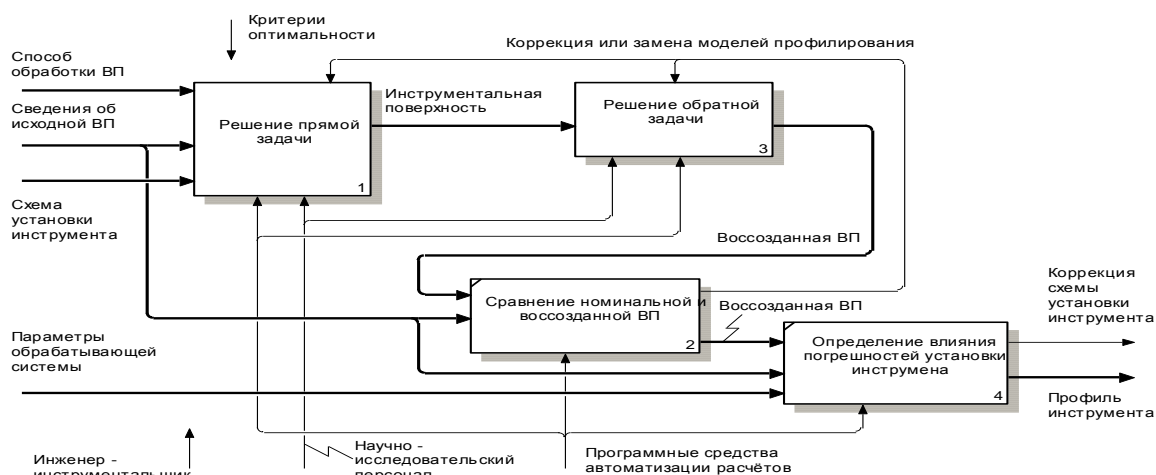


Рисунок 2 – IDEF-0 диаграмма процесса профилирования инструмента

На входе процесса:

- способ обработки ВП (например, фрезерование дисковой или концевой фрезой);
- сведения об исходной ВП (для рассматриваемой модели - аналитические описания элементов торцевого профиля ВП, и шаг ВП);
- схема установки инструмента, представляющая собой совокупность геометрических преобразований, характеризующихся параметрами точности;
- параметры конкретной обрабатываемой системы, определяющие максимально возможную достижимую точность обработки.

По результатам выполнения процессов может потребоваться коррекция схемы установки инструмента, если при заданной схеме недостижима требуемая точность. Если точность достигнута, на выходе схемы получается профиль инструмента. Разработанный метод профилирования позволяет автоматизировать все процессы представленные на диаграмме.

Определение допустимых погрешностей установки инструмента является завершающим процессом профилирования, на вход которого приходит информация о номинальной и воссозданной ВП, параметры обрабатываемой системы, а так же, неявно – схема установки инструмента.

Учитывая необходимость полной формализации метода профилирования для реализации его в виде программы для ЭВМ и автоматизации всех входящих в него процессов рассмотрим вопросы, возникающие при определении погрешностей установки:

- параметры установки инструмента, определяемые технологическими базами, могут не совпадать с параметрами, используемыми для задания положения инструмента относительно заготовки в расчетной схеме метода (рисунок 1). Это связано с тем, что метод основывается на использовании простейших геометрических преобразований (сдвиги и повороты осей) в построении расчетной схемы. Т. к. отсутствует обобщенный способ перевода параметров, используемых в построении схемы, в технологические, а также автоматизация этого процесса трудоемка, в представленном методе отклонения задаются параметрам расчетной схемы;

- точность изготовления ВП определяется соответствием ее конструкторской документации, однако не всегда возможно задать допустимые пределы искривлений сложных пространственных аналитических поверхностей. Задача проверки положения каждой точки винтовой поверхности, также весьма трудоемка. Нами предлагается задавать общий допуск для каждой точки поверхности как сферическую область пространства с центром номинально заданной точкой поверхности и выход восстановленной точки за пределы этой сферы, при расчете обратной задачи, с учетом отклонений установки инструмента, считать нарушением допуска всей винтовой поверхности;

- определение расстояния между восстановленной точкой поверхности и номинальной аналогично определению замыкающего звена размерной цепи по методу максимума-минимума. Такой расчет исключает неправильную установку инструмента, однако накладывает жесткие требования на допуски по установке инструмента.

Представленная методика профилирования инструмента позволяет в дальнейшем решить следующие проблемы:

- использование вероятностной модели поиска расстояния между восстановленной и номинальной поверхностями;
- определение степени влияния различных погрешностей установки на изменение расстояния между точками восстановленной и номинальной поверхностями.

Как было сказано при постановке задачи, поиск отклонений восстановленной ВП от номинальной является неэффективным алгоритмом для реализации на ЭВМ: необходимо искать расстояния от множества точек одной поверхности до другой поверхности. Могут быть использованы более эффективные численные алгоритмы, если будет доказана их применимость. Авторами разработано несколько алгоритмов расчёта отклонений:

1. по расстоянию между соответствующими точками линии профилирования до и после внесения отклонений параметров установки инструмента;
2. по расстоянию между соответствующими линиями ВП до и после внесения отклонений параметров установки инструмента;
3. по расстоянию между точками линии профилирования после внесения отклонений параметров установки и некоторой областью номинальной ВП, определяемой отклонениями параметров соответствующих точек.

Геометрически, разница между алгоритмами показана на рисунке 3.

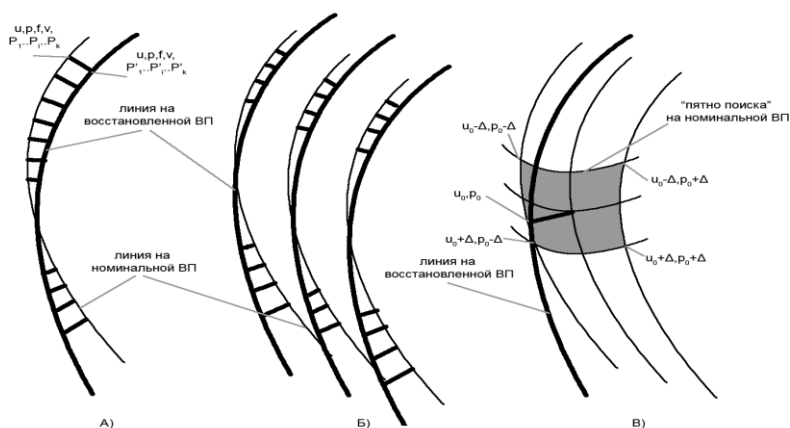


Рисунок 3 – Геометрическая интерпретация алгоритмов
 $R_1..R_k$ – параметры установки инструмента;
 $R_1'..R_k'$ – значения параметров установки инструмента с отклонениями;
 Δ - максимальные отклонения соответствующих параметров;
 u, p, v, f – параметры образования ВП

Структуры первого и третьего алгоритмов представлены на рисунке 4 в виде диаграмм активности в нотации UML [4].

Алгоритмы имеют общую первую часть – генерацию факторных планов (ФП) и расчёт линий профилирования с учётом отклонений параметров установки инструмента. При разработке алгоритмов приняты допущения: максимальное допустимое отклонение задано одним значением, отклонения параметров установки задаются максимальными значениями в обе стороны, оценка отклонений производится на основании одного значения, рассчитываемого по условиям максимума и минимума.

На рисунке 4.а *min*, *max*, *delta* – абстрактные функции, выдающие минимальное, максимальное отклонения и желаемое приращение отклонения конкретного параметра. На рисунке 4.в *u*, *p*, *v*, *f* – параметры образования ВП; *u'*, *p'*, *v'*, *f'* – их значения в рамках некоторой, заданной при расчёте, области. Смысл функций *min*, *max*, *delta* тот же, однако *delta* здесь всегда подразумевает наличие многих значений в области.

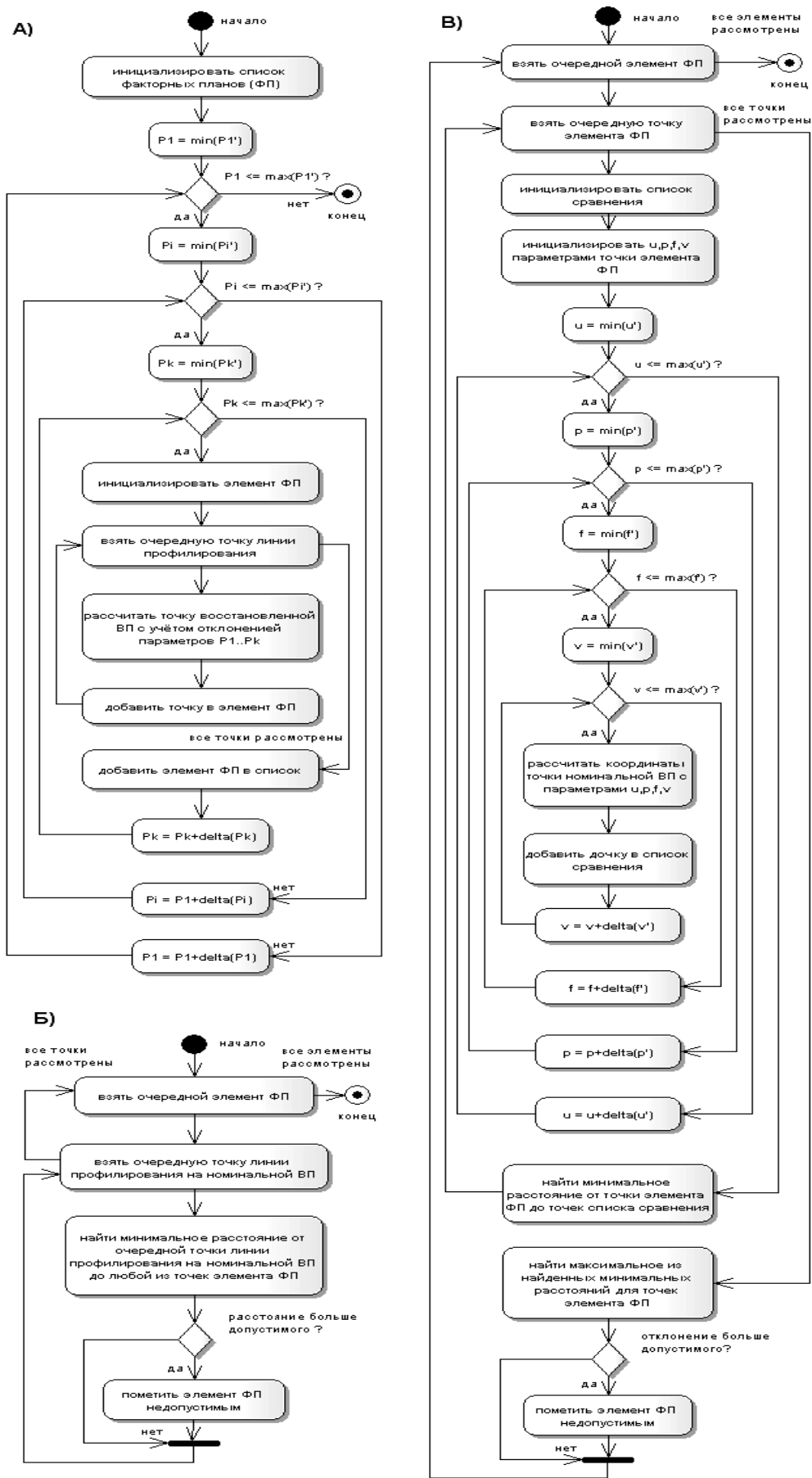


Рисунок 4 – Алгоритмы расчета отклонений:
 а) общая первая часть алгоритмов, б) алгоритм на основе сравнения линий профилирования,
 в) алгоритм на основе расстояния до «пятна» номинальной ВП

Разработанные алгоритмы были реализованы в прототипе ИПС для расчёта профиля дисковых фрез для обработки ВП [5]. Было установлено следующее. Первый и второй алгоритм дают совершенно идентичные результаты (с учётом дискретности расчётов, т.е. заданием изменений параметров с определённым, отличным от нуля шагом). Первый и третий алгоритмы дают немного отличные данные. Алгоритмы были протестированы на различных схемах установки инструмента, с различными допусками на параметры установки, и при различном разбросе параметров для третьего алгоритма. В некоторых случаях алгоритмы дали идентичные результаты. В процентном отношении, разница в среднем составляла 0.1% при стандартном отклонении 0.27%: несколько значений, как правило, отличаются на 0.5% и более. В худшем случае разница достигала 17% у двух значений из 80 элементов ФП.

Следует заметить, что для расчёта точности по третьему алгоритму дополнительно необходимо сформировать размер «пятна поиска» - участка номинальной ВП при изменении u , p и фиксации v , f . Увеличение этого пятна сверх определённых значений не приводит к изменениям результирующих данных алгоритма, но ведет к росту затрат ресурсов ЭВМ.

ВЫВОДЫ

Разработана методика определения влияния погрешностей установки инструмента на точность его профилирования с помощью трехмерного отображения схемы формообразования.

Разработана интерактивная система, позволяющая профилировать инструмент для сложных составных полузакрытых винтовых поверхностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брусов, С.И. Профилирование дисковых фрез для обработки винтовых поверхностей на основе виртуального отображения кинематической схемы резания / С.И. Брусов, М.В. Жуплов, А.С. Тарапанов. «Фундаментальные и прикладные проблемы техники технологии» Известия ОрелГТУ. Орел: ОрелГТУ, 2008. №1/269 (544), с.41-45.
2. Жуплов, М.В. Профилирование дисковых фрез для обработки полузакрытых винтовых поверхностей. / М.В. Жуплов, А.А. Агарков, С.И. Брусов, А.С. Тарапанов. Известия ОрелГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2008, №3-3/271. – С. 10-13
3. Зильбербург, Л.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении / Л.И. Зильбербург, В.И. Молочник, Е.И. Яблочников. СПб: «Компьютербург», 2003. 152 с.; ил. ISBN 5-93463-004-0
4. Спецификация языка UML v.2.1.2 [Текст] // Режим доступа: URL: <http://www.omg.org/spec/UML/2.1.2/Infrastructure/PDF/>
5. Интерактивная программная система для демонстрации процесса лезвийной обработки винтовых поверхностей А.Л. Правдин. Материалы международной научно-практической конференции Новые информационные технологии в образовании (НИТО) / Екатеринбург: изд-во РГППУ, 2009 г., том 2. / с. 49-50.

Жуплов Михаил Васильевич

Орловский государственный технический университет, г.Орёл
Аспирант кафедры «ТМиКТИ»
Тел.: 8(960)648 76 48
E-mail: chuplov@yandex.ru

Правдин Алексей Леонидович

Орловский государственный технический университет, г.Орёл
Аспирант кафедры «Информационные системы»
Тел.: +7 (4862) 41-98-09
E-mail: pravdinalex@mail.ru

Агарков Александр Алексеевич

Орловский государственный технический университет, г.Орёл
Аспирант кафедры «ТМиКТИ»
Тел.: 8(910)301 05 63
E-mail: agarkov85@mail.ru

Тарапанов Александр Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г.Орёл
Доктор технических наук, профессор
Тел.: 8(920)287 77 74

Ю.С. СТЕПАНОВ, М. А. БУРНАШОВ, М.А. СТЕПАНИЩЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОПЛОВОГО ИНСТРУМЕНТА И СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ДЛЯ ГИДРОСТРУЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье представлена характеристика современного соплового инструмента и средств технического оснащения ведущих мировых фирм-производителей для реализации различных гидроструйных технологий.

Ключевые слова: сопловый инструмент, гидроструйная технология, средства технического оснащения, сопловый аппарат.

In article the characteristic of a modern devices of the nozzle and means of a hardware of leading world firms-manufacturers for realisation of various hydrojet technologies is presented.

