

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.*
Колчумов В.И. *д-р техн. наук, проф.*
Попова Т.В. *д-р экон. наук, проф.*
Степанов Ю.С. *д-р техн. наук, проф.*
Константинов П.С. *д-р техн. наук, проф.*

Главный редактор серии

Степанов Ю.С. *д-р техн. наук, проф.,
акад. жур. Общественной науки Российской
Федерации*

Заместители

главного редактора серии:
Гордон В.А. *д-р техн. наук, проф.*
Киричек А.В. *д-р техн. наук, проф.*
Подмастерьев К.В. *д-р техн. наук, проф.*

Редакция

Бабичев А.П. *д-р техн. наук, проф.*
Вдовин С.П. *д-р техн. наук, проф.*
Дмитриев А.М. *д-р техн. наук, проф., член-
корр. РАН*
Емельянов С.Г. *д-р техн. наук, проф.*
Зубарев Ю.М. *д-р техн. наук, проф.*
Зубчилов В.Л. *д-р физ.-мат. наук, проф.*
Иванов Б.Р. *д-р техн. наук, проф.*
Колесников К.С. *д-р техн. наук, проф.,
академик РАН*
Корицорф С.Ф. *д-р техн. наук, проф.*
Малынин В.Л. *д-р физ.-мат. наук, проф.*
Осадчий В.Я. *д-р техн. наук, проф.*
Пашин 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 номера:

Морозова А.В.

Торжественное слово серии

302020 г. Орел. Нагорское шоссе, 29
(+862) 43-18-90, 41-98-18, 55-55-24, 41-98-
21

www.ostu.ru

E-mail: nmu@ostu.ru

Зарег. в Министерстве Российской
Федерации по делам печати,
телекоммуникации и средств массовой
информации. Свидетельство: ПИ № 77-
15169
от 20 мая 2003 года

По индексной таблице 29504
по объединенному каталогу «Пресса
России»

© ОрелГТУ. 2009

Содержание

Технологии, оборудование и инструмент упрочняющей и отделочной обработки, технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин

Киричек А.В., Амбросимов С.К., Селеменов М.Ф., Морин В.В., Селеменов К.Ф. Перспективы повышения эффективности деформирующе-режущего протягивания статико-импульсным нагружением и эламинированием инструмента.....	3
Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Баринев С.В., Тарасов Д.Е. Экспериментальный комплекс для исследования контактно-усталостного изнашивания деталей машин.....	7

Технологии, оборудование и инструмент лезвийной и абразивной обработки

Азарков А.А., Жуков М.В., Тарпанов А.С. Определение силовых характеристик процесса обработки торцовыми резами полузакрытых винтовых поверхностей.....	14
Ивахненко А.Г., Куц В.В. Схема структурно-параметрического синтеза металлорежущих систем.....	20
Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Михеев А.В., Харчиков Е.В. Определение давления на поверхности проникающего тела в преграду и ее влияние на глубину проникания при сверхзвуковом относительном движении.....	26

Моделирование технологических процессов

Афонин А.Н. Автоматизированные системы моделирования технологических процессов в машиностроении.....	33
Бренков О.Ю., Пудимов П.В., Никишичкин В.Л. Исследование механических свойств ПКМ в зависимости от предварительного электрофизического воздействия на связующее.....	38
Савин Д.А., Антонов П.Г., Герасимов С.А. Моделирование подшипников жидкостного трения с микроструктурной смазкой.....	43
Сытин А.В., Ладыгин С.Ф. Влияние геометрических параметров на прогиб опорной поверхности лепесткового газодинамического подшипника.....	50
Ризачев В.М., Савин Д.А. Метод расчета энергетических характеристик винтовых насосов.....	54

Приборостроение и системы управления

Корицорф С.Ф., Серeda О.Г. Метод определения термоэлектрической способности области сварки термонары.....	58
Лисовкин В.Г., Шведов С.И. Устройство для контроля влажности с повышенной точностью измерения.....	62
Лукин М.В., Костин М.С., Медведев А.Ю. Метод и средство контроля температуры вязких жидкостей.....	66
Худотелов П.А. Сравнительный анализ характеристик торцового асинхронного двигателя и асинхронной машины традиционного исполнения в динамических режимах автоматических устройств.....	73

Испытания, контроль, диагностика, мониторинг

Артемьев В.А., Смирнов А.В., Шабобоев Е.В. Оптико-электронный измеритель скорости с инвариантными характеристиками помехоустойчивости.....	77
Валин В.С., Данилов В.А., Карев С.В. Сравнительные испытания методов оценки низкочастотных вибраций на рабочих местах мобильных машин.....	81
Захарычев С.П., Отмахов Д.В. Исследование антифрикционных армированных эпоксидэфторопластов, полученных намоткой.....	86
Подмастерьев К.В., Марков В.В. Анализ методов трибомониторинга при разработке методического обеспечения экспериментальных испытаний «третьего тела».....	91
Находкин Е.Ф., Фокин П.Н. Методическое и программное обеспечение решения задач, связанных с оценкой несущей способности смазочного слоя.....	101

Проблемы инновационного развития и кадрового обеспечения современного машиностроительного производства

Киричек А.В., Морозова А.В. Моделирование экспертно-аналитического оценивания приоритетной сферы деятельности выпускников технического вуза.....	107
Морозова А.В. Первичная экспертиза баз тестовых заданий по математике.....	115
Ноздрачева Т.А., Сатников Ю.К., Морозова А.В. НИРС как фактор профессионально-ролевой дифференциации студентов профессионального колледжа.....	123
Морозова А.В. Деловая игра как форма организации внеаудиторной работы по математике в вузе.....	128
Протасьев В.Б., Косаревский А.В. Оценка рисков при принятии решений.....	136
Морозова А.В. Математические основы квантитативного моделирования конкурентоспособности инженерно-технических кадров.....	140



Scientific journal
of Orel State Technical
University

The journal is published 6 times a year
№ 3-2/275(561) 2009
May-June

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.*
Subchinov 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.*
Smolenzhev V.P. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Responsible for release of number:
Morozova A.V.

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 THH № 77-15469 from 20.05.03

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii» 29504

© OSTU, 2009

IZVESTIA OREL STATE TECHNICAL UNIVERSITY Series

«Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology»

The journal is published since 1995. The founder – Orel State Technical University

Contents

Technologies, the equipment and the tool of strengthening and finishing processing, technological maintenance of operational properties of details of machines	
Kirichek A.V., Ambrosimov S.K., Selemenev M.F., Morin V.V., Selemenev K.F. Prospects of increase of efficiency of deforming-cutting pulling of static-pulse loading and eplaming the tool.....	3
Kirichek A.V., Soloviev D.L., Barinov D.L., Tarasov D.E., Volobuev A.V. Experimental complex for researches of контактно-fatigue wear process of details of machines.....	7
Technologies, the equipment and the tool лезвийной and abrasive processing	
Agarkov A.A., Jhuplov M.V., Tarapanov A.S. Definition of force characteristics of process of processing by face cuts half-closed screw surfaces	14
Ivakhnenko A.G., Kuts V.V. The scheme of structurally-parametrical synthesis of metal-cutting systems.....	20
Stepanov Ju.S., Barsukov G.V., Mikheev A.V., Kharchicov E.V. Definition of pressure upon surfaces of a penetrating body in a barrier and its influence on depth penetration at supersonic relative movement	26
Modelling of technological processes	
Afonin A.N. Computer aided simulation of technological processes in machine industry.....	33
Jerenkov O.Ju., Igumnov P.V., Nickishechkin V.L. Research of mechanical properties PCM depending on preliminary electrophysical influence on binding.....	38
Savin L.A., Antonov P.G., Gerastimov S.A. Modeling fluid film bearings with microstructure lubrication.....	43
Sytin A.V., Ladygin S.F. Influence of geometrical parameters on a deflection of a basic surface tab gas dynamics bearing	50
Ryazancev V.M., Savin L.A. Method of calculation of power characteristics of screw pumps.....	54
Instrument making and control systems	
Korndorf S. F., Sereda O. G. Method of definition of thermoelectric ability of area of welding of the thermocouple.....	58
Lisichkin V.G., Shvedov S.N. Device for water content control with raised accuracy of measurements.....	62
Lunin M.V., Kostin M.S., Medvedev A.Ju. Method and means of the control of temperature of viscous liquids	66
Khudoyoplov P.A. The comparative analysis of characteristics of the disk asynchronous motor and the asynchronous motor of traditional execution in dynamic modes of automatic devices.....	73
Tests, the control, diagnostics, monitoring	
Artemyev V.A., Smirnov A.V., Shabobayev E.V. Optic-electronic measuring instrument of speed with invariant characteristics of a noise stability	77
Vainin V.S., Danilov V.A., Karev S.V. Comparative test methods evaluation-frequency vibrations in the workplace of mobile machines.....	81
Zakharychev S.P., Otmakhov D.V. Research antifrictional reinforced epoxyfluoroplastic, received by winding.....	86
Podmasteryev K.V., Markov V.V. Analysis the methods of friction monitoring by elaborated the methodical ensuring of experimental researches the «third body».....	91
Pakholkina E.V., Fokin N.N. Methodical maintenance and the software of the estimation of bearing ability of the lubricant layer problems.....	101
Problems of innovative development and personnel maintenance of modern machine-building manufacture	
Kirichek A.V., Morozova A.V. Modelling of expert-analytical estimate of a priority field of activity of graduates of a technical college	107
Morozova A.V. Primary examination of bases of test tasks on mathematics.....	115
Nozdracheva T.A., Sotnikov Ju.K., Morozova A.V. Scientifically research work of students as the factor of professional - role differentiation of students of professional college.....	123
Morozova A.V. Business game as the form of the organization of out-of-class work on mathematics in high school.....	128
Protas'jev V.B., Kosarevskiyaya A.V. Estimation of risks at decision-making.....	136
Morozova A.V. Mathematical bases of qualimetry modelling of competitiveness of the nonproduction staff.....	140

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

ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ УПРОЧНЯЮЩЕЙ И ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

УДК 621.9.025

А.В. КИРИЧЕК, С.К. АМБРОСИМОВ, М.Ф. СЕЛЕМЕНЕВ,
В.В. МОРИН, К.Ф. СЕЛЕМЕНЕВ

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕФОРМИРУЮЩЕ-РЕЖУЩЕГО ПРОТЯГИВАНИЯ СТАТИКО-ИМПУЛЬСНЫМ НАГРУЖЕНИЕМ И ЭПИЛАМИРОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТА

Представлены перспективные методы повышения эффективности деформирующе-режущего протягивания статико-импульсным нагружением и эпиламиранием инструмента.