Key words: nozzle the tool, hydrojet technology, means of a hardware, nozzle the device.

Конфигурация соплового инструмента зависит, прежде всего, от типа выполняемых работ. Наиболее распространенными из них являются следующие:

- гидравлическая резка различных материалов высокоскоростными струями воды высокого давления;
- гидроабразивное резание твердых материалов, где струя воды высокого давления используется для разгона абразивных частиц;
- очистка различных поверхностей струями воды высокого давления.

В зависимости от этого в качестве рабочего инструмента может выступать струеформирующее устройство, гидроструйная штанга (пистолет) или гидроабразивная головка.

Наиболее сложным и дорогостоящим элементом является струеформирующая насадка (сопло). Ее предназначение – формирование высокоскоростной струи высокого давления. В связи с этим, сопло имеет малое проходное сечение (0,1 – 2 мм), изготовление которого является трудоемкой задачей.

Для реализации гидроабразивного резания применяется гидроабразивный инструмент. На рисунке 1 представлена схема такого инструмента, реализующая захват абразива по методу увлечения.

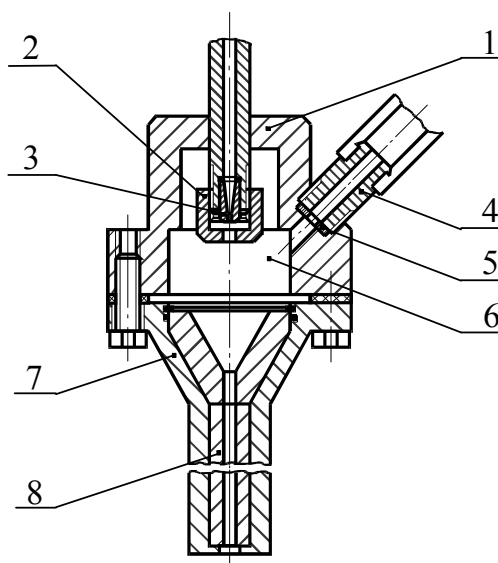


Рисунок 1 – Схема гидроабразивного инструмента

На рисунке 1 основные конструктивные элементы гидроабразивного инструмента имеют следующие обозначения: 1 - корпус; 2 - гайка; 3 - струеформирующее сопло (насадка); 4 - штуцер; 5 - дроссельная шайба; 6 - камера смешивания; 7 - конфузор; 8 - коллиматор.

Гидроабразивный инструмент серийно выпускают такие фирмы, как FLOW Inc.(модель PASER®3), NLB (модель Nlb-6020-Ас), HAMMELMANN, PROCER (Франция). Причем если первые три фирмы предлагают потребителю гидроабразивный инструмент только в составе комплекта оборудования (источник воды высокого давления, система подачи абразива, технологический инструмент и т.д.), то французская фирма специализируется именно на производстве инструмента.

Рукава высокого давления служат для подвода воды высокого давления от источника высокого давления к технологическому инструменту, расположенному на некотором расстоянии. Наличие гибких рукавов во многом определяет мобильность установки, поэтому к ним предъявляются следующие требования:

- достаточная длина и гибкость, минимум промежуточных соединений;
- стойкость к внешнему механическому воздействию;
- значительный запас статической прочности.

В связи с тем, что рукава работают в сложном динамическом режиме, при их проектировании закладываются запасы прочности $n=1,5\div 2$.

В настоящий момент практически все фирмы - производители высоконапорной аппаратуры выпускают в своем комплекте и рукава высокого давления (HAMMELMANN, FLOW, Jettech, NBL и др.). Наиболее прочные рукава, рассчитанные на давление до 1400 МПа выпускаются фирмой Chemac Inc.

Среди отечественных производителей можно выделить фирму "Ювенк" (г.Екатеринбург), выпускающую рукава на давление до 250 МПа, причем их статическая прочность достигает 1000 МПа.

Вспомогательное оборудование.

К вспомогательному оборудованию, входящему в комплект гидроструйного станка, относятся следующие компоненты:

- напорные и безнапорные фильтры (масляные и водяные);
- соединительные и распределительные элементы;
- компенсаторы давления (гидроаккумуляторы);
- координатные столы;
- запорная и управляющая аппаратура;
- средства визуального и автоматического контроля;
- средства аварийной защиты оборудования и индивидуальные защитные средства рабочего персонала.

Как показывает литературный анализ [1-7], в последнее время фирмы-производители стремятся выпускать комплекты высоконапорного оборудования, состоящие из полной номенклатуры всевозможных элементов. Кроме того, намечается тенденция к выпуску блочной аппаратуры, предназначенной для стыковки с другими элементами.

Так, например, фирма FLOW Inc. выпускает блок электронного управления FlowMaster® на базе персонального компьютера, предназначенный для согласования работы различных гидромеханических элементов системы. Этой же фирмой выпускается координатный стол AF-6080 (рисунок 2), предназначенный для подключения различных источников гидравлической мощности и всевозможного технологического инструмента.

Весьма интересен принцип комплектования установок для гидроабразивной резки. Так, известные шведские фирмы ABB I-R и Water jet Sweden AB используют для своих координатных столов и трехкоординатных роботов-манипуляторов источники воды высокого давления германских фирм Uhde Hochdrucktechnik и Ingersoll-Rand. В обоих случаях основным «ноу-хау» фирм являются системы управления и программное обеспечение. При этом фирмы Uhde Hochdrucktechnik и Ingersoll-Rand также предлагают

комплекты для гидроабразивной резки. В то же время мировой лидер фирма "FLOW" комплектует свои установки только элементами и модулями собственного производства.



Рисунок 2 – Координатный стол AF-6080 фирмы FLOW Inc

Также наметилась тенденция выпускать мобильные передвижные комплексы для реализации водоструйных технологий (NBL, Jetech). В качестве примера на рисунке 3 приведена мобильная установка для реализации гидроструйной резки фирмы Jetech.



Рисунок 3 – Мобильная установка для реализации гидроструйной резки фирмы Jetech

Интерес, также, представляет опыт Украинской частной фирмы "Родень", специализирующейся на выпуске и эксплуатации оборудования для гидроабразивной резки.

Гидроабразивный комплекс для раскроя листовых материалов состоит из нескольких функционально - объединенных узлов (рисунок 4), назначение и технические параметры которых приведены ниже.



Рисунок 4 – Гидроабразивный комплекс для раскроя листовых материалов фирмы "Родень"



Рисунок 5 – Станция высокого давления

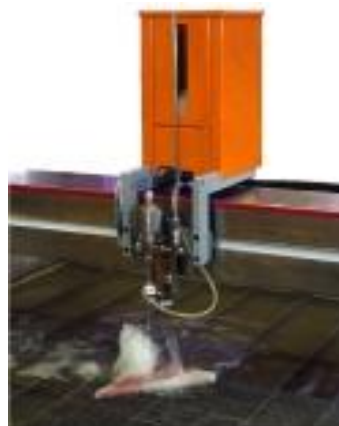


Рисунок 6 – Головка режущая и блок подачи абразива

Станция высокого давления (СВД), представленная на рисунке 5, имеет следующие параметры:

- рабочая жидкость	вода
- вспомогательная жидкость	масло гидравл.
- охлаждающая жидкость	вода
- давление рабочей жидкости, атм., не более	3800
- расход рабочей жидкости, л/мин, не более	3,8
- объем вспомогательной жидкости, л	80
- давление вспомогательной жидкости, атм.	200
- расход охлаждающей жидкости, л/мин	15
- привод	электродвигатель
- установленная мощность, кВт	30
- габаритные размеры, мм	1260x1500x1000
- масса, кг, не более	1000.

Головка режущая и блок подачи абразива (рисунок 6) предназначены для преобразования статического давления рабочей жидкости в кинетическую энергию струи, выполнении собственно процесса резки, а также хранения и выдачи в смесительную камеру абразива. Головка режущая и блок подачи абразива имеют следующие характеристики:

- диаметры устанавливаемых сопел, мм	0,08...0,35
- диаметры твердосплавных насадок, мм	0,8 ... 2,0
- масса, кг	2,5
- расход абразива , кг/мин	0,5
- емкость бункера для абразива, кг.	10
- используемый абразив	гранат / песок речной
- фракция абразива, мм	0,2 ... 0,5.

Станция очистки воды предназначена для забора рабочей жидкости из водопроводной сети, очистки и подачи ее на СВД, имеет следующие характеристики:

- производительность, м ³ /час	0,4
- давление воды на выходе, атм., не менее	3
- размеры взвешенных частиц на выходе, мкм, не более	5
- потребляемая мощность, кВт	0,4

Стол технологический с водосборником и устройством позиционирования (рисунок 7) предназначены для размещения заготовок, приема рабочей жидкости и отходов резания, перемещения режущей головки по заданной траектории.



Рисунок 7 – Стол технологический с водосборником и устройством позиционирования



Рисунок 8 – Микропроцессорный контроллер системы управления

Управление гидроабразивным комплексом осуществляет микропроцессорный контроллер системы управления (рисунок 8), обрабатывающий управляющие команды от компьютера. Для удобства оператора в непосредственной близости к зоне резки установлен пульт оператора с расположенными на нем органами управления комплексом. Операционная среда Windows 95, 98, 2000. Язык программирования позиционера - HPGL.

Данный узел имеет следующие параметры:

- размеры рабочей поверхности, мм, не менее	1600x1150
- максимальный вес заготовки, кг	200
- способ удаления отходов резки	ручной
- точность позиционирования, мкм	10
- максимальная скорость перемещения, м/мин	15
- вспомогательный энергоноситель -	сжатый воздух
- давление воздуха, Атм., не менее	5
- расход воздуха, м ³ /час	20
- потребляемая мощность, кВт	1,5

Цена комплекса с технологическими параметрами без дополнительного технологического оборудования составляет около 65000 USD.

ЛИТЕРАТУРА

1. HAMMELMANN: www.hammelmann.de.
2. Chemac Inc.: www.chemac.com.
3. JETECH Inc.: www.jetech.com.
4. Flow Inc.: www.flowcorp.com.
5. Bohler: www.bht.kom.at.
6. Грот: www.grot.netmail.ru.
7. Uhde Hochdrucktechnik: www.uhde-uh.com.

Степанов Юрий Сергеевич

Доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе ОрелГТУ
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Т. (4862) 47-50-71
E-mail: stepanov@ostu.ru

Бурнашов Михаил Анатольевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
302030, г. Орел, ул. Московская, 34
Т. (4862) 54-15-03

Степанищев Михаил Александрович

Инженер - технолог ОАО «Промприбор», г. Ливны Орловской области

УДК 66.096.5-492(043.3)

Н.В. ЗЕМЛЯКОВ

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗЕРНОПОДСУШКИ

Орловский государственный технический университет запатентовал новую технологию подсушки зерна злаковых культур, организованной в мобильной энергосберегающей установке оформленной в виде схемы

Ключевые слова: энергосберегающая установка, подсушивание зерна.

The Oryol state technical university has patented new technology bean dry grains of the cereal cultures, organized in mobile energy save to installation made out as the circuit

Key words: installation, the minimal expenses energy; drying of grain.

Не одно столетие на Орловщине осуществляется выращивание злаковых культур, которыми в основном являются пшеница, рожь, ячмень и овес. Интенсивная уборка этих культур осуществляется с августа по сентябрь. И в этот же период в указанном регионе всегда выпадают сильные ливневые дожди, которые увлажняют убираемый и уже убранный урожай злаковых культур. Все это ставит задачу по созданию новых технологий и новых устройств, способных с минимальными энергозатратами обеспечивать эффективную подсушку увлажненного осадками зерна злаковых в больших объемах. При этом зерносушильная установка должна быть создана достаточно мобильной, то есть, чтобы все ее агрегаты и компоненты умещались на небольшой, компактной и передвижной колесной платформе.

Кроме того, с учетом развивающегося экономического кризиса и, с учетом постоянного роста энергоресурсов, все новые технические разработки, в том числе и авторские, должны обеспечивать энергосберегающий режим, с одновременной их высокой производительностью.

В данной работе представлена новая технологическая схема, признанная изобретением – «Способ Землякова Н.В. обеспечения зерноподсушки», которая разработана для обеспечения сушки злаковых культур из расчета десять тонн в час. Аналогами предложенной схемы являются известные отечественные разработки [1], [2], [3].

В известном способе [1], «Сушка зерна нагретым воздухом – непрерывная сушка», предназначенного для зерна кукурузы, зерна пшеницы, ржи, ячменя и овса. Для реализации способа, зерно перемешается сверху вниз в сушильной камере под действием силы тяжести при регулировании зерно-потока механическими средствами. Воздух проходит через зерно по мере его движения вниз. Недостатком этого способа является то, что процесс удаления влаги, то есть сушки, протекает при малой порозности зерна при обтекании его теплоносителем. Это связано с тем, что зерно в сушильной камере перемещается под действием силы тяжести и, в следствии этого испаренная влага из нижнего слоя, прежде чем покинуть камеру, вынуждена, поднимаясь через весь слой зерна в камере, все время увлажнять вышележащие слои. Известен также «Способ сушки в передвижных колонковых сушилках», типа СК-2 [2]. В таких сушилках, зерно размещенное определенным слоем в вертикальных колонах прямоугольного сечения, распределяется по длине верхним шнеком, а выгружается нижним шнеком и скребковым транспортером. В таком способе, слой зерно-потока, находящийся между шнеками также имеет низкую порозность а это значит, что вынос испарившейся влаги из такого уплотненного слоя затруднен и малоэффективен. Прототипом нового технического решения выбран «Способ сушки и подсушки зерна реализуемый в «Устройстве для сушки зерна», [3]. В этом, известном способе зерно-поток перемещают по винтовому каналу шнека, размещенного горизонтально, вокруг корпуса

которого установлен спиральный нагреватель. Недостатком способа – прототипа, является то, что процесс сушки зерна осуществляется в межвитковом канале шнека и, в основном кондуктивным методом, то есть локально воздействуя на определенные точки поверхности зерна горячей поверхностью металлической стенки цилиндра и шнека, создавая неравномерность теплопередачи в теле каждого зерна и в массе всех зерен. Кроме того, горизонтальное размещение шнека создает гравитационное оседание зерна в нижнюю часть корпуса обеспечивая его уплотнение и, следовательно, повышенное истирание зернопродукта и его разрушение.

Запатентованная ОрелГТУ технологическая схема зерноподсушки, согласно рисунка 1, в своем составе содержит:

- сушильную камеру змеевикового типа с вертикальной осью симметрии;
- дозатор зерна;
- пылеуловитель со встречными закрученными потоками;
- центробежный вентилятор высокого давления;
- пневмокомпрессор;
- соединительный трубопровод для пневмотранспорта зерна.