Perspective methods of increase of efficiency of deforming-cutting pulling of static-pulse loading and epilating the tool are submitted.

Одними из наиболее сложных, трудоемких и дорогостоящих режущих инструментов, широко применяемых в массовом производстве, являются протяжки. При протягивании, вследствие сокращения основного и вспомогательного времени, совмещения предварительной и окончательной обработки достигается высокая производительность труда. Протягиванием достигается высокая точность размеров и геометрической формы поверхности.

В современном машиностроении особое внимание необходимо уделять повышению качества режущего инструмента, от которого во многом зависят производительность и материалоемкость механообрабатывающего производства, а также качество изготавливаемых деталей.

Одним из наиболее перспективных способов повышения эффективности механической обработки является комбинированное воздействие на обрабатываемый материал. Комбинация методов, сочетающих различные виды механического воздействия, в силу общей физической сущности достаточно легко реализуется на традиционном оборудовании, без существенного усложнения технологического процесса.

Основной проблемой процессов протягивания является ускоренный износ дорогостоящих режущих протяжек, возникающий при обработке жаропрочных и легированных сталей, например хромистых, а также невысокое качество поверхности труднообрабатываемых материалов. Для устранения этих недостатков разработаны дорны и режуще-выглаживающие протяжки. Первые, работающие с большими натягами, сложны в проектировании и не удаляют дефектный слой, вторые не решают проблему низкой стойкости режущих зубьев.

Исследования, проведенные в МГТУ МАМИ, позволили разработать принципиально новый метод деформирующе-режущего протягивания (ДРП) отверстий в деталях из труднообрабатываемых сталей и сплавов, который позволил решить проблему стойкости режущих зубьев за счет снижения силы резания по механически упрочненному слою и одновременно повысить качество обработки. Были разработаны методы резания с опережающим пластическим деформированием, например размерно-совмещенное обкатывание [4] производящееся на скоростях 100-200 м/мин и деформирующе-режущее протягивание,

производящееся на скоростях 1 - 6 м/мин [1]. В первом случае резец, расположенный в зоне вне контактной деформации, подрезает часть образующейся от деформирующего инструмента пластической волны, позволяя тем самым управлять состоянием поверхностного слоя [3]. Деформирующе-режущее протягивание (ДРП) осуществляется инструментом, у которого деформирующий элемент или элементы расположены перед секциями режущих зубьев, т.е. перед каждым циклом резания осуществляется поверхностное пластическое деформирование. Глубина механически упрочненного слоя по толщине втулки зависит от натяга, на деформирующий элемент, радиальной жесткости, пластических свойств обрабатываемого материала, угла заборного конуса деформирующего элемента, и достигает 1,5 мм.

ДРП позволяет уменьшить длину протяжек в 2...2,5 раза, за счет более эффективного увеличения диаметра отверстия деформирующими зубьями (при натягах 0,4...0,7 мм) чем режущими, использовать для обработки отверстий более короткие прошивки, соответственно увеличивается производительность процесса. Кроме того, деформирующие зубья исправляют форму отверстия, обеспечивая более равномерное распределение припуска по периметру режущих кромок. Применение ДРП для обработки вязких материалов позволило значительно снизить шероховатость обработанных поверхностей. Рядом исследователей было установлено, что при срезании предварительно механически упрочненного поверхностного слоя толщиной составляющей от 0,02 до 0,07 мм, несмотря на повышение твердости силы резания снижаются на 30...40% [1, 2], а снижение силы резания связано с повышением размерной стойкости режущих зубьев. Однако из-за защемления опорного торца отверстие приобретает конусность и за счет этого толщина срезаемого слоя по длине втулки изменяется неравномерно. После выхода деформирующего элемента из отверстия происходит упругая усадка втулки тем большая, чем ближе режущий зуб расположен к деформирующему элементу. Из-за этого происходит удар обрабатываемой поверхности о режущую кромку, что приводит к образованию ступенек на обработанной поверхности. Несмотря на указанные недостатки высокая эффективность ДРП на черновых стадиях процесса обеспечивается за счет эффективного увеличения диаметра деформирующими зубьями, снижения силы резания и определенного согласования между подачами (натягами) на режущие и деформирующие зубья. Многочисленные примеры указывают на то, что нелинейное согласование между подачами на различных стадиях процесса и при различных воздействиях эффективно интенсифицируют процессы протягивания.

Принципиально новый класс протяжек представляют протяжки, сочетающие косоугольное резание с опережающим пластическим деформированием и с упругопластическим нагружением в зоне резания.

Апробация протяжек и прошивок с деформирующе-режущими элементами с упругопластическим нагружением и косоугольным резанием в условиях ЗАО «Липецкий Станкозавод» показала:

- 1) повышение производительности в 1,5-2 раза за счет сокращения длины черновой и переходной частей инструмента;
- 2) уменьшение затрат на изготовление инструмента в 2-3 раза за счет повышения стойкости деформирующе-режущих элементов и за счет сокращения длины рабочей части;
- 3) снижение силы резания (удельных сил резания) на 20-25% за счет уменьшения удельной осевой составляющей силы и уменьшения неравномерности срезаемого припуска;
- 4) уменьшение отклонения профиля продольного сечения.

Перспективным методом повышения производительности и уменьшением потребляемой мощности является статико-импульсное нагружение деформирующе-режущих протяжек.

Статико-импульсная обработка (СИО) является новым, разработанным и запатентованным способом ППД. Ее особенностью является комбинированное статическое и динамическое нагружение очага деформации. Основное деформирующее воздействие происходит за счет динамической составляющей нагрузки, которая формируется в ударной системе и сообщается в очаг деформации в виде пролонгированного импульса [5].

Схема нагружения при статико-импульсном дорновании (СИД) аналогична дорнованию, отличие заключается в том, что основным деформирующим воздействием при СИД является импульсная динамическая нагрузка (P_u), осуществляемая с определенной частотой (f) генератором механических импульсов [6]. При этом постоянное статическое поджатие (P_{cm}) инструмента к упрочняемой поверхности, обеспечиваемое гидроцилиндром позволяет более полно передавать энергию удара в очаг деформации [7].

Проводимые исследования [6] показали, что статико-импульсная обработка внутренних цилиндрических поверхностей позволяет более чем в два раза повысить производительность, в 2,2 раза уменьшить потребляемую мощность в сравнении с дорнованием осуществляемым под статической нагрузкой, шероховатость упрочненной поверхности достигает $Ra = 0,08$ мкм, уменьшаясь за один проход с 5 мкм, то есть более чем в 60 раз.

Применение смазочно-охлаждающих технологических средств позволяет снизить силу резания при протягивании, и увеличить износостойкость протяжки.

Для значительного повышения стойкости инструмента и качества поверхности обрабатываемых деталей, их экономичности и надежности необходимо решить проблему смазывания в зоне обработки. Существующие методы, такие как: подача СОТС в зону резания под давлением и метод вакуумного распыления, очень трудоемки и требуют дорогостоящей смазочной оснастки.

Новым перспективным направлением развития машиностроения по повышению стойкости металлорежущего инструмента является применение наукоемких нанотехнологических покрытий поверхностей фторсодержащими поверхностно-активными веществами (ФТОР-ПАВ) из растворов эпиламов (тонкопленочных покрытий) - эпиламирование, не имеющих аналогов в мировой практике.

Термин эпилам появился в 30-е годы XX в. и определяет составы, которые наносятся на поверхности инструмента для предотвращения удаления смазки из зоны резания. Впервые были предложены швейцарским часовщиком П. Воогом для обработки часовых деталей, чтобы предотвратить растекание масла. Первый отечественный эпилам ЭН-3 был разработан в НИИЧасПроме Г.И. Фуксом и Л.В. Тимофеевой [8].

Современные эпиламы представляют собой многокомпонентные системы, включающие фторорганические поверхностно-активные вещества, регулирующие добавки в различных растворителях.

Основным компонентом композиций являются полиэферы карбоновых кислот, которые относятся к высокомолекулярным соединениям, содержащим до 10000 моноостатков в цепи, имеющие коричневый цвет, не растворимы в воде, температура плавления составляет 34,7 - 35°C, температура - кипения 47,7°C. По химическому строению полиэферы представляют собой фторуглеродный радикал R_f с присоединенными к нему концевыми группами. ФТОР-ПАВ, наносимые из растворителя, образуют тонкие пленки (40 - 80А), создающие на поверхности твердого тела строго ориентированную структуру, существенно снижающую поверхностную энергию твердого тела.

В качестве растворителей используют фторуглеродородный, фторхлоруглеродородный растворитель или их смеси с этиловым, метиловым и др. спиртами, ацетон. Свойства растворителя оказывают влияние на структуру осажденного слоя ПАВ, скорость протекания адсорбции, а также взаимодействие композиции с материалом подложки.

Технология эпиламирования из всех известных технологий нанесения износостойких покрытий и методов повышения стойкости инструмента наиболее универсальна, применима к инструменту любой формы из самых различных материалов и позволяет получить комплекс свойств поверхности не достижимый для других технологий. При этом механические свойства инструмента (твердость, размеры и т.д.) после эпиламирования не меняются.

Процесс эпиламинирования низкотемпературный, экологически безопасный, с малыми энергозатратами.

Эффективность применения эпиламинированного инструмента определяется технологическими условиями обработки – режимами резания, наличием и видом СОТС. Наибольший эффект достигается за счет удержания наномолекулярным покрытием ФТОР-ПАВ масла в зоне обработки.

Результаты измерений [8] позволили сделать выводы о том, что при малой скорости резания $v = 0,09$ м/с, $l = 50$ мм и $v = 0,125$ м/с, $l = 10$ мм тонкопленочное покрытие при обработке без СОТС действуют как смазочная композиция и способствуют снижению температуры в зоне резания. При обработке с применением СОТС покрытие способствует проникновению и удержанию СОТС в зоне резания.