Технологическая схема зерноподсушки реализуется по следующей схеме:

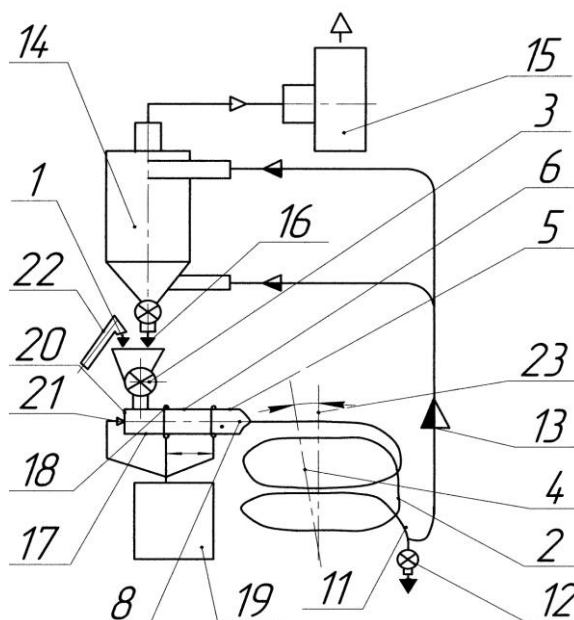


Рисунок 1 – Технологическая схема способа

Зерно-поток 1 подают в сушильную камеру 2 из питающего дозатора 3 и перемещают его по закрученному в несколько витков вокруг ее вертикально ориентированной оси 4, по трубчатому спиральному каналу 5. При этом, всю длину канала 5 разбивают на секции 6 с шагом t между собой и, на входе в каждую секцию 6, в зерно-поток вводят высокоскоростные, подъемно транспортирующие, эжектирующие струи 7 воздуха-теплоносителя. Струи 7 размещают равноудалено друг от друга по внутреннему круглому периметру каждой секции 6, с возможностью синхронного отклонения всех струй 7 на угол α или β , от осевого относительно внутренней стенки трубчатой секции 6 и обеспечивают этим самым закрутку зерно-потока 1 в каждой секции 6 вокруг ее оси 8 и суммарно по длине всего канала 5 в направлении 9 (по часовой стрелке) или в направлении 10 (против часовой стрелки) по ходу движения зернопотока 1. На выходе из нижнего витка 11 спирального канала 5 зерно-поток 1 направляют в выгрузной дозатор 12 и далее выводят в тару либо в борт, а влажный воздух 13 отделяют от потока зерна 1 и подают в аппарат 14 – пылеуловитель со встречными закрученными потоками, где отделяют влажный воздух 13 и

выводят его с помощью вентилятора 15 в атмосферу, а уловленные случайно проскочившие зерно 16 и пыль снова вводят в питающий дозатор 3, из которого это зерно 16 и зерно-поток 1 вводят в верхний виток 17 спирального канала 5 перекрестно к его оси 8, при этом воздушные струи 7 для каждой секции 6 формируют и подают из секционных коллекторов 18, в которые воздух-теплоноситель подают от одного теплогенератора 19, кроме того, к торцевой стенке 20 верхнего витка 17 канала 5, также подводят эжектирующие струи 21. Зерно предназначенное для подсушки подается в дозатор 3 непосредственно из бурта или из бункера с помощью скребкового или шнекового транспортера 22. Ось 4 сушильной камеры 2 устанавливают на угол γ относительно вертикальной оси 23.

Полезность новой технологии заключается в том, что: во-первых, ее реализация может выполняться как в стационарном устройстве, так и в мобильном на колесной тележке, размещаемом, например непосредственно на зерновом току или в складском помещении фермерского хозяйства; во-вторых, эффективность сушки зерна осуществляется в вынужденном конвективном, прямоточном потоке, обеспечивающим непрерывный спуск зерно-потока сверху вниз; в-третьих, наличие высокоскоростных, подъемно транспортирующих, эжектирующих струй обеспечивает движение зерно-потока в пневмотранспортном режиме, а зерно, находящееся в этом режиме с большой порозностью и, при омывании его теплоносителем, обеспечивает достаточный прогрев зерна с быстрым и эффективным отделением и выносом влаги. Использование в способе лишь одного вентилятора установленного в линии очищенного воздуха, позволяет вести процесс зерноподсушки в энергосберегающем режиме и обеспечивать сохранность и долговременность работы техники. Кроме того, данный способ вписывается в рамки государственной программы разработки новых технологий на уровне нанотехнологий. Это обеспечивается тем, что вращение взвешенного в пневмотранспортном режиме движения зерно-потока по часовой стрелке или против часовой стрелки, в спирально-трубчатом канале 5 сушильной камеры 2 способствует переходу кинетической энергии вращения в потенциальную энергию продукта в рамках спин-осциляторной модели [4], что повышает потребительские качества зерна, как при его хранении, так и для всхожести, так и для пищевых продуктов из него изготовленных [5]. Использование в качестве пылеуловителя аппарата со встречными закрученными потоками (ВЗП), позволяет повысить, как эффективность зерно- и пылеулавливания, так и досушку в энергосберегающем режиме, а также снизить механические разрушения зерна, исключая его трение о внутреннюю стенку аппарата [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. www.gscor.com/public/dry.html
2. www.ugsha.narod.ru
3. Авторское свидетельство СССР №1730517
4. www.kotov.u-sonic.ru Б.Котов, В.Хмелев. Классические подходы к механике микромира в популярном изложении (стр.9).
5. Бобров, А.В. Полевые информационные взаимодействия / А.В. Бобров. Сборник трудов. – Орел: ОрелГТУ, 2003. – 569с, (стр.330).
6. Сажин, Б.С. Основы техники сушки / Б.С. Сажин. М.: Химия, 1984. – 320с.

Земляков Николай Васильевич

Орловский государственный технический университет, г.Орел

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств»

Г. Орел, ул. Московская, 65

Тел. (4862) 551187

E-mail: mapp@au.ru ; n-zemljakov@orel.ru

УДК 687.174:[331.45:621

Т.В. КВАСКОВА, А.А. ТАРАПАНОВ

ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ТКАНЕЙ ПЫЛЕЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье предлагается устройство экспериментальной установки для исследования воздухопроницаемости тканей для пылезащитной одежды. Приводятся результаты экспериментального исследования, позволяющие выбирать пылезащитную ткань в зависимости от конкретных производственных условий.

Ключевые слова: ткань, воздухопроницаемость, пылезащитная одежда, машиностроительное производство, специальная одежда.

In clause the device of experimental installation for research of air permeability is given. Results of the experimental research are resulted, allowing to choose a dustproof fabric depending on concrete industrial conditions.

Key words: a fabric, air permeability, dustproof clothes, the machine-building manufacture, special clothes.

Важнейшим элементом общей защиты работающих от вредных и опасных производственных факторов является эффективное использование специальной одежды, обеспечивающей для каждого конкретного случая наименьшее поступление вредных веществ в организм человека при минимуме дополнительных нагрузок на его физиологические системы.

Концентрация пыли, находящейся в воздухе различных производств меняется в очень широких пределах от 1–3 до 400 мг/м³. Большинство этих веществ, представляют собой малолетучие соединения в виде твердых и жидких аэрозолей средней и малой токсичности. Они могут оказывать кожно-резорбтивное действие, то есть проникать в организм человека через неповрежденную кожу. Исследования, которые проводились в отношении защиты кожных покровов в этих условиях, ограничены главным образом, разработкой и конструированием пылезащитной одежды, изолирующих костюмов и спецодежды из нетканых материалов.

Способность материалов пропускать воздух характеризуется воздухопроницаемостью V_p , дм³/(м²·с), которая определяется количеством воздуха, проходящего через единицу площади в единицу времени при определенной разнице давлений p , Па (1 Па ≈ 1,102 мм вод.ст.) по обе стороны материала [1].

Воздухопроницаемость – важная характеристика естественной вентиляции пододежного пространства. Этот показатель приобретает особое значение для тканей пылезащитной одежды, которые с одной стороны должны задерживать максимальное количество пыли, с другой обеспечивать комфортные условия труда для работников занятых, как правило, тяжелым физическим трудом в промышленности и сельском хозяйстве [2].

Воздухопроницаемость с одной стороны, способствует вентиляции пододежного слоя воздуха и удалению углекислоты, содержание которой вызывает плохое самочувствие человека. С другой стороны, воздухопроницаемость способствует проникновению пыли пододежное пространство на запыленных машиностроительных производствах, что также негативно сказывается на самочувствии человека. Вследствие гигроскопичности волокон тканей ее масса может существенно меняться в зависимости от окружающей среды, что позволяет регулировать потоотделение человека.

Для экспериментального исследования воздухопроницаемости пылезащитных тканей в Орловском государственном техническом университете была спроектирована специальная установка (рисунок 1) [2, 3].

Экспериментальные исследования воздухопроницаемости тканей и материалов выполнены в следующей последовательности. Испытываемые образцы диаметром 30 мм и

высотой 4 мм в количестве не менее 10 штук вырезаются из отобранных и рассмотренных ранее под микроскопом проб.

При испытаниях образец ткани закрепляется в измерительной ячейке, откидной клапан закрывается и в емкость нагнетается воздух до давления 40 мм вод.ст. Затем перекрывается вентиль, соединяющий емкость и нагнетатель и запускается автоматизированная система сбора, обработки и представления данных измерения. По истечению 2–3 минут до установления равновесной с окружающей средой температуры воздуха, открывают откидной клапан и избыточная часть воздуха из емкости медленно за 10÷1000 секунд проходит через образец. Медленное расширение воздуха в емкости практически является изотермическим хотя наблюдается незначительное уменьшение его температуры. По расчетным оценкам даже при быстром расширении, уменьшение температуры не превышает 0,5°C. В экспериментах это уменьшение составляло не более 50% выше указанного предела.

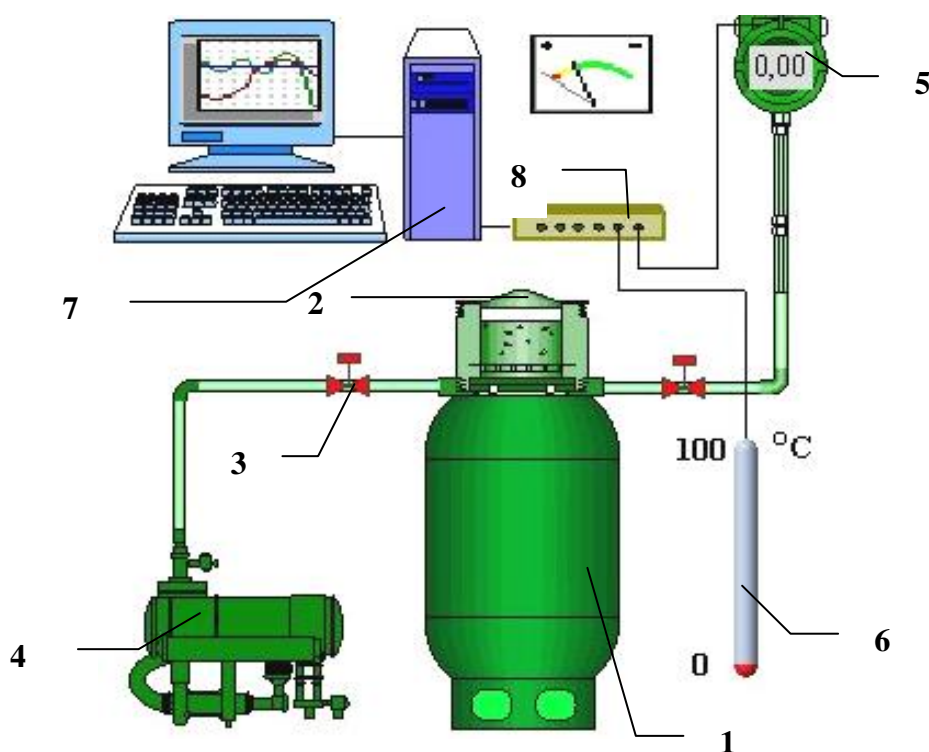


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки

*1 – герметическая емкость (объем 280 л), 2 – узел крепления, 3 – запорный вентиль,
4 – компрессор для создания в емкости избыточного давления воздуха 0,5 кПа,
5 – датчик давления, 6 – датчик температуры, 7 – компьютер,
8 – аналого-цифровой преобразователь*

Преобразованный сигнал, переданный в компьютер в течение заданного числа циклов, формирует массив данных, по которым рассчитывается среднее давление в рассматриваемом интервале времени. Эта величина вычитается из значения давления на предыдущем испытании, и полученное изменение давления делится на заданный интервал времени.

Система измерений автоматически производит расчеты и строит график зависимости расхода воздуха в единицу времени от давления.

Графическое представление данных, сохраняется в компьютере в цифровом виде для последующей обработки, предусматривающей получение коэффициентов уравнения регрессии и статистической оценки разброса и достоверности экспериментальных данных. Массив значений давления и расхода воздуха автоматически регистрируется в Excel, т.к. программная среда LabVIEW полностью соответствует операционным системам Windows 98/2000/XP, MacOS и др. [4].

Для измерения перепада давления на испытываемом образце ткани использовались дифференциальные датчики давления Motorola MPX5010CP чувствительностью 450 мВ/кПа и диапазоном измерения от -10 до $+10$ кПа (± 100 мм вод.ст.). В качестве датчиков температуры применялись высокочувствительные герметизированные терморезисторы ТРА-2 (температурный коэффициент сопротивления этих датчиков при 25°C равен $-0,023$ 1/К). Датчики изготовлены из полупроводниковых монокристаллов синтетического алмаза, что обеспечивает стабильность их основных параметров в течение длительного срока эксплуатации. Кроме того, датчики обладают малой тепловой инерционностью, что связано с их малыми габаритами (диаметр 1,2 мм, длина 4,0 мм). Датчики подключаются к цифровому измерительному комплексу на базе компьютера Pentium 3 с аналого-цифровыми устройствами входа и выхода сигналов EX-2204 компании National Instruments (7). С электрических датчиков подаются сигналы на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) (8) и в цифровом виде вводятся в компьютер, отфильтровываются от случайных помех и обрабатываются в реальном режиме времени по заданному алгоритму. На экране монитора строится зависимость объемного расхода воздуха от перепада давления на ткани, и автоматически рассчитываются коэффициенты уравнения аппроксимирующей степенной функции.

Многоканальная компьютерная информационно-измерительная система, осуществляет автоматический сбор, обработку и представление данных эксперимента с демонстрацией изучаемых параметров на мнемосхеме установки.

АЦП обеспечивает выход сигналов датчиков с погрешностью не более чем 0,5% от задаваемой величины сигнала.

Цифровые сигналы с АЦП, поступают на блок масштабирования, преобразующий напряжения в физические величины перепадов давления в мм вод.ст. и температуры в $^\circ\text{C}$. Далее коллектор, составляет ограниченные до 100–200 значений выборки получаемых данных, которые направляются в блок статистической обработки, работающий здесь как цифровой фильтр случайных помех.

Осредненный на малом интервале времени 0,5 с сигнал одновременно подается на 3 виртуальные устройства – осциллограф, регистрирующий текущее значение перепада давления; блок сравнения, отключающий работу цикла, и терминал вывода массива экспериментальных данных.

Последовательность проведения испытаний включает отбор проб, заполнение емкости, запуск системы, запуск программы обработки, типовой график получаемой зависимости, корректировку массивов для удаления неадекватных результатов, автоматический останов, пересчет результатов

При частоте опроса датчика давления 10 циклов за время одного испытания получается несколько десятков экспериментальных точек. Анализ достоверности величин, полученных в результате эксперимента, производился с помощью известных методов математической статистики. При этом используются стандартные методы и программы оценки результатов эксперимента.

Определение проницаемости пористых материалов с использованием автоматизированной обработки данных в среде LabVIEW позволяет повысить информативность экспериментов, резко сократить время их проведения и применять оптимальные алгоритмы обработки данных. Предложенный метод позволяет оценить воздухопроницаемость всех образцов тканей и материалов и сравнить воздухопроницаемость традиционных и новых тканей.

Исследования воздухопроницаемости проводилась для следующих артикулов пылезащитных тканей: 3054 «Молескин», 3179 «Дозор», 82060 «Грета», 80036 плащевая с пропиткой, WVRI-1020N Ripstop, «Серебрянка» 100% ПЭ антистатика, ELN-0201, «Оксфорд» 210ДРИ полиуретановое наполнение.

Ткани были разделены на три группы:

1. Хлопчатобумажные – 3054 «Молескин» и 3179 «Дозор»;

2. Плащевые – 82060 «Грета» и 80036 плащевая с пропиткой;
3. Мембранные – WVRI-1020N Ripstop, «Серебрянка»100% ПЭ антистатика, ELN-0201, «Оксфорд» 210ДРИ полиуретановое наполнение

Проведенные испытания показали, что лучшей воздухопроницаемостью обладают ткани первой группы «Молескин» и «Дозор». Третья группа имеет наиболее низкую воздухопроницаемость. Воздухопроницаемость второй группы имеет промежуточные значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жихарев, А.П. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Жихарев, Д.Г. Петропавловский, С.К. Кузин, В.Ю. Мишаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 448с.
2. Кваскова, Т.В. Повышение эффективности специальной одежды для работников машиностроительных предприятий монография / Т.В. Кваскова, А.А. Тарапанов. – М.: Издательство Машиностроение-1, 2007. – 160с.
3. Горбачев, Н.Б. Установка для исследования воздухопроницаемости тканей. Электронный каталог. «Лабораторные практикумы в среде LabVIEW» / Н.Б. Горбачев, Т.В. Галаган, Т.В. Кваскова.
4. Тревис, Дж. LabVIEW для всех / Джеффи Тревис: Пер. с англ. Клушин Н.А. – М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. – 544с.

Кваскова Тамара Викторовна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры ТИКШИ
302030, г. Орел, ул. Московская, 65
Тел. (4862) 55-11-20
E-mail: annaalisa@yandex.ru

Тарапанов Андрей Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Дизайн»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65
Тел. (4862) 55-24-69
E-mail: tarapanov@yandex.ru

УДК 621.822.6-97: 621.317.757.08

Н.В. ДАВЫДОВА, С.Ф. КОРНДОРФ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТНОЙ ЯЧЕЙКИ

Статья посвящена определению параметров емкостной измерительной ячейки: ёмкости и сопротивления потерь, значения которых зависят от множества внешних факторов.

Ключевые слова: емкостная ячейка, диэлектрик, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь.

The article is devoted to determination of parameters of capacity measuring cell: capacities and resistances of losses the values of which depend on the great number of external factors.

Keywords: capacity cell, liquid dielectric, dielectric constant, the dielectric power factor.

При диагностике жидких диэлектриков в качестве диагностических параметров часто используют диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь. Для их определения исследуемый диэлектрик заливают в специальную измерительную ячейку и измеряют ёмкость между электродами ячейки и сопротивление потерь. Однако при этом обычно определяют некоторые ёмкость и сопротивление потерь, которые зависят не только от параметров исследуемого диэлектрика, но и от целого ряда факторов, таких как конструктивные особенности ячейки, материалы изоляционных прокладок, способа подключения ячейки к измерительной цепи и т.д. Поэтому для проведения измерений параметров диэлектрика необходимо предварительно определить параметры самой ячейки.

Обычно измерительные ячейки представляют собой либо плоский, либо цилиндрический конденсатор. Недостатком цилиндрической ячейки является неравномерность электрического поля между электродами, что вызывает разную степень поляризации исследуемой жидкости. В ячейках в виде плоского конденсатора напряжённость электрического поля одинакова во всех точках, кроме того, в них более точно соблюдается эквидистантность поверхностей электродов. Однако их недостатком является большее влияние краевых эффектов по сравнению с цилиндрической ячейкой. Несмотря на этот недостаток, при измерении диэлектрической проницаемости предпочтение отдают обычно плоской конструкции. Измерительная ячейка должна отвечать требованиям ГОСТ 6581-75 [1]. В конструкции измерительной ячейки, используемой в [2], была увеличена рабочая площадь электродов по сравнению с гостированной ячейкой для уменьшения влияния краевого эффекта, увеличения ёмкости ячейки и повышения относительной точности измерения последней. Конструкция этой ячейки представлена на рисунке 1.

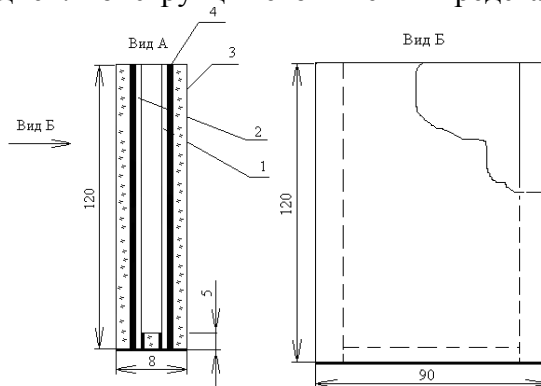


Рисунок 1 – Конструкция емкостной измерительной ячейки
1,2 – измерительные электроды, 3 – твёрдый изоляционный материал – стекло,
4 – твёрдый изоляционный материал – клей

Измерительная ячейка представляет собой плоский конденсатор, электроды которого выполнены из алюминиевой фольги, наклеенной на стеклянные пластины клеем «Монолит», непроводящим электрический ток. По краям внутренней части электродов (кроме верхнего края) проложены изоляционные прокладки из стекла шириной 5мм, которые зафиксированы при помощи того же клея. В соответствии с ГОСТ 6581-75 расстояние между электродами d составляет 2 мм. Пространство между электродами ячейки заполняется исследуемым жидким диэлектриком с помощью медицинского шприца. Для устранения появления воздушных пузырей внутри диэлектрика в процессе заполнения ячейки жидкость из шприца подаётся на стенки ячейки, и диэлектрик заполняет ячейку, стекая по её стенкам.

Площадь рабочей части электродов составляет $S_p = 80 \cdot 115 = 9200 \text{ мм}^2$, а площадь нерабочей части стенок ячейки, в которой диэлектриком являются стеклянные прокладки, составляет: $S_c = (5 \cdot 120) \cdot 2 + 5 \cdot 80 = 1600 \text{ мм}^2$.

При этом полная ёмкость ячейки

$$C_{\text{я}} = C + C_c + C_m = C + C_{\text{п}}, \quad (1)$$

где C - ёмкость, образованная рабочими участками электродов, разделёнными исследуемым диэлектриком;

C_c - ёмкость образованная участками электродов, разделёнными стеклянными прокладками;

C_m - ёмкость монтажа;

$C_{\text{п}} = C_c + C_m$ - паразитная ёмкость.

Геометрический параметр рабочей части ячейки [3], так называемая константа ячейки

$$\alpha = \frac{S_p}{d} = 4600 \text{ мм}. \quad (2)$$

Без учёта краевых эффектов рабочая емкость ячейки, заполненной исследуемым диэлектриком, определяется

$$C = \alpha \epsilon_0 \epsilon_x, \quad (3)$$

где $\epsilon_0 = 8,84418782 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] - диэлектрическая постоянная;

ϵ_x - диэлектрические проницаемости исследуемого диэлектрика.

Эквивалентная электрическая схема ячейки, учитывающая потери R в рабочей и R_c нерабочей частях ячейки, представлена на рисунке 2.

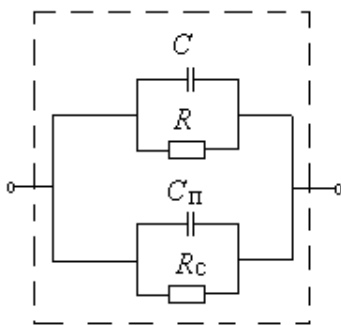


Рисунок 2- Эквивалентная электрическая схема измерительной ячейки

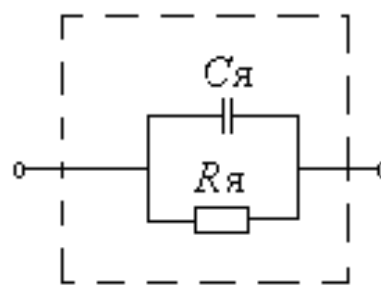


Рисунок 3 – Упрощённая эквивалентная схема измерительной ячейки

Вследствие влияния краевого эффекта реальные значения константы ячейки ёмкостей C и $C_{\text{п}}$ несколько отличаются от расчётных. Поэтому при проведении точных измерений необходимо предварительно экспериментально определить реальные значения константы ячейки, указанных емкостей и сопротивлений потерь. При экспериментальных исследованиях целесообразно заменить приведённую эквивалентную электрическую схему ячейки на упрощённую, представленную на рисунке 3.

Полное сопротивление потерь такой ячейки:

$$R_{я} = \frac{RR_c}{R + R_c}, \quad (4)$$

а сопротивление потерь рабочей части ячейки:

$$R = \frac{R_{я}R_c}{R_c - R_{я}}. \quad (5)$$

Для экспериментального определения параметров (калибровки [4]) ячейки её заполняют эталонной жидкостью и измеряют полную ёмкость и сопротивление потерь ячейки каким-либо из известных методов, обеспечивающих требуемую точность. В этом случае

$$C_{я} = \alpha_p \varepsilon_0 \varepsilon_{эж} + C_{п}, \quad (6)$$

где $\varepsilon_{эж}$ – значение диэлектрической проницаемости эталонной жидкости;

α_p – реальное значение константы ячейки.

Реальное значение ёмкости рабочей части ячейки:

$$C = \alpha_p \varepsilon_0 \varepsilon_{эж}. \quad (7)$$

Приведённое уравнение не позволяет определить два неизвестных α_p и $C_{п}$, поэтому необходимо провести дополнительное измерение параметров ячейки до её заполнения эталонной жидкостью.

В этом случае

$$C_{яв} = \alpha_p \varepsilon_0 \varepsilon_{в} + C_{п}, \quad (8)$$

где $\varepsilon_{в}$ – диэлектрическая проницаемость воздуха;

$C_{яв}$ – ёмкость пустой ячейки.

Принимая $\varepsilon_{в} = 1$, получаем систему уравнений (6) и (8), решая которую находим:

$$\alpha_p = \frac{C_{я} - C_{яв}}{\varepsilon_0 (\varepsilon_{эж} - \varepsilon_{в})}. \quad (9)$$

Подставив (9) в одно из уравнений системы, находим выражение для определения паразитной ёмкости $C_{п}$:

$$C_{п} = C_{я} - \alpha_p \varepsilon_0 \varepsilon_{эж}. \quad (10)$$

Сопротивление потерь R_c нерабочей части измерительной ячейки может быть определено путём измерения параметров пустой ячейки. В этом случае можно считать что сопротивление потерь пустой ячейки $R_{яв}$ обусловлено лишь сопротивлением потерь в стекле R_c , так как сопротивление потерь воздуха очень мало и им можно пренебречь, т.е.

$$R_{яв} \cong R_c. \quad (11)$$

В используемой конструкции ячейки краевой эффект проявляется несколько больше, чем в том случае, когда один электрод ячейки практически полностью охватывается вторым электродом. Если диэлектрическая проницаемость жидкости $\varepsilon_{ж}$, заполняющей ячейку, меньше диэлектрической проницаемости стекла ε_c , то электрическое поле рабочей части ячейки «выпучивается» в сторону боковых стеклянных стенок ячейки. Это явление приводит к некоторому увеличению значения константы ячейки. При $\varepsilon_{ж} > \varepsilon_c$ значение константы ячейки несколько уменьшается. Для оценки влияния значения диэлектрической проницаемости жидкости на значение константы ячейки калибровку последней следует проводить как минимум при двух эталонных жидкостях, диэлектрические проницаемости которых значительно различаются.

Если влияние указанного эффекта необходимо учитывать, то калибровку следует проводить при эталонной жидкости, диэлектрическая проницаемость которой близка к диэлектрической проницаемости исследуемой жидкости. Погрешность определения константы ячейки зависит от погрешности измерения полных емкостей ячейки $C_{я}$ и $C_{яв}$. Причём абсолютная погрешность измерения возрастает с увеличением их значений и,

следовательно, с увеличением паразитной ёмкости за счёт увеличения ёмкости монтажа. Уменьшение ёмкости монтажа может быть достигнуто тремя способами:

- 1- рациональным расположением выводов ячейки и проводов (выводы электродов и провода максимально разносятся друг от друга, причём длина проводов делается возможно короче);
- 2- параллельно ячейке включается индуктивность, проводимость которой компенсирует проводимость ёмкости монтажа (данный способ применяется при измерениях на одной частоте);
- 3- путём компенсации тока утечки через ёмкость монтажа, как показано на рисунке 4.

В последнем случае электрод 1 ячейки 2 заземляется, а измерительный электрод 3 соединяется со входом эмиттерного повторителя, на который подаётся по центральному проводу 4 коаксиального кабеля с двумя изолированными друг от друга экранами 5 и 6 напряжение, подведённое к ячейке от измерительной схемы. Выходное напряжение с эмиттерного повторителя подаётся на измерительный прибор PV. Вместо эмиттерного повторителя может использоваться какое-либо другое устройство с коэффициентом передачи, близким к единице, и практически не сдвигающего фазу колебаний.

Одновременно это же напряжение подаётся на внутренний 5 и внешний заземлённый 6 экраны. При этом потенциалы внутреннего провода 4 и экрана 5 оказываются равными и ёмкостные токи и токи утечки между ними отсутствуют. Таким образом, ёмкость монтажа не влияет на работу ячейки. Экранировка внешней поверхности может быть осуществлена аналогичным образом. Для этого на внешнюю стенку ячейки параллельно измерительному электроду 3 устанавливается металлическая пластина –

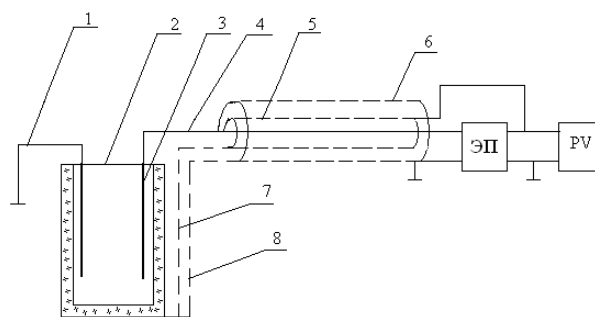


Рисунок 4 – Схема компенсации тока утечки через ёмкость монтажа

экран 7, соединённый с внутренним цилиндрическим экраном 5 кабеля. На этот экран наносится слой изоляции, на который наклеивается вторая металлическая экранирующая пластина 8, соединённая с внешним цилиндрическим экраном 6 кабеля. При этом ликвидируется ёмкостная утечка с внешней стороны измерительного электрода на землю.

По результатам калибровки ячейки, заполненной эталонными жидкостями, определяются значения параметров ячейки в соответствии с выражениями (5), (7) и (9).

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 6581-75. Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний.
2. Давыдова, Н.В. Определение параметров ёмкостной ячейки методом вольтметра-амперметра / Н.В. Давыдова, С.Ф. Корндорф, Т.И. Ногачёва. Известия ОрёлГТУ. Серия Машиностроение и приборостроение, 2008. № 3.
3. Тареев, Б.М. Физика диэлектрических материалов / Б.М Тареев. – М.: Энергия, 1973. – 328 с.
4. Калинин, В.В. Способ и устройство для измерения сопротивления водных электролитов / В.В. Калинин, А.В. Казак. Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2008. – № 8.– Том 74. – С. 46-48.

Давыдова Надежда Владимировна

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
Аспирант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»,
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. (0862)419876
E-mail: pms@ostu.ru

Корндорф Сергей Фердинандович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
Доктор технических наук, профессор кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. (0862)419876
E-mail: pms@ostu.ru

К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, В.В. МАРКОВ

МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

В этой статье сформулирована актуальность проблемы количественной оценки эффективности отдельных процессов и системы менеджмента качества в целом. Сделан обзор возможных подходов к решению поставленной задачи, составлена система показателей качества объекта исследований. Изложена методика количественной оценки эффективности процессов и систем менеджмента качества на основе метода FMEA.

Ключевые слова: качество; система менеджмента качества; эффективность процесса; показатель качества; методика; метод FMEA; методы менеджмента качества.