Апробация эффективности эпиламинирования для повышения периода стойкости сверл из быстрорежущей стали была выполнена на предприятии ОАО «Промприбор». В результате испытаний было зафиксировано повышение стойкости инструмента в 1,3 раза [9].

Анализируя данные исследований можно сделать вывод, что статико-импульсное нагружение деформирующе-режущих протяжек с косоугольным резанием, обработанных эпиламом, позволит повысить эффективность обработки и уменьшить износ режущих зубьев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов А.М., Обработка комбинированным протягиванием круглых отверстий в деталях из вязких материалов [Текст] / А.М. Кузнецов, А.З. Марин. // Автомобильная промышленность. - №4. 1970. С. 33 - 35.
2. Э.К. Посвятенко Исследование обрабатываемости металла, упрочненного черновым деформирующим протягиванием [Текст] / Э.К. Посвятенко. - Автореферат дисс. канд. техн. наук. - Киев: 1973. - 29 с.
3. В.М. Смелянский Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] / В.М. Смелянский. - М.: Машиностроение, 2002. - 300 с.
4. В.М. Смелянский Размерное совмещённое обкатывание гладких валов [Текст] / В.М. Смелянский. // Технология автомобилестроения. НИИ-Тавтопром. №10. 1980. С. 19-22.
5. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев. А.Г. Лазуткин. – Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.
6. А.В. Киричек Статико-импульсная обработка внутренних цилиндрических поверхностей [Текст] / А.В. Киричек, А.Г. Лазуткин, Д.Л. Соловьев, С.А. Силантьев // Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение. 2004. - №3 С.16-17.
7. Исследование влияния параметров статико-импульсного дорнования на глубину упрочняющего слоя / А.В. Киричек, А.В. Поляков, Д.Л. Соловьев // Известия ОрелГТУ. Машиностроение. 2008. - №3-7/271 С.47-50.
8. А.В. Киричек, Е.А. Звягина Условия рационального использования покрытий эпиламов и их влияние на процесс резания при сверлении.// Известия ОрелГТУ. Машиностроение. 2007. - №3/123 С.78-86.
9. А.В. Киричек, Е.А. Звягина Технологическое обеспечение эффективности обработки эпиламинированными быстрорежущими сверлами. // Известия ОрелГТУ. Машиностроение. 2008. - №2-3/115 С.14-21.

Киричек Андрей Викторович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, директор технологического института, профессор

Тел. (4862) 55-55-24

E-mail: avk@ostu.ru

Амбросимов Сергей Константинович

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»
Тел. (4742) 74-39-36
E-mail: mailbox@stu.lipetsk.ru

Селеменев Михаил Федорович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: selemeney2007@yandex.ru

Морин Владимир Валерьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: valodyaka@yandex.ru

Селеменев Константин Федорович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862) 54-15-03
E-mail: ti@ostu.ru

УДК 621.787.6

А.В. КИРИЧЕК, Д.Л. СОЛОВЬЕВ, С.В. БАРИНОВ,
Д.Е. ТАРАСОВ, А.В. ВОЛОБУЕВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНТАКТНО-УСТАЛОСТНОГО ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В статье описан экспериментальный комплекс, который позволяет решать широкий круг задач при исследовании контактно-усталостного изнашивания плоских поверхностей деталей машин. Экспериментальный комплекс, контактно-усталостное изнашивание, плоские поверхности.

In article the experimental complex which allows to solve the broad audience of problems at research of contact-fatigue wear process of flat surfaces of details of machines is described. Experimental complex, contact-fatigue chafing, flat surfaces.

Для повышения долговечности деталей машин, работающих в условиях контактно-усталостного нагружения, обычно используют различные способы упрочнения (термообработка, химико-термическая обработка, поверхностное пластическое деформирование и др.), повышающие твердость поверхностного слоя [1-4]. Определение эффективности применяемого упрочнения, а также параметров упрочненного поверхностного слоя часто возможно только в результате экспериментальных испытаний. Условия проведения таких испытаний должны максимально повторять условия работы изнашиваемой поверхности. Поэтому испытательные машины и комплексы, как правило, создаются для исследований контактно-усталостного изнашивания конкретных групп деталей, и значительную роль при этом играет форма их поверхностей.

Анализ существующих испытательных машин [4, 5] показал, что кинематика имитации работы цилиндрической поверхности обычно основывается на ее вращательном движении. При испытаниях плоской поверхности часто необходимо создавать как вращательное (например, кольца упорных подшипников), так и поступательное (например, рельсы и направляющие) движение поверхности. Поэтому экспериментальные комплексы для исследований контактно-усталостного изнашивания плоских поверхностей обычно имеют достаточно узкую специализацию. Кроме того не всегда удается оценить влияние на износ всех условий работы поверхности детали.

Для решения этой проблемы авторами разработаны конструкции экспериментальных стендов. Основными преимуществами которых являются возможность исследования большого количества параметров характеризующих условия работы плоской поверхности при действии на нее циклических контактных нагрузок. Кроме того может быть обеспечено одновременное испытание нескольких образцов упрочненных различными способами и режимами, что позволяет выявить наиболее эффективную обработку, а также значительно снижена длительность испытаний.

Стенд горизонтального исполнения (рис.1), предназначен для монтажа на токарных станках (например, 16К20) и состоит из обкатника, закрепленного в патроне станка, и механизма крепления и поджатия образцов к обкатнику, зажатого в резцедержателе.

Рабочими элементами обкатника являются шары 3, размещенные в пазах сепаратора 2. Между сепаратором 2 и корпусом 1 обкатника устанавливается упорный диск 4, относительно которого происходит центрирование шаров 3. Между шарами 3 и корпусом 1 обкатника размещено войлочное кольцо 5. При работе обкатника шары 3 с одной стороны контактируют с пластиной с упрочненными образцами 6, а с другой – с войлочным кольцом 5.

Механизм крепления и поджатия образцов к обкатнику содержит пластину с упрочненными образцами 6, которая монтируется к левому торцу плиты 7, имеющей возможность продольного перемещения относительно основания. На другом торце подвижной плиты 7 установлен кронштейн к которому крепится индикатор часового типа 8 со щупом, который воздействуя на расположенный на основании упор 9, отклоняет стрелку индикатора, определяя перемещение подвижной плиты 7 относительно основания.

Испытания осуществляются следующим образом. Продольным перемещением суппорта станка, пластина с упрочненными образцами 6 поджимается к обкатнику. Упор 9 воздействует на индикатор 8, по показаниям которого устанавливается необходимая для испытаний величина статического нагружения пластины с упрочненными образцами к обкатнику. При достижении требуемой нагрузки движение суппорта станка блокируется, исключая его произвольный отход во время испытаний. Включается вращение шпинделя с обкатником с заданной частотой, при этом шары 3 совершают круговое обкатывающее движение по поверхности пластины с образцами.

После прохода заданного числа циклов контактного нагружения, испытания завершаются, упрочненные образцы извлекаются из пластины и подвергаются лабораторным исследованиям.

В конструкции стенда имеется возможность подачи смазки в зону контакта шаров с упрочненными образцами. Для этого войлочное кольцо 5 периодически пропитывают индустриальным маслом.

Расположение шаров 3 на различном расстоянии от центра обкатника позволяет за одно испытание получить на каждом упрочненном образце несколько дорожек качения (рис.2). Так если в пазах сепаратора установлено по три шара, тогда на пластине с упрочненными образцами образуются дорожки качения с радиусами R_1 , R_2 , R_3 . Максимальная угловая скорость будет при качении шаров по радиусу R_1 , минимальная – по R_3 . При R_1 соотношение качение–проскальзывание будет меньше, чем при R_2 , а при R_2 меньше чем при R_3 . Появляется возможность установить влияние на износ различной скорости обкатывания и соотношения качение–проскальзывание. В результате при

испытаниях с большими радиусами обкатывания, с определенной долей достоверности, можно моделировать условия качения по прямой траектории, когда проскальзывание минимально, например, работу направляющих при движении по ним тел качения, рельс и др. На малых радиусах обкатывания можно моделировать, например, условия работы колец упорных подшипников, дисков предохранительных муфт и др.

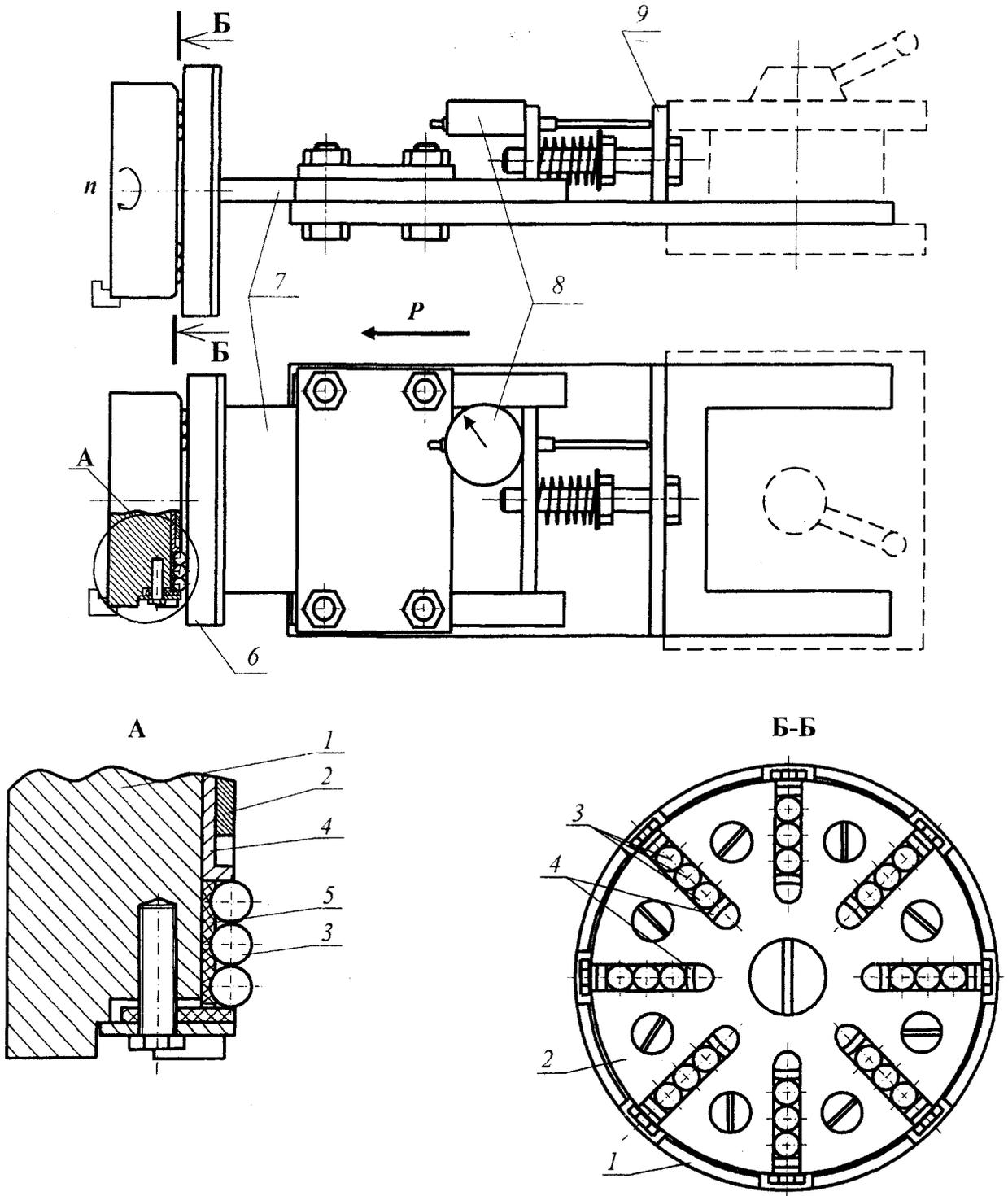


Рисунок 1 - Экспериментальный стенд (в горизонтальном исполнении) для исследований контактно-усталостного изнашивания плоских поверхностей деталей машин:
1- корпус обкатника; 2- сепаратор; 3- шары; 4- диск упорный; 5- кольцо войлочное; 6- пластина с упрочненными образцами; 7- плита; 8- индикатор; 9- упор

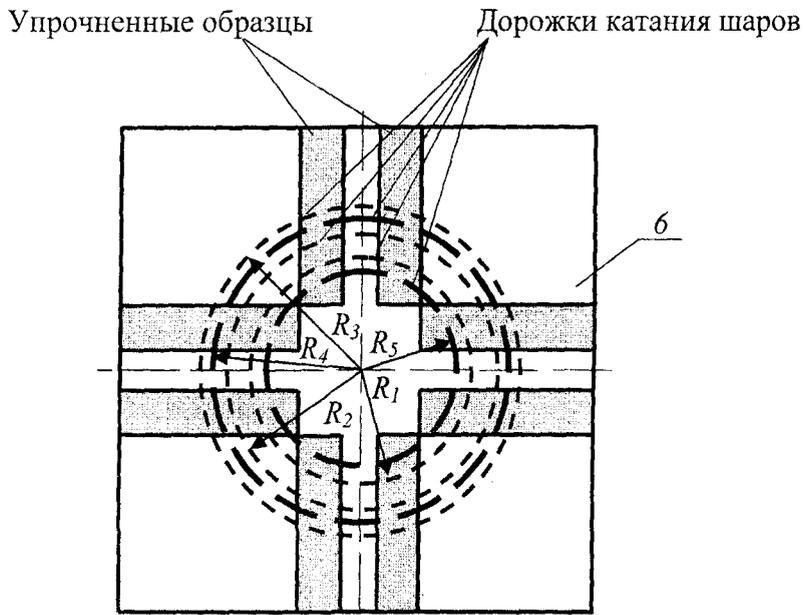


Рисунок 2 - Пластина с упрочненными образцами:

R_1, R_2, R_3 и R_4, R_5 – радиусы дорожек качения полученные при установке в пазы сепаратора соответственно по три и по два шара

Для оценки влияния размеров пятна контакта на контактно-усталостное изнашивание могут использоваться шары различных диаметров. При этом для каждого диаметра шаров необходимо применять свой сепаратор с соответствующими пазами. При использовании шаров небольшого диаметра количество дорожек будет больше. Например, при использовании шаров диаметром 8,9 мм на пластине с упрочненными образцами можно получить три дорожки качения, а при использовании шаров диаметром 19 мм – две. Таким образом, проведя испытания шарами диаметром 8,9 мм, а затем шарами диаметром 19 мм можно получить пять дорожек качения на одном образце (рис.2).

Расположение шаров в восемь радиальных рядов (рис. 1, вид Б-Б) позволяет за один оборот обкатника осуществлять восемь циклов нагружения, что существенно уменьшает время испытаний и увеличивает равномерность нагружения. Так, в результате использования стенда при испытаниях на базе 10^6 циклов, частоте вращения шпинделя 400 об/мин, время испытаний составит 5,2 часа.

Размещение на пластине 6 (рис.2) сразу нескольких упрочненных образцов (до 8 шт.) позволяет одновременно провести их испытания при одинаковых условиях и сравнить износ поверхности образцов после различных упрочняющих обработок и различных режимов упрочнения.

Для одновременного испытания большего числа образцов (до 16 шт.) можно вместо войлочного кольца 5 установить еще одну пластину с упрочненными образцами, тогда сепаратор зажимается между двумя пластинами с возможностью свободно вращаться относительно них. При испытаниях, вращательное движение сепаратор получает от пластины, закрепленной в шпинделе станка.

Такая конструкция была реализована в вертикальном исполнении стенда, который предназначен для установки на сверлильных и вертикально-фрезерных станках и выглядит следующим образом (рис.3). Рабочие элементы обкатника шары 3, устанавливаются в текстолитовом сепараторе 2. Сепаратор размещается между двумя пластинами с упрочненными образцами 5 и 6. Нижняя пластина 5 монтируется на столе станка 9. Верхняя пластина 6 через просверленные в ней отверстия, жестко крепиться болтами к оправке 1, в которую ввинчивается конус 4, предназначенный для крепления в патроне станка. Центрирование сепаратора относительно пластины с упрочненными образцами 6

осуществляется осью 7, которая соединяет их через отверстия, просверленные в пластине 6 и сепараторе.

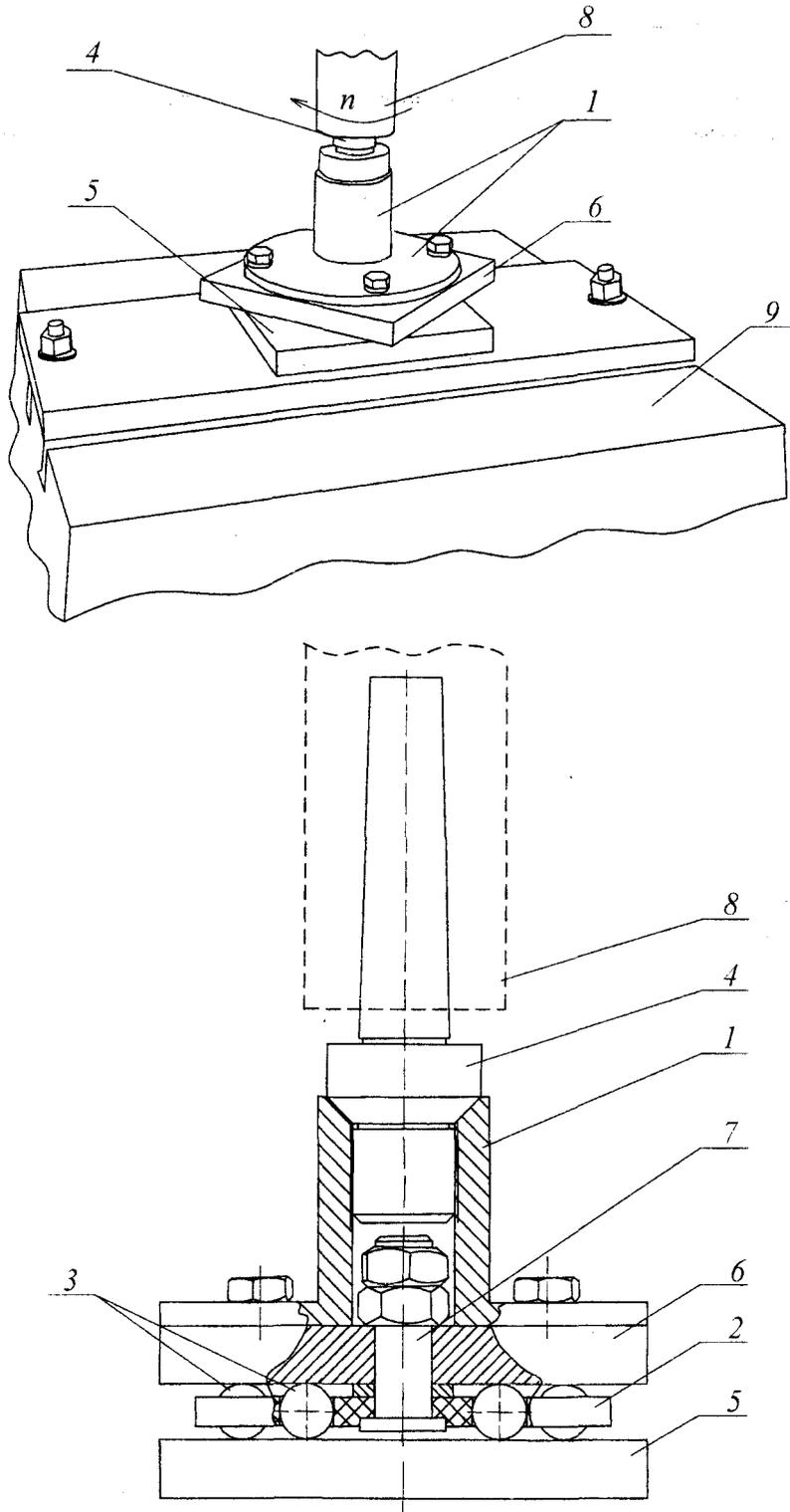


Рисунок 3 - Экспериментальный стенд (в вертикальном исполнении) для исследований контактно-усталостного изнашивания плоских поверхностей деталей машин:
1- оправка; 2- сепаратор; 3-шары; 4- конус; 5- нижняя пластина с упрочненными образцами; 6- верхняя пластина с упрочненными образцами; 7- ось; 8- шпиндель станка; 9- стол станка

Для устранения перекосов взаимного расположения верхней и нижней пластины с образцами перед началом испытаний осуществляется контроль расстояния между ними с помощью индикатора.