In this article is formulated the actual of problem the quantitative appraisal of effecting the separate processes and system quality management in the whole. Is make the survey of possible approaches to the decision the putting problem, is draw up the system indexes of quality the object researches. The methodic of quantitative appraisal of effecting the processes and system quality management on the base of the method FMEA is give on accounted.

Key words: quality; system quality management; effecting of process; index of quality; methodic; method FMEA; methods of quality management.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ И ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Проблема количественной оценки эффективности отдельных процессов и системы менеджмента качества (СМК) в целом является актуальной при обосновании инженерных и управленческих решений и проектов в различных сферах общественных отношений.

Экономическая оценка эффективности проектов недостаточно достоверна, так как весьма сложно выявить все факторы достижения экономического эффекта (он может быть вызван не только предложенным решением, но и рядом других причин, которые не принимались во внимание). Квалиметрические методы оценивания эффективности проектов существуют, но последние известные достижения в этой области были получены относительно давно, и сейчас недостаточно широко используются в практических целях [1]. Наиболее перспективным представляется использование для оценки эффективности отдельных процессов и СМК в целом метода FMEA, адаптированного к решению подобного рода задач. Разработка рекомендаций по применению метода FMEA для оценки эффективности проектных решений является целью настоящей работы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДА FMEA

Анализ видов и последствий потенциальных дефектов (Potential Failure Mode and Effects Analysis, а сокращённо – FMEA) – это формализованная процедура анализа и доработки проектируемого технического объекта, процесса изготовления, правил эксплуатации и хранения, системы технического обслуживания и ремонта данного технического объекта, основанная на выделении возможных (наблюдаемых) дефектов разного вида с их последствиями и причинно-следственными связями, обуславливающими их возникновение, и оценках критичности этих дефектов [2].

Метод FMEA служит инструментом повышения качества разрабатываемых технических объектов. Он направлен на предотвращение дефектов и снижение их негативных последствий. Метод FMEA позволяет проанализировать потенциальные дефекты, их причины и последствия, оценить риски их появления. Это один из наиболее эффективных методов доработки конструкции технических объектов и процессов их изготовления [3,4].

Метод FMEA впервые был предложен разработчиками отраслевого стандарта QS-9000 «Требования к системам качества», в систему документов которого входит руководство «Анализ видов и последствий потенциальных отказов» [5,6]. Стандарт QS-9000 разработан автомобильными компаниями «Форд», «Дженерал-Моторс» и «Крайслер»; он основан на

международных стандартах ИСО серии 9000 версии 2000 года и уточняет требования к системам менеджмента качества предприятий-поставщиков автомобильных компонентов. На основе стандарта QS-9000 и международного стандарта ИСО/ТУ 16949:2002 в 2004 году разработан национальный стандарт ГОСТ Р 51814.1-2004 (ИСО/ТУ 16949:2002) «Системы менеджмента качества. Особые требования по применению стандарта ИСО 9001:2000 в автомобилестроении и организациях, поставляющих соответствующие запасные части» [7]. Указанный национальный стандарт регламентирует проведение FMEA-анализа при проектировании и производстве автомобильных компонентов. Сейчас эта процедура становится необходимым условием конкурентоспособности предприятия, выпускающего запасные части для автомобилей.

Цель проведения FMEA-анализа – доработка конструкции технического объекта или производственного процесса для предотвращения или ослабления возможных последствий их дефектов. *Виды FMEA-анализа*: FMEA-анализ конструкции технического объекта, FMEA-анализ технологического процесса.

FMEA-конструкции (DFMEA) проводят на этапе разработки конструкции технического объекта. Данный метод позволяет предотвратить запуск в производство недостаточно отработанной конструкции, помогает улучшить конструкцию технического объекта и заранее предусмотреть необходимые меры в технологии его изготовления, предупреждая появление или (и) снижая комплексный риск дефекта [2].

FMEA-процесса (PFMEA) проводят на этапе разработки технологического процесса изготовления изделия. Его проведение позволяет предотвратить внедрение в производство недостаточно отработанных процессов [2].

Задачами *FMEA-конструкции* являются [3]:

- 1) определение «слабых мест» конструкции технического объекта и принятие мер по их устранению;
- 2) получение сведений о риске отказов предложенного и альтернативных вариантов конструкции технического объекта;
- 3) доработка конструкции до наиболее приемлемой (с точки зрения технологичности, удобства обслуживания, надежности);
- 4) сокращение дорогостоящих экспериментов.

Задачами *FMEA-процесса* являются [3]:

- 1) обнаружение «слабых мест» технологических процессов и принятие мер по их устранению при планировании производственных процессов;
- 2) принятие решений о пригодности предложенных и альтернативных процессов и оборудования при разработке технологических процессов;
- 3) доработка технологического процесса до наиболее приемлемого (с точки зрения надёжности безопасности для персонала, обнаружения потенциально дефектных технологических операций);
- 4) подготовка серийного производства технических объектов.

FMEA-анализ рекомендуется применять при изменении условий эксплуатации технического объекта, требований заказчика, при модернизации конструкций или технологических процессов и т.п.

В настоящее время применение FMEA-анализа не ограничено автомобильной отраслью. Этот метод применим на предприятиях других отраслей, заинтересованных в улучшении качества разработок, развитии и непрерывном совершенствовании конструкций и технологических процессов. Для адаптации метода FMEA к задачам оценки эффективности процессов СМК наиболее подходящим является FMEA-анализ технологического процесса.

ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ FMEA-ПРОЦЕССА. FMEA-анализ технологического процесса изготовления изделия включает в себя несколько этапов. По проведению каждого из этапов в стандарте [2] приводятся рекомендации и справочные таблицы, однако вся эта информация сугубо специализированная, то есть распространяется только на

технологические процессы изготовления автомобильных компонентов. Рассмотрим содержание каждого этапа.

1 *Формирование FMEA-команды.* FMEA-команда (межфункциональная команда) – это временный коллектив, собранный из различных специалистов специально для анализа процесса производства технического объекта (изделия) и его доработки. В стандарте [2] приводятся требования к компетентности членов FMEA-команды, указывается должности участвующих специалистов и оптимальное число участников. Итогом формирования FMEA-команды является выбор ведущего. Им может быть любой из членов команды, признаваемый остальными как лидер в рассматриваемых вопросах.

2 *Ознакомление с предложенными проектами конструкции изделия.* Ведущий FMEA-команды представляет для ознакомления членам своей команды комплект документов по предложенному проекту технологического процесса изготовления изделия (или несколько вариантов процесса).

3 *Определение видов дефектов, их последствий и причин.* Для конкретного технологического процесса изготовления изделия определяют все возможные виды дефектов. Информацию о возможных видах дефектов получают из опыта производства аналогов или интуитивно. Каждый вид дефектов описывают. Результаты описания заносят в протокол анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов (таблица 1).

Таблица 1 – Рекомендуемая форма протокола [2]

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ПЧР

Для всех описанных видов потенциальных дефектов определяют их последствия. Для каждого вида дефектов может быть несколько последствий, все они должны быть описаны. Последствия дефектов следует описывать признаками, которые может заметить и ощутить потребитель (внутренний или внешний). Все последствия дефектов заносят в протокол (таблица 1). Для каждого последствия дефекта экспертным методом [1] определяют балл значимости S, который изменяется от 1 (наименее значимый дефект) до 10 (наиболее значимый дефект). В стандарте приведена справочная таблица с описанием последствий дефектов, критериев значимости последствий с указанием соответствующих им баллов (к сожалению, только для автомобилестроения).

В дальнейшем при работе FMEA-команды и выставлении приоритетного числа рисков (ПЧР) используют один максимальный балл значимости S из всех последствий данного дефекта. После определения последствий для каждого дефекта определяют потенциальные причины. Для одного дефекта может быть выявлено несколько потенциальных причин, все они должны быть по возможности полно описаны и рассмотрены отдельно. Все причины заносят в протокол (таблица 1).

Для каждой потенциальной причины дефекта экспертным методом определяют балл возникновения O; при этом рассматривается предполагаемый процесс изготовления и проводится экспертная оценка частоты появления данной причины, приводящей к рассматриваемому дефекту. Балл возникновения изменяется от 1 (самые редкие дефекты) до 10 (постоянно возникающие дефекты). В стандарте приведена справочная таблица со значениями вероятности дефектов и баллами O (снова только для автомобилестроения).

Для данного дефекта и каждой отдельной причины его появления определяют балл их обнаружения D в ходе предполагаемого процесса изготовления. Балл обнаружения изменяется от 10 (практически не обнаруживаемые дефекты или причины) до 1 (практически достоверно обнаруживаемые дефекты или причины). Значения балла D для технологических процессов изготовления автомобильных компонентов приведены в справочной таблице стандарта.

4 Вычисление приоритетного числа риска, сравнение его с допустимым значением и принятие решения. После получения экспертных оценок S, O, D вычисляют приоритетное число риска (ПЧР) по следующей формуле:

$$ПЧР = S \cdot O \cdot D. \quad (1)$$

Для дефектов, имеющих несколько причин, определяют соответственно несколько ПЧР. Каждое ПЧР может иметь значение от 1 до 1000.

Для приоритетного числа риска должна быть заранее установлена критическая граница (ПЧР_{гр}) в пределах от 100 до 125. По усмотрению руководства предприятия для некоторых возможных дефектов значение ПЧР_{гр} может быть установлено менее 100. Снижение ПЧР_{гр} соответствует созданию более высококачественных и статистически устойчивых технологических процессов изготовления изделий.

Составляют перечень потенциальных дефектов или их причин, для которых значение ПЧР превышает ПЧР_{гр}. Именно для них следует далее вести доработку технологического процесса изготовления изделия. FMEA-команда определяет действия по доработке первоначально предложенного варианта технологического процесса по критическим дефектам.

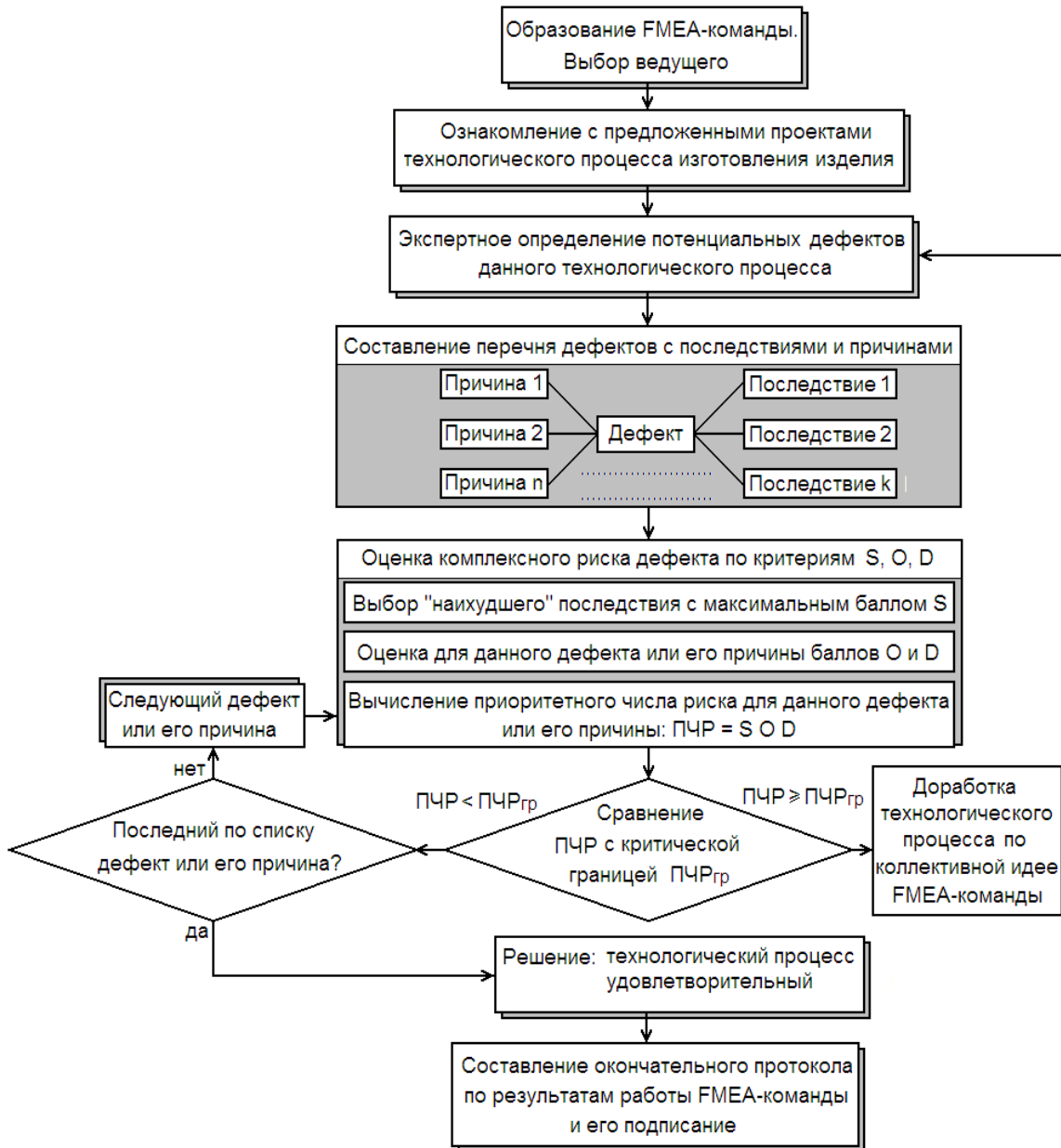


Рисунок 1 – Алгоритм работы FMEA-команды

После того, как действия по доработке технологического процесса определены, необходимо оценить и записать значения баллов значимости S , возникновения O и обнаружения D для нового предложенного варианта технологического процесса изготовления изделия. Следует проанализировать новый предложенный вариант технологического процесса и подсчитать и записать значение нового ПЧР по схеме в соответствии с рисунком 1 [2].

Все новые ПЧР следует сравнить с их допустимыми значениями и, если необходимо дальнейшее их снижение, повторить предыдущие действия.

5 *Документирование работы FMEA-команды.* Ответственный за разработку технологического процесса инженер (ведущий в команде) должен подтвердить, что все предложения членов команды по доработке были рассмотрены. При необходимости к протоколу работы FMEA-команды прилагают чертежи, таблицы, результаты расчёта и другие записи.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ FMEA-АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ. Этапы FMEA-анализа технологического процесса послужили основой для разработки порядка проведения FMEA-анализа процессов системы менеджмента качества (СМК). Предлагаемая методика пригодна и для расчёта эффективности проектов инженерных и управленческих решений в промышленности или других сферах деятельности.

1 *Формирование FMEA-команды.* Рекомендуются, чтобы члены команды в совокупности имели практический опыт в следующих областях деятельности:

- 1) проектирование процессов СМК;
- 2) создание и анализ процессов СМК на базовом предприятии и в аналогичных организациях;
- 3) анализ частоты дефектов, результатов контроля работы соответствующего оборудования и результатов работы персонала.

В состав FMEA-команды процесса СМК должны входить следующие специалисты: инженер или менеджер по качеству, владелец процесса, потребитель результатов процесса, внутренний аудитор СМК. Рекомендуемое число участников команды – от 4 до 8 человек. Итог формирования FMEA-команды – выбор ведущего (владелец процесса, эффективность которого оценивают).

2 *Ознакомление с предложенными проектами конструкции изделия.* Ведущий FMEA-команды представляет для ознакомления членам своей команды комплект документов по предложенному проекту улучшения процесса СМК (или несколько проектов).

3 *Определение видов дефектов, их последствий и причин.* Для конкретного процесса СМК определяют все возможные виды дефектов (под дефектом будем понимать несоответствие процесса СМК требованиям международного стандарта ИСО 9001:2000 или ГОСТ Р ИСО 9001-2001). Каждый вид дефектов описывают. Результаты описания заносят в протокол анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов (таблица 1).