Испытания осуществляются следующим образом. Через конус 4 обкатника верхняя пластина с упрочненными образцами за счет вертикального перемещения шпинделя станка поджимается к нижней через шары 3, установленные в сепараторе 2. Сила поджатия пропорциональна силе нажатия на рукоятку ручного перемещения шпинделя станка, которая регулируется подвешиваемыми к ней грузами. Включается вращение шпинделя с заданной частотой, при этом шары совершают круговое обкатывающее движение по поверхности верхней 6 и нижней 5 пластин с упрочненными образцами. В зону контакта шаров с испытуемой поверхностью может осуществляться регулярный подвод индустриального масла.

При достижении заданного числа циклов контактного нагружения, испытания завершаются, упрочненные образцы извлекаются из пластин 5 и 6 и подвергаются лабораторным исследованиям.

Сепараторы, используемые в конструкции, позволяют убирать шары из одного или нескольких радиальных рядов в ходе испытаний, в случае достижения на данной дорожке качения критического износа. При этом испытания могут быть продолжены для других дорожек качения, где износ еще не достиг критического значения. Для каждого диаметра шаров необходимо использовать свой сепаратор с соответствующим расположением в нем шаров (рис. 4).

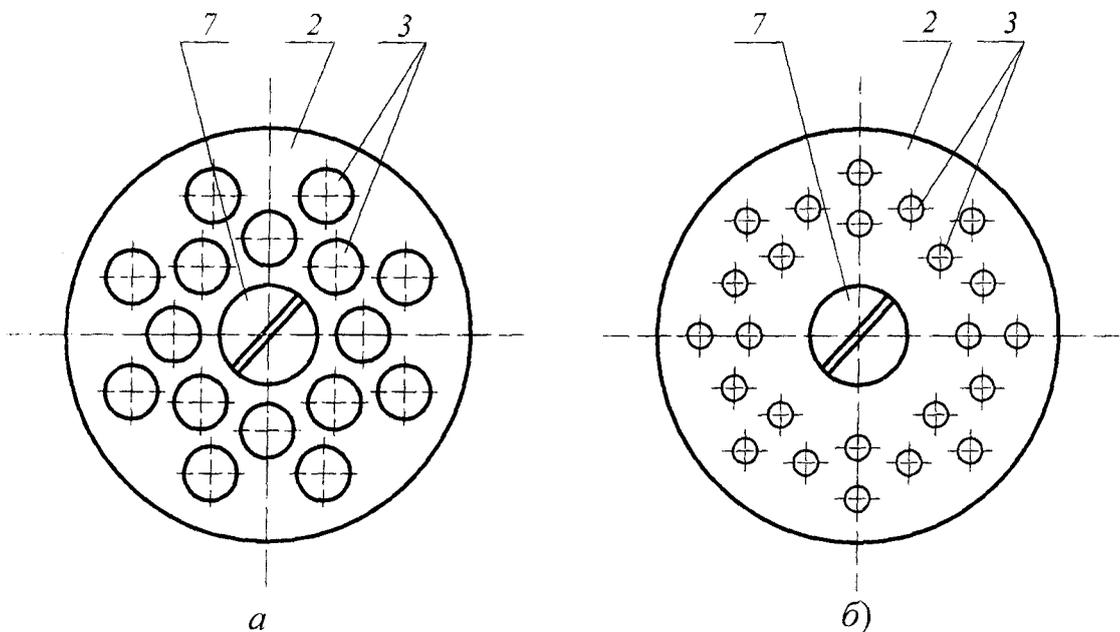


Рисунок 4 - Схема установки шаров в сепараторе:
а) $\varnothing 19$ мм; б) $\varnothing 8,9$ мм

Разработанные конструкции экспериментальных стендов являются экспериментальным комплексом, позволяющим решать широкий круг задач при исследовании контактно-усталостного изнашивания плоских поверхностей деталей машин. В ходе исследований может быть учтено влияние:

- давления в пятне контакта;
- размеров пятна контакта;
- скорости качения;
- соотношения качение-проскальзывание;
- количества и типа смазки, подаваемой в зону контакта.

Кроме того, разработанные экспериментальные стенды позволяют:

- снизить длительность испытаний (не более 5...10 ч.) за счет возможности осуществлять за один оборот обкатника восемь циклов нагружения;
- проводить испытания одновременно нескольких образцов (от 8 до 16) при одинаковых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головин Г.Ф. Остаточные напряжения, прочность и деформации при поверхностной закалке токами высокой частоты. Л.: Машиностроение, 1973. 144 с.
2. Иванов Г.П., Картонова Л.В., Худошин А.А. Повышение износостойкости деталей созданием регулярной гетерогенной макроструктуры // Строительные и дорожные машины, 1997. № 1. С. 33-34.
3. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2004. 288 с.
4. Влияние внешних факторов на контактную прочность при качении. С.В. Пинегин, И.А. Шевелев, В.М. Гудченко, В.И. Седов, Ю.Н. Блохин. Наука, 1972. 102 с.
5. Орлов А.В., Черменский О.Н., Нестеров В.М. Испытания конструкционных материалов на контактную усталость. Машиностроение, 1980. 110 с.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 09-01-99005

Киричек Андрей Викторович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

директор Технологического института ОрелГТУ

тел./ fax (4862)555524, E-mail: avk@ostu.ru

Соловьев Дмитрий Львович

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета

Доктор технических наук, профессор кафедры «Станки и инструмент»

тел.(49234)32022, fax (49234)22885, E-mail: murstin@yandex.ru

Баринов Сергей Владимирович

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета

Кандидат технических наук, доцент

Тел. (49234) 3-20-22, fax (49234) 2-28-85

E-mail: murstin@yandex.ru

Дмитрий Евгеньевич Тарасов

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

тел./ fax (4862)555524, E-mail: ostu@ostu.ru

Волобуев Александр Владимирович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

тел./ fax (4862)555524, E-mail: ostu@ostu.ru

УДК 621.914.7

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ТОРЦОВЫМИ ФРЕЗАМИ ПОЛУЗАКРЫТЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Приведены результаты комплексного анализа кинематических изменений углов режущей части инструмента и параметров срезаемого слоя на основе пространственного математического отображения схемы обработки полузакрытых винтовых поверхностей торцовыми фрезами. Этот подход позволяет разработать математическую модель расчета сил резания и прогнозировать точность деталей.

Results of the complex analysis of kinematic changes of corners of a cutting part instrumenta and parametres of a cut off layer on the basis of spatial mathematical display of the scheme of processing of half-closed screw surfaces by face mills are resulted. This approach allows to develop mathematical model of calculation of forces of cutting and to predict accuracy of details.

Традиционная обработка полузакрытых винтовых поверхностей (рисунок 1) отличается трудоемкостью и использованием как минимум двух инструментов для формообразования. Фрезерование винтовой поверхности такой конфигурации позволяет резко повысить, как производительность процесса, так и качество получаемой поверхности.

Особенностью при обработке полузакрытой винтовой поверхности является постоянное изменение толщин срезаемых слоев для каждой точки режущих лезвий инструмента. Исследование кинематики этого процесса помогает спрогнозировать точность получаемых изделий и позволяет более полно использовать возможности инструмента. Численный анализ параметров обработки позволяет решить ряд важных задач, таких как определение параметров режима резания и его оптимизация. Анализ процесса резания включает в себя определение рабочих углов инструмента и параметров срезаемого слоя.

Расчет рабочих углов и параметров срезаемого слоя основан на применении математического отображения кинематической схемы резания, которая определяет положение любой точки режущего лезвия инструмента в процессе резания. При помощи математического отображения схемы резания удобно определение таких параметров механической обработки, как кинематические изменения рабочих углов, размеры срезаемого слоя металла, шероховатость обработанной поверхности, износ инструмента и др. [1].

Математическое отображение схемы резания в общем виде:

$$\begin{aligned} x &= f_1(V, S, L); \\ y &= f_2(V, S, L); \\ z &= f_3(V, S, L) \end{aligned} \tag{1}$$

где, V – параметр движения резания,

S – параметр движения подачи;

L – параметр режущего лезвия инструмента,

x, y, z – координаты точки режущего лезвия инструмента.

Математическое отображение схемы резания при обработке полузакрытой винтовой поверхности торцовой фрезой выглядит следующим образом:

$$x = (\varphi(L) + \Delta\varphi(L)) \cdot \cos \omega + (r_i + \Delta r) \cdot \sin \varphi(V) \cdot \sin \omega + p\varphi(S);$$

$$y = (A_\omega - (r_i + \Delta r) \cdot \cos \varphi(V)) \cdot \cos \varphi(S) - (B\omega - (r_i + \Delta r) \cdot \sin \varphi(V) \cdot \cos \omega + (\varphi(L) + \Delta \varphi(L) \cdot \sin \omega) \cdot \sin \varphi(S));$$

(2)

$$z = B_\omega - (r_i + \Delta r) \cdot \sin \varphi(V) \cdot \cos \omega + (\varphi(L) + \Delta \varphi(L)) \cdot \sin \omega.$$

где $\varphi(S)$ -угол поворота винта;

ω -угол подъема винтовой линии;

$A\omega$; $B\omega$ -расстояния между осями фрезы и осью винта

p -винтовой параметр, связанный с шагом винтовой поверхности соотношением $p = P/2\pi$,

где P - шаг винтовой поверхности.