Для всех описанных видов дефектов определяют их последствия. Для каждого вида дефектов может быть несколько последствий, все они должны быть описаны. Последствия дефектов описывает внутренний потребитель результатов процесса. Все последствия дефектов заносят в протокол (таблица 1).

Для каждого последствия дефекта экспертным методом определяют балл значимости S (таблица 2). В дальнейшем при выставлении ПЧР используют один максимальный балл значимости S из всех последствий данного дефекта.

После определения последствий для каждого дефекта определяют потенциальные причины. Для одного дефекта может быть выявлено несколько потенциальных причин, все они должны быть по возможности полно описаны и рассмотрены отдельно. Все причины заносят в протокол (таблица 1).

Для каждой потенциальной причины дефекта (несоответствия) экспертным методом определяют балл возникновения O ; при этом рассматривается предполагаемый процесс изготовления и проводится экспертная оценка частоты появления данной причины,

приводящей к рассматриваемому дефекту (несоответствию). Балл возникновения изменяется от 1 (самые редкие дефекты) до 10 (постоянно возникающие дефекты). Значения баллов возникновения несоответствий для FMEA-анализа процесса СМК даны в таблице 3.

Таблица 2 – Шкала значений баллов S для FMEA-анализа процесса СМК

Последствие	Критерий значимости последствия	Балл S
Очень опасное	Будет признано значительным несоответствием, для устранения которого потребуется более 6 месяцев. Сертификация СМК в течение года невозможна.	10
Опасное	Может быть признано значительным несоответствием, для устранения которого потребуется от 3 до 6 месяцев. Сертификация СМК в течение полугода невозможна.	9
Очень важное	Будет признано несоответствием, требующим проведения широкомасштабных корректирующих действий в срок до 3 месяцев. Аудитор очень недоволен.	8
Важное	Будет признано несоответствием, требующим проведения корректирующих действий в срок до 3 месяцев. Аудитор недоволен.	7
Умеренное	Малозначительное несоответствием, требующее проведения корректирующих действий или коррекции в срок до 3 месяцев. Аудитор неудовлетворён.	6
Слабое	Малозначительное несоответствием, требующее проведения коррекции. Аудитор испытывает некоторое неудовлетворение.	5
Очень слабое	Малозначительное несоответствием, требующее проведения коррекции в ходе аудита. Большинство аудиторов считает это нарушение незначительным.	4
Незначительное	Малозначительное несоответствием, требующее проведения коррекции в ходе аудита. Большинство аудиторов это нарушение не учитывает.	3
Очень незначительное	Малозначительное несоответствием, требующее проведения коррекции в ходе аудита. Это нарушение учитывает только внутренний аудитор.	2
Отсутствует	Аудитор признаёт отсутствие несоответствий.	1

Для данного дефекта (несоответствия) и каждой отдельной причины его появления определяют балл обнаружения D в ходе внутреннего аудита (проверки процесса). Балл обнаружения изменяется от 10 (практически не обнаруживаемые дефекты или причины) до 1 (практически достоверно обнаруживаемые дефекты или причины). Значения балла D приведены в таблице 4.

4 *Расчёт ПЧР, сравнение с допустимым значением, принятие решения.* После баллов S, O, D по формуле (1) вычисляют приоритетное число риска (ПЧР). Для несоответствий, имеющих несколько причин, определяют соответственно несколько ПЧР. Каждое ПЧР может иметь значение от 1 до 1000. Для приоритетного числа риска должна быть заранее установлена критическая граница (ПЧР_{гр}) в пределах от 100 до 125. По усмотрению руководства организации для некоторых несоответствий значение ПЧР_{гр} может быть установлено менее 100. Снижение ПЧР_{гр} соответствует созданию более устойчивых процессов системы менеджмента качества организации.

Составляют перечень потенциальных дефектов (несоответствий) или их причин, для которых значение ПЧР превышает ПЧР_{гр}. Именно для них следует далее вести доработку процесса системы менеджмента качества. FMEA-команда определяет действия по доработке первоначально предложенного варианта процесса по критическим видам дефектов (несоответствий).

Таблица 3 – Шкала значений балла O для FMEA-анализа процесса СМК

Вероятность дефекта	Возможная частота появления дефекта	Балл О
Очень высокая – значительное несоответствие неизбежно	Более 1 из 2	10
Высокая – значительное несоответствие почти неизбежно	1 из 3	9
Значительная – в аналогичных процессах в большей части случаев приводит значительному несоответствию	Более 1 из 8	8
Очень большая – в аналогичных процессах часто приводит значительному несоответствию	1 из 20	7
Большая – при предыдущих аудитах неизбежно приводит к несоответствию, требующему корректирующих действий	Более 1 из 80	6
Средняя – при предыдущих аудитах часто приводит к несоответствию, требующему корректирующих действий	1 из 400	5
Умеренная – при предыдущих аудитах в половине случаев приводит к несоответствию, требующему корректирующих действий	1 из 2000	4
Низкая – отдельные несоответствия, неизбежно требующие коррекции в ходе аудита	Более 1 из 15000	3
Очень низкая – отдельные несоответствия, требующие коррекции только в ходе внутреннего аудита	Более 1 из 150000	2
Малая – несоответствия отсутствуют	Менее 1 из 1500000	1

Таблица 4 – Шкала значений балла D для FMEA-анализа процесса СМК

Обнаружение	Вероятность обнаружения несоответствия при внутреннем аудите до начала внешнего аудита	Балл D
Абсолютная неопределенность	Нет известной методики внутреннего аудита для обнаружения вида несоответствия в процессе СМК	10
Очень плохое	Очень низкая вероятность обнаружения несоответствия при внутреннем аудите всеми известными методиками	9
Плохое	Низкая вероятность обнаружения несоответствия при внутреннем аудите всеми известными методиками	8
Очень слабое	Очень низкая вероятность обнаружения несоответствия при проведении внутреннего аудита по действующим методикам	7
Слабое	Низкая вероятность обнаружения несоответствия при проведении внутреннего аудита по действующим методикам	6
Умеренное	Умеренная вероятность обнаружения несоответствия при проведении внутреннего аудита по действующим методикам	5
Умеренно хорошее	Умеренно высокая вероятность обнаружения несоответствия при проведении внутреннего аудита по действующим методикам	4
Хорошее	Высокая вероятность обнаружения несоответствия при проведении внутреннего аудита по действующим методикам	3
Очень хорошее	Очень высокая вероятность обнаружения несоответствия при проведении внутреннего аудита по действующим методикам	2
Почти наверняка	Внутренний аудит почти наверняка обнаружит несоответствие. Для подобных процессов известны надежные методики внутреннего аудита.	1

После того, как действия по доработке процесса системы менеджмента качества определены, необходимо оценить и записать значения баллов значимости S, возникновения O и обнаружения D для нового предложенного варианта процесса системы менеджмента качества. Следует проанализировать новый предложенный вариант технологического процесса и подсчитать и записать значение нового ПЧР по схеме в соответствии с рисунком 1.

Все новые ПЧР следует сравнить с их допустимыми значениями и, если необходимо дальнейшее их снижение, повторить предыдущие действия.

5 *Документирование работы FMEA-команды.* Ответственный за разработку процесса системы менеджмента качества инженер или менеджер по качеству должен подтвердить, что все предложения членов команды по доработке были рассмотрены. Для этого в конце работы FMEA-команды должен быть составлен и подписан протокол, в котором отражают основные результаты работы команды, включающие, как минимум [1]:

- 1) состав FMEA-команды;
- 2) описание процесса системы менеджмента качества;
- 3) перечень дефектов (несоответствий) или их причин для первоначально предложенного варианта процесса системы менеджмента качества;
- 4) экспертные баллы S, O, D и ПЧР по каждому дефекту или его причине для первоначально предложенного варианта процесса;
- 5) предложенные в ходе работы FMEA-команды корректирующие действия по доработке первоначального варианта процесса;
- 6) экспертные баллы S, O, D и ПЧР по каждому дефекту или его причине для доработанного варианта процесса системы менеджмента качества.

При необходимости к протоколу работы FMEA-команды прилагают соответствующие таблицы, результаты расчета и другие записи.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Задача количественного оценивания процессов системы менеджмента качества может быть решена путём использования метода FMEA. Для адаптации указанного метода к оцениванию качества процессов в каждом конкретном случае необходимо разработать комплект справочных таблиц, содержащих ранжированные значения необходимых для реализации метода коэффициентов. После получения справочных таблиц следует составить методику проведения FMEA-анализа конкретного процесса, основанную на общепринятом порядке его проведения (по национальному стандарту ГОСТ Р 51814.1-2004 или международному стандарту ИСО/ТУ 16949:2002) и учитывающую особенности оцениваемого процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишкин, И.Ф. Квалиметрия и управление качеством: учебник для вузов / И.Ф. Шишкин, В.М. Станякин. – М.: Изд-во ВЗПИ, 1992. – 256 с.
2. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов – М.: Издательство стандартов, 2001. – 18 с.
3. FMEA при проектировании и совершенствовании продукции и процессов: Методическое пособие. – Выпуск 12, 2001. – М.: НТК «Трек», 2002 – 24 с.
4. Годлевский, В.Е. Применение метода анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий (FMEA) на различных этапах жизненного цикла автомобильной продукции / В.Е. Годлевский, А.Я. Дмитриев, Г.Н. Изюменко, А.В. Литвинов, Г.Л. Юнак; под ред. В.Я. Кокотова. – Самара: ГП «Перспектива», 2002. – 160 с.
5. Международный стандарт QS-9000. Требования к системам качества / Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп. – 3-е изд. – 1998.
6. Руководство FMEA «Анализ видов и последствий потенциальных отказов» / Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп. – 2-е изд. – 1995.
7. ГОСТ Р 51814.1-2004 (ИСО/ТУ 16949:2002). Системы менеджмента качества. Особые требования по применению стандарта ИСО 9001:2000 в автомобилестроении и организациях, поставляющих соответствующие запасные части. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 56 с.

Подмастерьев Константин Валентинович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборостроение, метрология и сертификация»
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862)41-98-21
E-mail: pms35@ostu.ru

Марков Владимир Владимирович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862)41-98-76
E-mail: pms35vm@yandex.ru

УДК 681.2.082:615.849.19

А.В. ДУНАЕВ, Д.А. РОГАТКИН

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ НЕИНВАЗИВНОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НИЗКОИНТЕНСИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ

Рассмотрены возможности и преимущества использования спектрофотометрических методов неинвазивной диагностики в качестве методов контроля эффективности низкоинтенсивной лазерной терапии. С методологической и технической точек зрения наиболее перспективным признан метод тканевой оксиметрии.

Ключевые слова: неинвазивная спектрофотометрия, оптическая тканевая оксиметрия, низкоинтенсивная лазерная терапия, контроль, диагностика.

As methods of control of effectiveness of the low level laser therapy there were considered possibilities and advantages of usage of spectrophotometric methods of non-invasive diagnostics. From methodological and technical points of view the most perspective is considered the method of reflectance tissue oximetry.

Key words: non-invasive spectrophotometry, reflectance tissue oximetry, low level laser therapy, control, diagnostic.

В современной медицине, особенно в России, в последние 15-20 лет особое место среди физиотерапевтических методов лечения занимает низкоинтенсивная лазерная терапия (НИЛТ), благодаря таким специфическим свойствам низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) как монохроматичность и высокая спектральная плотность мощности, когерентность, которая приводит к малой расходимости луча света, возможность простой фокусировки (расфокусировки) и транспортировки излучения оптическими линзами и зеркалами, возможность передачи энергии по оптическим волокнам (световодам), прозрачность для НИЛИ верхних слоев кожи и слизистых оболочек органов человека и животных и т.д. Однако споры о механизмах действия НИЛИ на биоткань и дозировках НИЛТ не прекращаются до сих пор. Рекомендуемые значения плотности мощности и энергетической экспозиции («дозы») в разных руководствах по НИЛТ отличаются в сотни и более раз (соответственно от 0,5 до 200 мВт/см² и от 0,1 до 120 Дж/см²). На сегодняшний день актуальными и спорными остаются вопросы наличия самого лечебного эффекта биостимуляции от НИЛИ до порога температурного нагрева, вопросы дозовой зависимости этого эффекта, возможность его объективизации, контроля и соответствующего метрологического обеспечения всех процедур НИЛТ.

Ранее неоднократно предпринимались попытки создания методов контроля и управления параметрами для НИЛТ с учётом оптических (1) и теплофизических (2) свойств биоткани, на основе параметра деформируемости эритроцитов (3), биоритмологических показателей организма (4) и т.д. Однако все они обладают рядом недостатков и, в первую очередь, «узкостью» учёта лишь выбранных не прямых или чисто физических критериев оценки эффективности НИЛТ.

В последнее время в связи с интенсивным развитием диагностических методов, основанных на неинвазивной медицинской спектрофотометрии (НМС) – фотоплетизмографии (ФПГ), пульсоксиметрии (SaO₂), оптической тканевой оксиметрии (SO₂), лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и др., всё более актуальным становится вопрос о возможности их применения в качестве методов контроля эффективности НИЛТ в режиме реального времени. Связано это, прежде всего, с тем, что современные приборы НМС достаточно достоверно и легко могут регистрировать изменения в микроциркуляции и оксигенации крови, что в свою очередь является одним из ключевых моментов при оценке лечебного эффекта НИЛИ, так как в медицинской литературе вопрос о стимуляции

периферического кровообращения в тканях при НИЛТ практически уже не вызывает споров (5). Например в (6) описан один из примеров последовательности событий, приводящих к улучшению микроциркуляции крови. Лазерное облучение, воспринятое тем или иным фотоакцептором в лейкоцитах (часто упоминаются в этой связи эндогенные порфириновые соединения), приводит к формированию «прайминга» лейкоцитов и увеличению продукции различных прооксидантов, в частности, оксида азота (NO). NO, продуцируемый фагоцитами, является предшественником эндотелиального релаксирующего фактора, что может объяснять отмечаемую при НИЛТ вазодилатацию микрососудов.

Следует отметить, что попытки использовать методы НМС (например, биофотометрию, фотоплетизмографию и т.д. (7)) для индикации реакции микроциркуляторного русла на лазерное терапевтическое излучение также неоднократно предпринимались, однако, в них не был учтён возможный тепловой эффект и влияние нагрева на реакцию системы микроциркуляции крови, что по нашему мнению нивелирует полученные результаты. Дело в том, что тепловой механизм действия НИЛИ, который не вызывает серьёзных дискуссий, приводит к локальному нагреву в области облучения (рисунок 1), который, в свою очередь, вызывает компенсаторный отклик микроциркуляторного русла, что необходимо учитывать для оценки наличия нетеплового эффекта от НИЛТ.