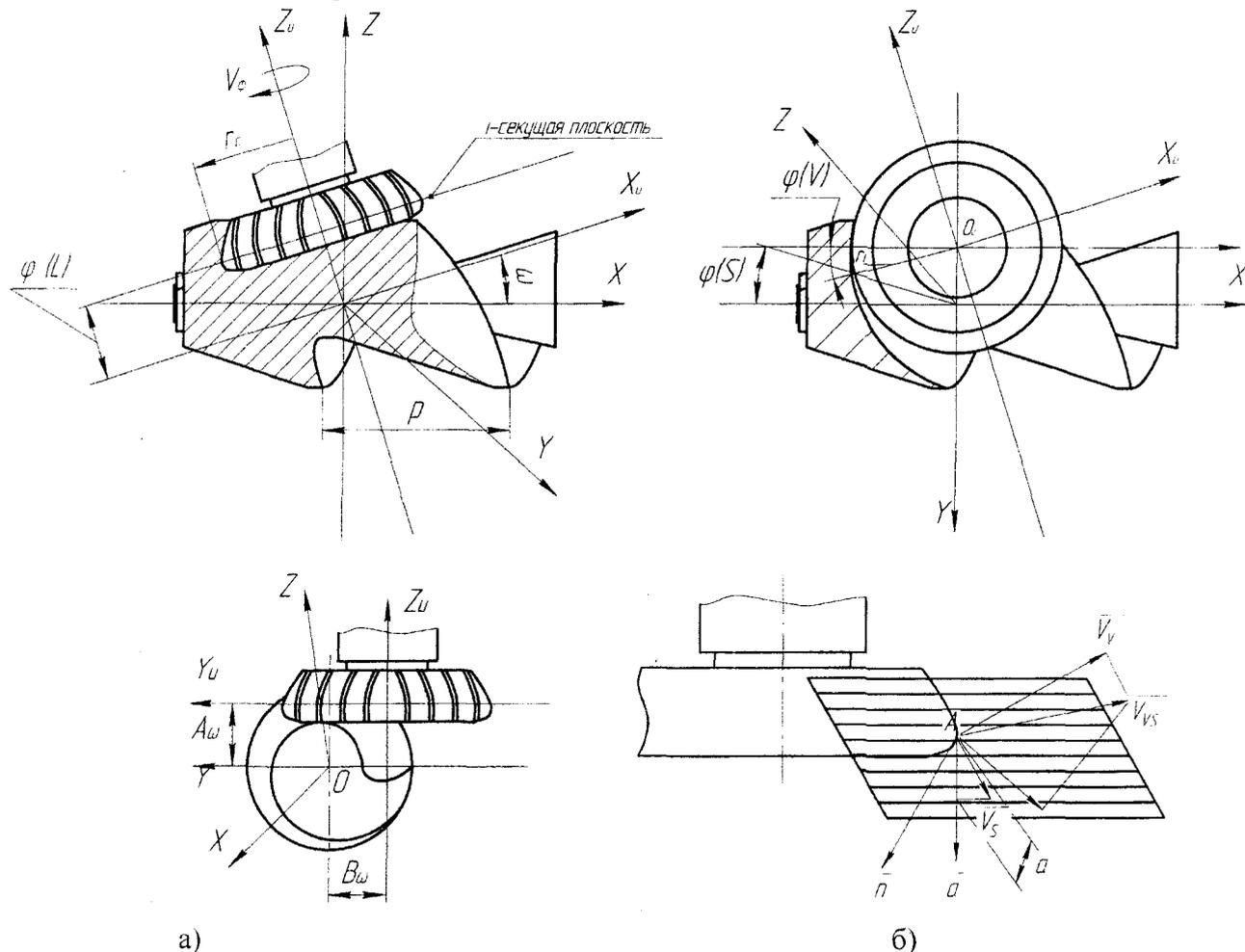


Рисунок 1 – Кинематические параметры процесса обработки полузакрытых винтовых поверхностей: а) схема обработки винта торцевой фрезой; б) схема для определения толщины срезаемого слоя при фрезеровании винтовой поверхности торцевой фрезой

Основными параметрами, влияющими на значение силы резания, являются кинематические изменения рабочих углов и толщина срезаемого слоя. Для их расчета определяются частные производные уравнений (1) и (2) по параметрам движения резания, движения подачи и параметру режущей кромки [2].

Кинематическое изменение заднего угла в направлении перемещения по подаче можно определить по формуле:

$$\Delta \alpha = \operatorname{arctg} \frac{|\vec{V}_s|}{|\vec{V}_v|}; \quad (3)$$

Абсолютные величины векторов скорости перемещения в направлении движения резания и подачи:

$$|\bar{V}_V| = \frac{d\varphi(V)}{d\tau} \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial\varphi(V)}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial\varphi(V)}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial\varphi(V)}\right)^2}; |\bar{V}_S| = \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial\varphi(S)}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial\varphi(S)}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial\varphi(S)}\right)^2}. \quad (4)$$

Для вычисления толщины срезаемого слоя, необходимо получить уравнение плоскости, касательной к поверхности резания в точке А. Эта плоскость определяется тремя векторами:

вектором, касательным к режущей кромке: $\bar{n} = \left\{ \frac{\partial x}{\partial\varphi(L)}; \frac{\partial y}{\partial\varphi(L)}; \frac{\partial z}{\partial\varphi(L)} \right\}$

вектором $\bar{V}_{VS} = \{V_{XVS}; V_{YVS}; V_{ZVS}\}$ и вектором $\bar{z} = \{(x - x_A); (y - y_A); (z - z_A)\}$.

Вектор \bar{a} , в направлении которого измеряется толщина срезаемого слоя, должен быть перпендикулярен к плоскости P в точке А:

$$\bar{a} = \{a_x; a_y; a_z\} \quad (5)$$

где составляющие вектора толщины

$$a_x = \left(\frac{\partial y}{\partial\varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial y}{\partial\varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \left[-\frac{dr}{d\varphi(L)} (\cos\varphi(V)\sin\varphi(S) + \sin\varphi(V)\cos\omega\cos\varphi(S)) + \sin\omega\cos\varphi(S) \right] - \left(\frac{\partial z}{\partial\varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial z}{\partial\varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \times \left[\frac{dr}{d\varphi(L)} (\sin\varphi(V)\cos\omega\sin\varphi(S) - \cos\varphi(V)\cos\varphi(S)) - \sin\omega\sin\varphi(S) \right];$$

$$a_y = \left(\frac{\partial z}{\partial\varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial z}{\partial\varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \left(\frac{dr}{d\varphi(L)} \sin\varphi(V)\sin\omega + \cos\omega \right) - \left(\frac{\partial x}{\partial\varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial x}{\partial\varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \times \left(-\frac{dr}{d\varphi(L)} (\cos\varphi(V)\sin\varphi(S) + \sin\varphi(V)\cos\omega\cos\varphi(S)) + \sin\omega\cos\varphi(S) \right); \quad (6)$$

$$a_z = \left(\frac{\partial x}{\partial\varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial x}{\partial\varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \left(\frac{dr}{d\varphi(L)} (\sin\varphi(V)\cos\omega\sin\varphi(S) - \cos\varphi(V)\cos\varphi(S))\sin\omega\sin\varphi(S) \right) - \left(\frac{\partial y}{\partial\varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial y}{\partial\varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \times \left(\frac{dr}{d\varphi(L)} \sin\varphi(V)\sin\omega + \cos\omega \right).$$

Спроектировав на направление вектора \bar{V}_S вектор \bar{a} , получаем толщину срезаемого слоя:

$$a = \frac{\frac{\partial x}{\partial\varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} V_x \cdot a_x + \frac{\partial y}{\partial\varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} V_y \cdot a_y + \frac{\partial z}{\partial\varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} V_z \cdot a_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}} \quad (7)$$

Кинематическое изменение переднего угла определяется по формуле:

$$\Delta\gamma = \arctg \frac{a}{|\bar{V}_S|}. \quad (8)$$

Обработка полузакрытых винтовых поверхностей является кинематически сложным процессом, поэтому точный аналитический расчет сил резания представляет большую сложность.

Применение математического отображения схемы резания при описании режущих лезвий инструмента для расчета сил резания позволяет использовать зависимость, характерную для инструмента с прямолинейными режущими кромками и кинематически простыми движениями.

Выражение для определения сил резания [2] имеет вид :

$$P_z = \sum \Delta P_z \Delta b K_{NE};$$

$$P_y = \sum \Delta P_y \Delta b K_{NE} \quad (9)$$

Где $\Delta P_z, \Delta P_y$ – удельная сила резания, приходящаяся на 1 мм длины режущей кромки; Δb – элемент длины режущей кромки, в пределах которого значения a, α, γ считаются неизменными;

$K_{сн}$ – коэффициент сложности формирования стружкообразования при несвободном резании.

δ – угол между межосевым перпендикуляром и нормалью к режущей кромке в пределах рассматриваемого элемента;

ψ – угол поворота винтовой поверхности в плоскости вращения инструмента.

Величина ΔP определялась экспериментально [2]:

$$\begin{aligned} \Delta P_z &= 1,9 \cdot 10^2 \cdot a^{0,75} (0,57 \cdot 10^2 \gamma)^{-0,1a^{0,35}} \alpha^{-0,07} K_{P_z}; \\ \Delta P_y &= 0,56 \cdot 10^3 a (0,57 \cdot 10^2 \gamma)^{-a^{0,2}} \alpha^{-0,2} K_{P_y}, \end{aligned} \quad (10)$$

где K_{P_z}, K_{P_y} – обобщенные поправочные коэффициенты, равные произведению коэффициентов $K_M, K_{СОЖ}, K_H, K_V$, учитывающих влияние следующих факторов: K_M – материала; $K_{СОЖ}$ – СОЖ; K_H – износа инструмента, K_V – скорости резания.

Значения $a, \Delta \alpha, \Delta \gamma$ определяются по зависимостям (3),(7),(8).

Значения коэффициента сложности при обработке алюминия АК 9 $K_{сн} = 1,3$ [2].

С помощью зависимостей (9),(10), можно найти составляющие силы резания в любой момент времени работы зуба инструмента при обработке полузакрытой винтовой поверхности.

Предложенные формулы позволяют анализировать схемы резания при обработке фрезами полузакрытых винтовых поверхностей. Причем определяемые по общей разработанной методике параметры могут быть рассчитаны для любого вида полузакрытых поверхностей в любой момент времени.

Значения кинематических изменений углов режущей части торцевой фрезы и геометрические параметры срезаемого слоя, являются основой для определения сил резания, параметров точности шероховатости при обработке полузакрытой винтовой поверхности.