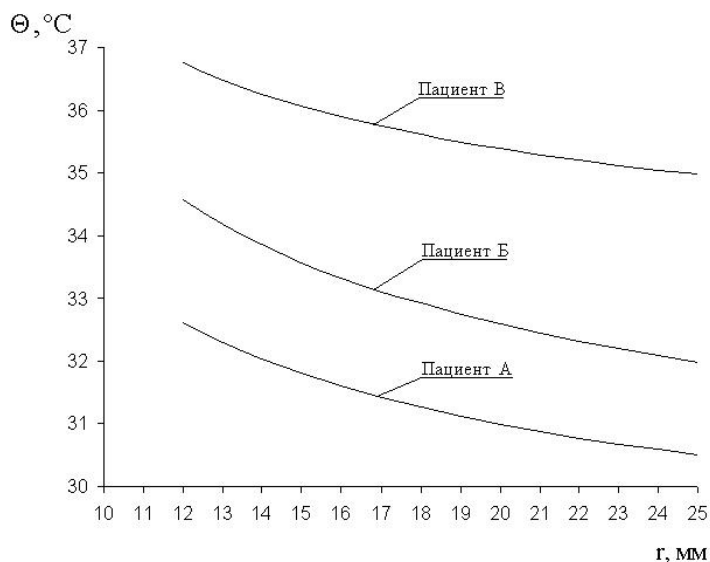


Рисунок 1 – Типовые диаграммы распределения температур (Θ) локального нагрева по поверхности эпидермиса (r – расстояние вне светового пятна от центра облучающего терминала) в установившемся режиме при процедуре НИЛТ ($0,89 \text{ мкм}$; $1,8 \text{ мВт/см}^2$; $0,537 \text{ Дж/см}^2$) следующих участков кожи:
пациент А (25 лет) – область групп мышц сгибателей предплечья левой руки;
пациент Б (27 лет) – область икроножных мышц левой ноги;
пациент В (20 лет) – область групп мышц сгибателей предплечья правой руки

Наиболее чувствительным методом регистрации динамики процессов микроциркуляции крови в биотканях по технологии НМС является сегодня метод ЛДФ. Он позволяет определять среднюю перфузию тканей кровью (ПМ) на уровне микроциркуляторного русла биоткани, а также частотные ритмы процессов микрогемодинамики. С помощью ЛДФ возможно регистрировать локальный тепловой нагрев (рисунок 2).

Именно это обстоятельство позволило в работе (10) авторам высказать предположение о доминировании теплового механизма при регистрации усиления показателя микроциркуляции во время процедур НИЛТ. Между тем, использовавшийся авторами лазер в $1,1 \text{ мВт}$ мощностью («лазерная указка»), наблюдаемое увеличение ПМ в 3 и

более раз на 10-й минуте облучения, а также расчетные значения нагрева кожи в этих условиях до 41 – 42 °С вызывают много вопросов. Поэтому можно утверждать, что вопрос о соотношении тепловой и нетепловой компоненты в биостимулирующем механизме действия НИЛИ на систему микроциркуляции крови остается открытым.

В том числе, в чистом виде ЛДФ не позволяет оценить процессы транспорта и утилизации кислорода в системе микроциркуляции, что снижает его эффективность для решения поставленной задачи.

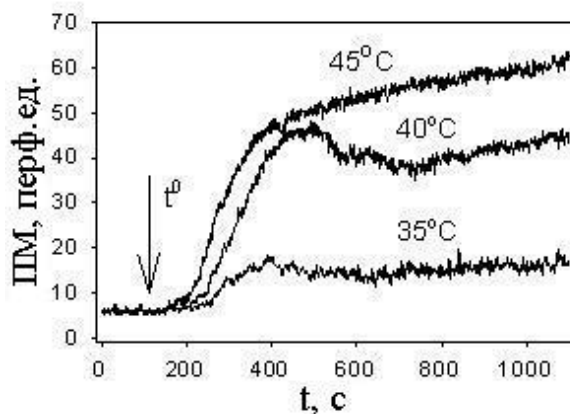


Рисунок 2 – Характерная ЛДФ-грамма кожного кровотока при температурной пробе (различная температура нагрева, усреднено по 10 испытуемым)

В этом плане среди методов и приборов НМС в качестве дополнительной аппаратной составляющей метода контроля эффективности НИЛТ на локальном уровне наиболее подходит оптический тканевой оксиметр (например, (11)), позволяющий неинвазивно (in vivo, транскутанно) отслеживать не только процессы микрогемодинамики, но и процессы транспорта и утилизации кислорода в системе микроциркуляции, что является принципиальным для выработки критерия эффективности НИЛТ при её проведении в режиме реального времени. Данный аппарат предназначен для определения среднего уровня объемного капиллярного кровенаполнения ($V_{кр}$) поверхностных слоев мягких биологических тканей (кожа, слизистые оболочки органов), среднего уровня оксигенации (сатурации) смешанной крови микроциркуляторного русла (SO_2) обследуемой биоткани и среднего уровня её меланиновой пигментации (Me).

В отличие от пульсоксиметров, которые дают информацию только о насыщении кислородом артериальной крови (SaO_2) и только в моменты систолического заполнения артерий кровью, прибор «Спектротест» регистрирует и вычисляет усредненные значения показателя сатурации крови (SO_2) по всему артерио-венозному руслу системы микроциркуляции и без привязки вычислений к кардиоритму в перфузии тканей кровью, что даёт возможность ориентировочно оценивать по результатам измерений SO_2 потребление кислорода в исследуемых тканях непосредственно во время проведения процедуры НИЛТ.

Параметр $V_{кр}$, регистрируемый прибором «Спектротест», близок по своему медико-биологическому смыслу параметру перфузии тканей кровью в методах ЛДФ, с той разницей, что индекс перфузии (индекс микроциркуляции) в ЛДФ характеризует не только объем циркулирующей в ткани крови, но и среднестатистическую скорость движения эритроцитов в микрососудах (9). Параметр $V_{кр}$ в оптической тканевой оксиметрии характеризует среднее по диагностическому объему статическое заполнение эритроцитами крови сосудистого русла системы микроциркуляции, в англоязычной литературе называется показателем общего гемоглобина крови или капиллярным гематокритом крови и также может быть использован в качестве оценки процессов микрогемодинамики при проведении НИЛТ.

Отображение всей получаемой медико-биологической информации производится в аппарате «Спектротест» автоматически в реальном времени на экране монитора ПЭВМ, что является необходимым для контроля по вышеуказанным параметрам эффективности проведения процедуры НИЛТ.

Возможность использования метода оптической тканевой оксиметрии в качестве основы метода контроля при проведении импульсной НИЛТ, например, в ближнем ИК-диапазоне, обусловлена рядом конструктивных и методологических преимуществ.

Во-первых, достаточным диагностическим объёмом биоткани (рисунок 3), необходимым для стабильной регистрации воздействия НИЛИ.

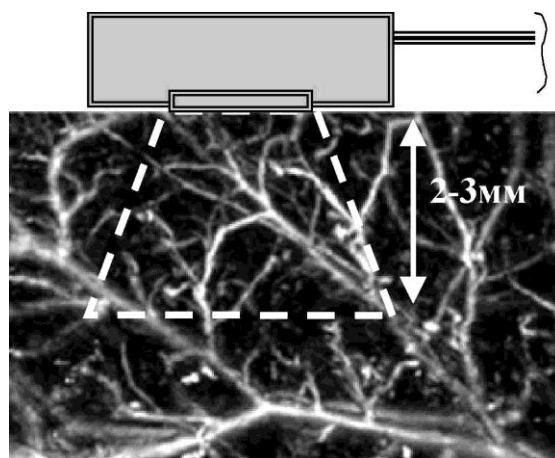


Рисунок 3 – Сплетение микрососудистого русла и диагностический объём оптической тканевой оксиметрии /11/

Во-вторых, возможностью расположения компактной оптической головки с излучателями и фотоприёмником на теле пациента в лёгком контакте с облучаемой биотканью, причём, конструктивно возможно расположить измерительную головку как снаружи облучающего терминала лазерного терапевтического аппарата (АЛТ), так и внутри него, что даёт дополнительные возможности при исследованиях механизмов НИЛИ на локальном уровне.

В-третьих, это высокая чувствительность метода, что объективно показывают различные функциональные (нагрузочные) тесты и пробы – дыхательная, тепловая, холодовая, окклюзионная и др. Для наглядного отображения чувствительности выбранного метода было проведено соответствующее исследование в покое и при окклюзионной пробе в области внутренней поверхности проксимальной фаланги 3-го пальца правой руки по стандартной методике (рисунок 4). Запись показателей осуществлялась в положении сидя, кисть – на уровне сердца, рука лежала на столе, ладонью кверху. Температура окружающей среды +20...22 °С. Перед закреплением оптической головки испытуемому надевали на плечо манжету от стандартного тонометра без нагнетания давления. После записи в покое в течение 60-90 с базового уровня параметров $V_{кр}$ и SO_2 быстро накачивался воздух в манжету до достижения давления 250...260 мм рт. ст., которое полностью перекрывает артериальный кровоток. При непрерывной записи показателей артериальная окклюзия поддерживалась в течение 2,5–3-х минут. По истечении этого времени давление в манжете резко сбрасывалось, а запись показателей продолжалась еще в течение 3–4 минут.

Полученные типовые зависимости показателей SO_2 и $V_{кр}$ при окклюзионной пробе, а также другие рассмотренные методологические аспекты, позволяют сделать вывод о возможном использовании тканевой оксиметрии дополнительно к ЛДФ для оценки эффективности назначаемых пациенту тех или иных лечебных мероприятий и отдельных лечебных процедур, например НИЛТ, в зависимости от индивидуального типа микроциркуляции крови.

Рассмотренный метод позволяет также изучать влияние на микроциркуляторное русло обычного теплового эффекта, возникающего при воздействии на биоткани НИЛИ, особенно если аппаратно обе технологии могут быть выполнены в едином приборном варианте, как это реализовано сегодня в диагностическом комплексе «ЛАКК-М» (12). А вот методика учёта локального нагрева биоткани, влияние нагрева на систему микроциркуляции крови и критерий этого влияния на общий эффект от НИЛТ должны явиться предметом дальнейших подробных исследований.

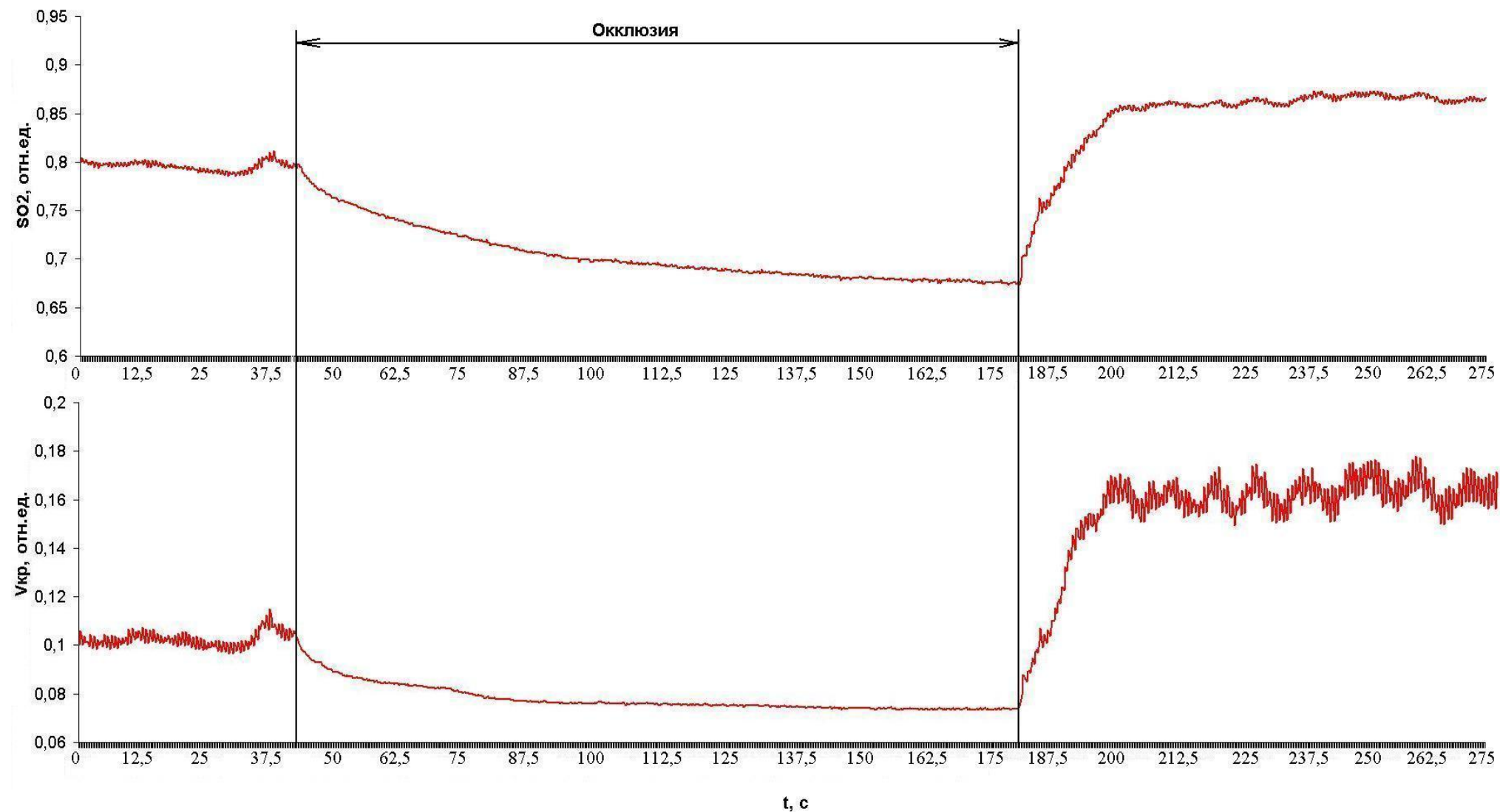


Рисунок 4 – Пример данных аппарата «Спектротест» при окклюзионной пробе
(начало окклюзии – 44,25 с, конец окклюзии – 185,5 с)

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, М.Т. Методы клинической биофотометрии / М.Т. Александров, В.Ф. Барыбин, Д.А. Рогаткин, А.Р. Евстигнеев. // Применение низкоинтенсивных лазеров в клинической практике, под ред. чл.-корр. РАМН О.К. Скобелкина. - М.: Полиграф-информ, 1997. - С. 265-274.
2. Dunaev A.V. Method and device used for testing of the absorbed dose of radiation during low level laser therapy, Proc. SPIE, vol. 6440 (64400T), 2007.
3. Zaharov S.D. Measurements of the erythrocyte response to low-level external action // SPIE Proc., v. 1884, 1993. – p. 181-188.
4. Загускин, С.Л. Лазерная и биоуправляемая квантовая терапия / С.Л. Загускин, С.С. Загускина. – М.: Квантовая медицина, 2005. – 220 с.
5. Рогаткин, Д.А. Низкоинтенсивная лазерная терапия. Взгляд физика на механизмы действия и опыт применения / Д.А. Рогаткин, В.В. Черный. // Взаимодействие излучения с веществом. – Материалы 2-й Байкальской школы по фундаментальной физике. – Иркутск: ИГУ, 1999. – С. 366-378.
6. Клебанов, Г.И. Низкоинтенсивное лазерное облучение вызывает priming лейкоцитов / Г.И. Клебанов // Использование лазеров для диагностики и лечения заболеваний. – М.: Изд-во ЛАС, 1996. – С. 11-14.
7. Александров, М.Т. Лазерная клиническая биофотометрия (теория, эксперимент, практика) / М.Т. Александров.– М.: Техносфера, 2008.
8. Корндорф, С.Ф. Метод контроля поглощенной внутренними тканями дозы с учетом поглощаемой в эпидермисе мощности излучения при низкоинтенсивной лазерной терапии / С.Ф. Корндорф, К.В. Подмастерьев, А.В. Дунаев. // Лазерная медицина. – Т. 7, № 2.– 2003. – С. 7-11.
9. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / Под. ред. А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова: Руководство для врачей. – М.: Медицина, 2005. – 256 с.
10. Королевич, А.Н. Допплеровская спектроскопия крови in vivo при воздействии НИЛИ / А.Н. Королевич, Л.Г. Астафьева. // Оптика и спектроскопия. – Т. 96, №3, 2004. – С. 508-514.
11. Афанасьев, А.И. Методики и аппаратура неинвазивной оптической тканевой оксиметрии / А.И. Афанасьев, Д.А. Рогаткин, А.А. Сергиенко, В.И. Шумский. // Голография: Фундаментальные исследования, инновационные проекты и нанотехнологии. – Материалы XXVI школы по когерентной оптике и голографии, под. ред. проф. А.Н. Малова. – Иркутск: Папирус, 2008. – С. 505-513.
12. <http://www.lazma.ru> [Электронный ресурс]

Дунаев Андрей Валерьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел. (4862) 41-98-76

E-mail: dunaev@ostu.ru

Рогаткин Дмитрий Алексеевич

Московский областной научно-исследовательский клинический институт, г. Москва

Доктор технических наук, доцент, зав. лабораторией медико-физических исследований

Тел. (495) 681-89-84

E-mail: rogatkin@monikiweb.ru



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Орловский государственный технический университет»
объявляет прием
в аспирантуру и докторантуру на 2009 год

Правила приема в аспирантуру

В аспирантуру ОрелГТУ на конкурсной основе принимаются граждане Российской Федерации, имеющие высшее профессиональное образование и творческие достижения в научной работе.