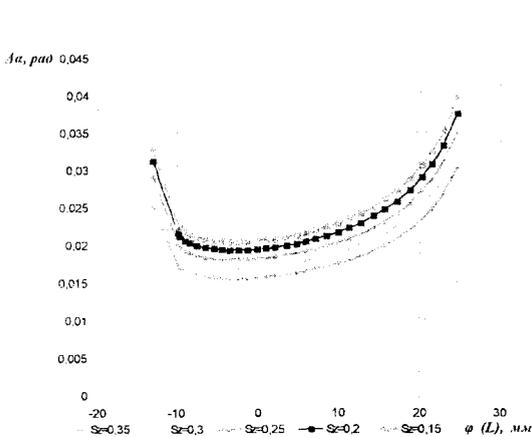


Рисунок 2 – Кинематическое изменение заднего угла от подачи по длине режущей кромки при фрезеровании полузакрытой поверхности торцевой фрезой

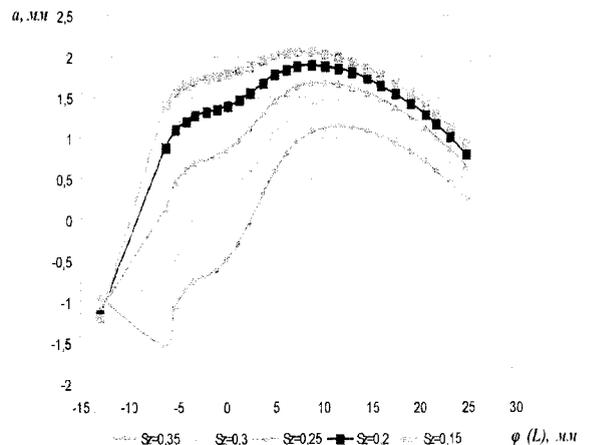


Рисунок 3 – Изменение толщины срезаемого слоя от подачи по длине режущей кромки при фрезеровании полузакрытой винтовой поверхности торцевой фрезой.

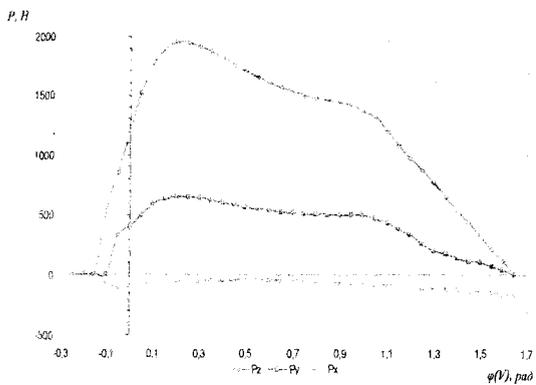


Рисунок 4 - Изменение составляющих сил резания при обработке полузакрытой винтовой поверхности торцовой фрезой в пределах угла контакта ($R_\phi/d=0,5$; $S_z=0,15$ мм/зуб)

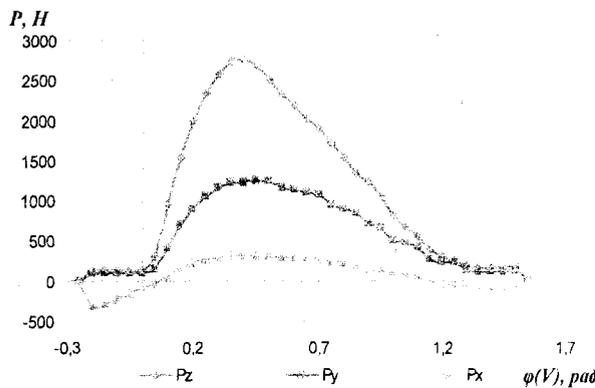


Рисунок 5 - Изменение составляющих сил резания при обработке полузакрытой винтовой поверхности торцовой фрезой в пределах угла контакта ($R_\phi/d=0,33$; $S_z=0,15$ мм/зуб)

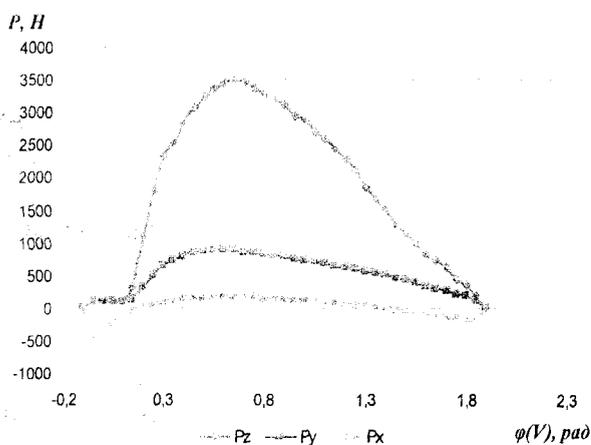


Рисунок 6 - Изменение составляющих сил резания при обработке полузакрытой винтовой поверхности торцовой фрезой в пределах угла контакта ($R_\phi/d=0,25$; $S_z=0,15$ мм/зуб)

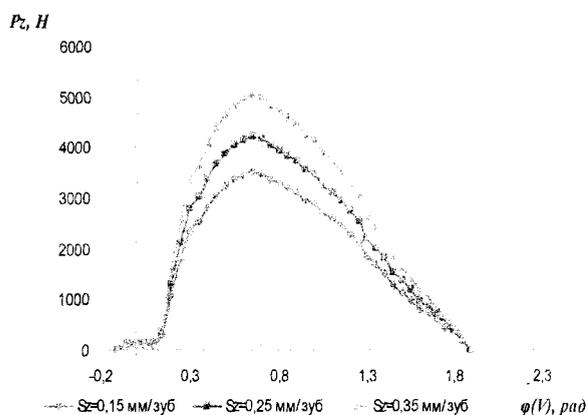


Рисунок 7 - Изменение составляющей силы резания P_z в зависимости от подачи при обработке полузакрытой винтовой поверхности торцовой фрезой в пределах угла контакта ($R_\phi/d=0,25$; $z=12$)

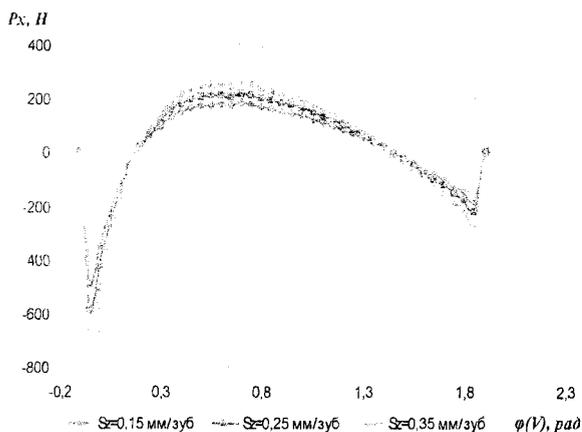


Рисунок 8 - Изменение составляющей силы резания P_x в зависимости от подачи при обработке полузакрытой винтовой поверхности торцовой фрезой в пределах угла контакта ($R_\phi/d=0,25$; $z=12$)

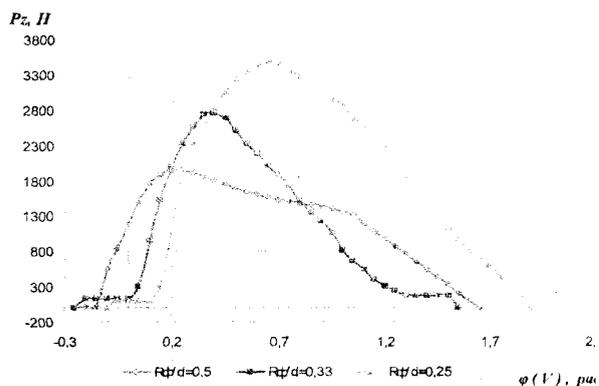


Рисунок 9 - Зависимость составляющей силы резания P_z от размера торцовой фрезы при обработке полузакрытой винтовой поверхности ($S_z=0,15$ мм/зуб; $z=12$)

При расчете параметров кинематического изменения заднего угла $\Delta\alpha$ удалось выяснить, что при увеличении подачи фрезы задний угол $\Delta\alpha$ в направлении перемещения по подаче уменьшается, тогда как при уменьшении диаметра торцевой фрезы кинематическое изменение заднего угла $\Delta\alpha$ увеличивается (рисунок 2).

Расчет толщины срезаемого слоя с применением математического отображения кинематической схемы резания, которая определяет положение любой точки режущего лезвия инструмента в процессе резания, позволил определить, что при увеличении подачи торцевой фрезы толщина срезаемого слоя по длине линии контакта уменьшается, но при увеличении винтового параметра толщина срезаемого слоя по длине линии контакта уменьшается (рисунок 3).

Анализ результатов расчетов позволяет сделать вывод о неравномерности силового воздействия торцевой фрезы на технологическую систему при обработке полузакрытой винтовой поверхности.

Как следует из рисунков 4,5,6 при постоянной подаче на зуб и при уменьшении размера инструмента максимальные значения составляющих сил P_x P_y также уменьшаются.

Из рисунков 7,8 видно, что увеличение подачи на зуб оказывает влияние на значение максимальной величины составляющей силы резания P_z . Значительно меньшее влияние увеличение подачи на зуб оказывает на составляющую силу резания P_x .

Следует отметить, что при постоянном диаметре заготовки (рисунок 9) обрабатываемой винтовой поверхности с увеличением радиуса торцевой фрезы растет и максимальное значение составляющей силы резания P_z и её распределение по углу контакта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балденко, Д.Ф. Винтовые насосы [Текст] / Д.Ф. Балденко – М.: Машиностроение, 1982.–224 с.
2. Брусов, С.И. Комплексный анализ параметров лезвийной обработки винтовых поверхностей [Текст] / А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов – М.: Машиностроение-1, 2006. – 128 с.
3. Жуплов, М.В. Профилирование дисковых фрез для обработки полузакрытых винтовых поверхностей [Текст] / А.А. Агарков, С.И. Брусов, М.В. Жуплов, А.С. Тарапанов. - Известия Орел ГТУ. ОРЕЛ: Орел ГТУ, 2008.