Подготовка аспирантов в университете за счет средств бюджета осуществляется в пределах установленных контрольных цифр приема. Подготовка аспирантов сверх контрольных цифр приема осуществляется с полной компенсацией затрат на обучение физическими и (или) юридическими лицами.

Граждане иных государств принимаются в аспирантуру на основе международных договоров и соглашений, а также по прямым договорам с зарубежными предприятиями, учреждениями и организациями или физическими лицами.

Лица, ранее прошедшие полный курс обучения в аспирантуре, не имеют права вторичного обучения в аспирантуре за счет средств федерального бюджета. Обучение в аспирантуре осуществляется по очной и заочной формам. Срок обучения в очной аспирантуре 3 года, в заочной - 4 года.

Прием заявлений и документов по всем специальностям проводится с **15 мая по 31 августа** ежегодно. **Вступительные испытания (экзамены) - с 1 по 30 сентября.**

Поступающие в аспирантуру проходят собеседование с предполагаемым научным руководителем, который сообщает в приемную комиссию о своем согласии осуществлять научное руководство. Решение о допуске к вступительным испытаниям в аспирантуру выносится приемной комиссией на основании представленных документов и предварительного собеседования с научным руководителем.

Поступающие в аспирантуру представляют следующие документы:

1. Заявление о приеме в аспирантуру (в установленной форме).
2. Личный листок по учету кадров (в отделе кадров).
3. Копию диплома о высшем образовании и приложения к нему.
4. Список опубликованных научных работ или реферат по избранной специальности объемом 12-15 страниц.
5. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов (если имеется).
6. Выписку из протокола заседания ГАК или рекомендацию кафедры (для поступающих непосредственно после окончания вуза).
7. Медицинскую справку формы 086/у.
8. Паспорт и диплом об окончании вуза представляются лично при подаче документов.
9. Бумажный скоросшиватель (папка – "Дело").

Поступающие в аспирантуру проходят вступительные испытания (экзамены) по:

- специальной дисциплине в объеме действующей программы для специалиста;
- иностранному языку;
- философии.

Программы вступительных испытаний (экзаменов) находятся на кафедрах, обеспечивающих подготовку аспирантов.

Прием вступительных испытаний (экзаменов) в аспирантуру проводится комиссиями, назначаемыми ректором университета. В состав комиссии входит профессор или доктор наук по той специальности, по которой проводится испытание (экзамен).

При отсутствии докторов наук в состав комиссии могут включаться кандидаты наук, доценты, а по иностранному языку и квалифицированные преподаватели, не имеющие ученой степени и ученого звания.

Передача вступительных испытаний (экзаменов) не допускается. Сданные вступительные испытания (экзамены) действительны в течение календарного года. Лица, сдавшие полностью или частично кандидатские экзамены, при поступлении в аспирантуру освобождаются от соответствующих вступительных испытаний (экзаменов). Приемная комиссия по результатам вступительных испытаний (экзаменов) выносит решение по каждому кандидату. При наличии конкурса, зачисляются наиболее способные кандидаты, подготовленные к научно-педагогической деятельности и научной работе.

Зачисление в аспирантуру производится приказом ректора университета.

Правила приема в докторантуру

В **докторантуру принимаются** лица, имеющие степень кандидата наук.

Подготовка докторантов в университете за счет средств бюджета осуществляется в пределах установленных контрольных цифр приема. Подготовка докторантов сверх контрольных цифр приема осуществляется с полной компенсацией затрат на обучение физическими и (или) юридическими лицами на основе договора-контракта.

Обучение докторантов осуществляется по очной форме. Срок обучения в докторантуре - 3 года.

Прием заявлений и документов по всем специальностям проводится с **15 мая по 31 августа** ежегодно.

Поступающие в докторантуру представляют:

1. Заявление на имя ректора.
2. Копию диплома о присуждении ученой степени кандидата наук (для лиц, получивших образование за рубежом - документы об эквивалентности диплома).
3. Анкета.
4. Развернутый план подготовки докторской диссертации.
5. Список опубликованных научных работ и изобретений. Паспорт и диплом представляются лично.
6. Бумажный скоросшиватель (папка - "Дело").

Зачисление о приеме в докторантуру принимается ректором на основании заключения кафедры и ученого совета факультета.

Научные специальности

Аспирантура		
Шифр	Наименование специальности	Научный руководитель
01.02.04	Механика деформируемого твердого тела	В.Г. Малинин Н.А. Малинина В.А. Гордон В.С. Шоркин А.В. Коробко
01.02.06	Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры	В.И. Чернышев Л.С. Ушаков Л.А. Савин Д.Н. Ешуткин
01.04.10	Физика полупроводников	В.Ф. Харламов
01.04.17	Химическая физика, в том числе физика горения и взрыва	В.Ф. Харламов
03.00.16	Экология	С.А. Куценко В.С. Громова
05.02.01	Материаловедение	С.А. Куценко
05.02.02	Машиноведение, системы приводов и детали машин	Л.А. Савин
05.02.08	Технология машиностроения	Ю.С. Степанов А.В. Киричек Г.А. Харламов А.С. Тарапанов А.В. Катунин
05.02.11	Методы контроля и диагностика в машиностроении	С.Ф. Корндорф К.В. Подмастерьев Т.И. Ногачева
05.02.22	Организация производства	К.В. Подмастерьев
05.03.01	Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки	Ю.С. Степанов А.В. Киричек Г.А. Харламов А.С. Тарапанов А.В. Катунин
05.03.05	Технологии и машины обработки давлением	В.А. Голенков С.И. Вдовин С.Ю. Радченко Н.В. Петров О.В. Дорофеев
05.05.04	Дорожные и строительные машины	А.Н. Новиков
05.11.13	Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий	С.Ф. Корндорф К.В. Подмастерьев Т.И. Ногачева В.В. Мишин Е.В. Пахолкин
05.11.17	Приборы, системы и изделия медицинского назначения	К.В. Подмастерьев
05.13.05	Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления	М.Т. Прасов
05.13.06	Автоматизация технологических процессов и производств	Ю.В. Колоколов А.И. Суздальцев С.Л. Косчинский

05.13.18	Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ	И.С. Константинов В.Т. Еременко О.А. Савина А.В. Коськин
05.16.04	Литейное производство	С.А. Куценко С.Ю. Радченко
05.18.01	Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства	В.В. Румянцева Е.А. Кузнецова
05.18.07	Биотехнология пищевых продуктов	Е.А. Кузнецова
05.18.12	Процессы и аппараты пищевых производств	В.П. Корячкин
05.18.15	Товароведение пищевых продуктов	Т.Н. Иванова Е.Н. Артемова
05.19.04	Технология швейных изделий	Ю.Н. Некрасов Е.Н. Ковешникова М.В. Родичева
05.20.03	Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве	А.Н. Новиков
05.22.10	Эксплуатация автомобильного транспорта	А.Н. Новиков
05.23.01	Строительные конструкции, здания и сооружения	В.И. Коробко В.И. Колчунов В.М. Бондаренко А.И. Никулин
05.23.05	Строительные материалы и изделия	М.Ю. Малькова В.И. Колчунов Ю.И. Гончаров
05.23.17	Строительная механика	А.В. Коробко В.И. Коробко
05.26.01	Охрана труда	В.И. Чернышев Ю.Х. Поландов А.П. Лапин
08.00.01	Экономическая теория	В.Ф. Бондарев В.Т. Смирнов
08.00.05	Экономика и управление народным хозяйством	В.П. Лукин С.А. Никитин О.А. Савина В.Г. Садков Л.А. Попова С.А. Измалкова
08.00.10	Финансы, денежное обращение и кредит	В.Г. Садков
08.00.12	Бухгалтерский учет и статистика	Л.В. Попова В.Г. Садков
09.00.01	Онтология и теория познания	А.М. Старостенко
09.00.11	Социальная философия	А.М. Старостенко
12.00.02	Конституционное право; муниципальное право	А.А. Ковалкин Б.П. Носков В.Е. Сизов П.А. Астафичев
12.00.03	Гражданское право; предпринимательское право; семейное право; международное частное право	А.И. Дихтяр
12.00.08	Уголовное право и криминология; уголовно-исполнительное право	Б.В. Петухов Г.В. Назаренко Г.Т. Козлов

12.00.14	Административное право; финансовое право; информационное право	А.Л. Пашин Т.А. Гусева
12.00.15	Гражданский процесс; арбитражный процесс	А.И. Дихтяр
13.00.08	Теория и методика профессионального образования	Е.Н. Ковешникова В.С. Макеева Б.Г. Бобылев
18.00.02	Архитектура	Т.Н. Колесникова
22.00.08	Социология управления	А.М. Старостенко Н.А. Фролова

Докторантура

Шифр	Наименование специальности	Научный руководитель
01.02.04	Механика деформируемого твердого тела	В.А. Гордон В.С. Шоркин А.В. Коробко В.Г. Малинин Н.А. Малинина
01.02.06	Динамика: прочность машин, приборов и аппаратуры	В.И. Чернышев Л.С. Ушаков Л.А. Савин Д.Н. Ешуткин
05.03.05	Технологии и машины обработки давлением	В.А. Голенков С.И. Вдовин
05.05.04	Дорожные и строительные машины	А.Н. Новиков
05.11.13	Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий	С.Ф. Корндорф К.В. Подмастерьев
05.13.06	Автоматизация технологических процессов и производств	Ю.В. Колоколов А.И. Суздальцев
05.18.01	Технология хлебопекарных, макаронных и кондитерских продуктов	С.Я. Корячкина
05.18.15	Товароведение пищевых продуктов	Т.Н. Иванова Е.Н. Артемова
05.23.01	Строительные конструкции, здания и сооружения	В.И. Коробко В.И. Колчунов В.М. Бондаренко
08.00.01	Экономическая теория	В.Ф. Бондарев В.Т. Смирнов
08.00.05	Экономика и управление народным хозяйством	В.П. Лукин С.А. Никитин О.А. Савина В.Г. Садков Л.А. Попова Л.В. Давыдова

Диссертационные советы

по защите докторских и кандидатских диссертаций

Д 212.182.01.	
05.11.13	Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки).
05.13.06	Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность) (технические науки).
Председатель – доктор технических наук, профессор Ю.В. Колоколов (4862 - 41-98-79). Зам. председателя - доктор технических наук, профессор С.Ф. Корндорф (41-98-76). Ученый секретарь - доктор технических наук, профессор А.И. Суздальцев (41-98-79).	
Д 212.182.02.	
08.00.05	Экономика и управление народным хозяйством, в том числе: управление инновациями и инвестиционной деятельностью (экономические науки).
08.00.05	Экономика и управление народным хозяйством, в том числе: экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами (промышленность) (экономические науки).
08.00.05	Экономика и управление народным хозяйством, в том числе: маркетинг (экономические науки).
Председатель – доктор экономических наук, профессор С.А. Никитин (4862 - 45-41-35). Зам. председателя - доктор экономических наук, профессор В.Ф. Бондарев (41-95-04). Ученый секретарь - доктор экономических наук, доцент С.А. Измалкова (45-41-35)	
Д 212.182.03.	
01.02.04	Механика деформируемого твердого тела (технические науки).
01.02.06	Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры (технические науки).
05.03.05	Технологии и машины обработки давлением (технические науки).
05.05.04	Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины (технические науки).
Председатель - доктор технических наук, профессор В.А. Голенков (4862 - 42-00-24). Зам. председателя - доктор технических наук, профессор В.А. Гордон (41-98-48). Ученый секретарь – кандидат технических наук, доцент М.И. Борзенков (43-48-90).	
Д 212.182.04.	
08.00.01	Экономическая теория (экономические науки).
08.00.10	Финансы, денежное обращение и кредит (экономические науки)
08.00.12	Бухгалтерский учет, статистика (экономические науки).
Председатель - доктор экономических наук, профессор Л.В. Попова (4862 - 41-98-60); Зам. председателя - доктор экономических наук, профессор В.Т. Смирнов (41-95-04); Ученый секретарь - кандидат экономических наук, доцент И.А. Дрожжина (41-95-04).	
ДМ 212.182.05.	
05.23.01	Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки).
05.23.17	Строительная механика (технические науки).
Председатель - доктор технических наук, профессор В.И. Колчунов (4862 – 73-43-49); Зам. председателя - доктор технических наук, профессор А.В. Коробко (41-98-46); Ученый секретарь - кандидат технических наук, доцент А.И. Никулин (73-43-65).	

Д 212.182.06.	
05.02.11	Методы контроля и диагностика в машиностроении (технические науки).
05.03.01	Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).
05.02.08	Технология машиностроения (технические науки).
Председатель - доктор технических наук, профессор Ю.С. Степанов (4862 - 47-50-71); Зам. председателя - доктор технических наук, профессор А.В. Киричек (54-15-03); Ученый секретарь - кандидат технических наук, доцент Ю.В. Василенко (54-14-19).	
7. ДМ 212.182.07.	
05.05.04	Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины (технические науки).
05.22.10	Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки).
Председатель - доктор технических наук, профессор В.А. Корчагин; Зам. председателя - доктор технических наук, профессор А.Н. Новиков(4862 - 41-25-45); Зам. председателя - доктор технических наук, профессор Л.С. Ушаков (73-43-51, 41-98-85); Ученый секретарь - кандидат технических наук, доцент А.Л. Севостьянов (76-29-94)	
<p>Адрес: 302020 Россия г.Орел, Наугорское шоссе, 29 Каб. № 222, 223 Тел./факс: (4862) 41-91-18 E-mail: upk@ostu.ru</p>	

Уважаемые авторы!

Просим Вас ознакомиться с основными требованиями к оформлению научных статей.

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 3 до 7 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.
- Статьи должны быть набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу иверху – 2 см.
- Название статьи, а также фамилии и инициалы авторов обязательно дублируются на английском языке.
- К статье прилагается перечень ключевых слов на русском и английском языке.
- Сведения об авторах приводятся в такой последовательности: Фамилия, имя, отчество; учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта.
- В тексте статьи желательно:
 - не применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - не применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - не применять произвольные словообразования;
 - не применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.
- **Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**
- **Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.
- Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится:

Рисунок 1 – Текст подписи

С полной версией требований к оформлению научных статей Вы можете ознакомиться на сайте www.ostu.ru.

Плата с аспирантов за опубликование статей не взимается.

Адрес редакции:

Орловский государственный технический университет
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 43-48-90, 41-98-48, 55-55-24, 41-98-21
www.ostu.ru
E-mail: nmu@ostu.ru

Технический редактор О.Ю. Григорьева
Компьютерная верстка О.Ю. Григорьева

Сдано в набор 06.05.2009 г.
Подписано в печать 22.06.2009 г.
Формат 60x88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,7.
Тираж 600 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе ОрелГТУ
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.