Агарков Александр Алексеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

Тел. (4862) 55-55-24

E-mail: agarkov85@mail.ru

Жуплов Михаил Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

Тел. (4862) 55-55-24

E-mail: chuplov@yandex.ru

Тарапанов Александр Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, профессор

Тел. (4862) 55-55-24

E-mail: tarapanov_as@yandex.ru

А.Г. ИВАХНЕНКО, В.В. КУЦ

СХЕМА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СИСТЕМ

В данной статье приводятся основные положения теории структурно-параметрического синтеза металлорежущих систем на основе взаимосвязанных функциональных преобразований: выбора групп обрабатываемых деталей; определения набора обрабатываемых поверхностей; синтеза структуры формообразующей системы; синтеза структуры основных узлов системы, в том числе станка, приспособлений и режущих инструментов; синтеза параметров основных узлов; синтеза допусков параметров проектируемой системы.

In given article substantive provisions of the theory of structurally-parametrical synthesis of metal-cutting systems on the basis of the interconnected functional transformations are resulted: a choice of groups of processed details; definitions of a set of processed surfaces; synthesis of structure of form-building system; synthesis of structure of the basic knots of system, including, the machine tool, adaptations and cutting tools; synthesis of parametres of the basic knots; synthesis of admissions of parametres of projected system.

Структурно-параметрический синтез является неотъемлемой частью процесса проектирования металлорежущих систем (рис. 1), которое должно начинаться с выявления выраженной потребности предприятия, группы предприятий или отрасли в целом в обработке определенных групп деталей, а также в определении или задании дополнительных свойств, проектируемой металлорежущей системы, определяющих их качество.

Установленные на данном этапе данные должны лечь в основу для разработки технического предложения и (или) технического задания, отражающего эти потребности, а также реализацию технического задания в виде проектной документации. Такое представление технического задания является исходным описанием проектируемой металлорежущей системы. Преобразование исходного описания в полный комплект документации, содержащей достаточные сведения для изготовления металлорежущих систем в заданных условиях, в окончательное описание и является сутью процесса проектирования. В процессе преобразования исходного описания в окончательное описание выполняется комплекс работ исследовательского, конструкторского и расчетного характера.

При описании служебного назначения используют не только словесные формы, но и составляют систему количественных показателей с ограничениями, допусками, возможными отклонениями от их номинальных значений.

Способность металлорежущей системы выполнять свое служебное назначение в заданных условиях обеспечивается рядом ее конструктивных свойств, характеризуемых группой параметров, к числу которых относятся характеристики выбранных материалов, размерных связей между основными элементами и внутри этих элементов, а также их производных – кинематики, жесткости, износостойкости, надежности отдельных элементов и всей системы в целом и т.д.

При этом синтез структуры формообразующей системы [1] и структуры основных узлов необходимо выполнять с учетом того, что требуемый технологический процесс металлорежущая система должна осуществлять наиболее экономично и что служебное назначение металлорежущая система выполняет с помощью связей (размерных, кинематических, динамических, гидравлических, пневматических, электрических, магнитных и др.), действующих между ее исполнительными поверхностями её элементов, т.е. поверхностями, непосредственно осуществляющими технологический процесс. Далее конструктором выполняется переход от показателей служебного назначения металлорежущей системы к показателям связей исполнительных поверхностей её элементов.

Следующим этапом проектирования является преобразование связей в металлорежущей системе, с помощью которых она осуществляет свое служебное назначение, в размерные связи (рис. 2) и связи свойств материалов. Данный этап, результаты

которого представлены в виде проектной документации, и завершает проектирование металлорежущей системы.



Рисунок 1 - Процесс проектирования металлорежущих систем

Структурно-параметрический синтез металлорежущих систем целесообразно рассматривать, как систему взаимосвязанных функциональных преобразований (рис. 3): выбора групп обрабатываемых деталей; определения набора обрабатываемых поверхностей; синтеза структуры формообразующей системы; синтез структуры основных узлов металлорежущей системы, в т.ч. станка, приспособлений и режущих инструментов; синтез параметров основных узлов; синтез допусков параметров проектируемой металлорежущей системы. Таким образом, структурно-параметрический синтез металлорежущих систем в общем виде можно представить в виде следующего преобразования

$$\Pi = F_1(X_1) \vdash F_2(X_2, Y_{1,2}) \vdash F_3(X_3, Y_{1,3}, Y_{2,3}) \vdash F_4(X_4, Y_{1,4}, Y_{2,4}, Y_{3,4}) \vdash \\ \vdash F_5(X_5, Y_{1,5}, Y_{2,5}, Y_{3,5}, Y_{4,5}) \vdash F_6(X_6, Y_{1,6}, Y_{2,6}, Y_{3,6}, Y_{4,6}, Y_{5,6}),$$

где \vdash – последовательное, параллельно-последовательное или параллельное преобразование;

X_1 – вектор, определяющий потребности предприятия, группы предприятий или отрасли в изготовлении определенного набора деталей;

$F_1(X_1)$ – функция преобразования вектора X_1 в вектор группы обрабатываемых деталей Y_1 на основе индивидуальных, типовых, групповых и модульных технологических процессов;

X_2 – вектор значений конструктивных параметров обрабатываемых поверхностей определяющий их геометрический образ в т.ч. значений параметров характеризующих их точность и взаимное расположение;

$Y_{1,2}$ – вектор параметров относящихся к описанию групп обрабатываемых деталей полученный в результате преобразования $F_1(X_1)$ и используемых для определения набора обрабатываемых поверхностей;

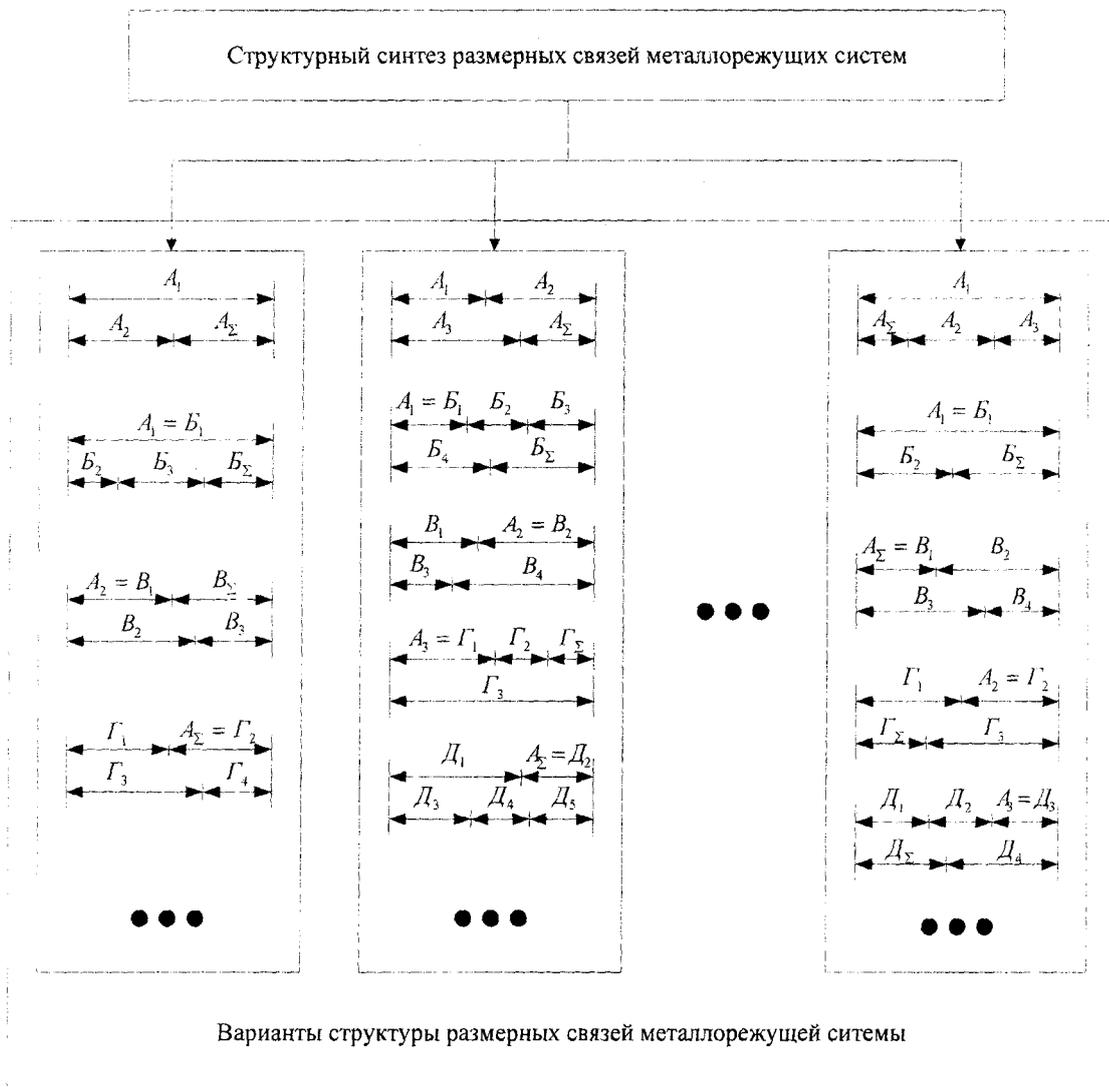


Рисунок 2 - Структурный синтез металлорежущих систем

$F_2(X_2, Y_{1,2})$ – функция преобразования векторов X_2 и $Y_{1,2}$ в вектор состоящий из набора функций описания обрабатываемых поверхностей в аналитическом виде;

X_3 – вектор определяющий имеющие типовые структуры формообразующих систем используемые в преобразовании $F_2(X_3, Y_{1,3}, Y_{2,3})$;

$Y_{1,3}$ – вектор параметров относящихся к описанию групп обрабатываемых деталей полученный в результате выбора групп обрабатываемых деталей используемых для синтеза структур формообразующей системы;

$Y_{2,3}$ – вектор состоящий из набора функций описания обрабатываемых поверхностей используемых для синтеза структур формообразующей системы;

$F_3(X_3, Y_{1,3}, Y_{2,3})$ – функция преобразования векторов $X_3, Y_{1,3}$ и $Y_{2,3}$ в вектор базовых вариантов структур формообразующей системы;

X_4 – вектор имеющихся типовых узлов металлорежущей системы; $Y_{1,4}$ – вектор параметров относящихся к описанию групп обрабатываемых деталей полученный в результате выбора групп обрабатываемых деталей используемых для синтеза структуры основных узлов;

$Y_{2,4}$ – вектор состоящий из набора функций и их параметров описания обрабатываемых поверхностей используемых для синтеза структуры основных узлов;

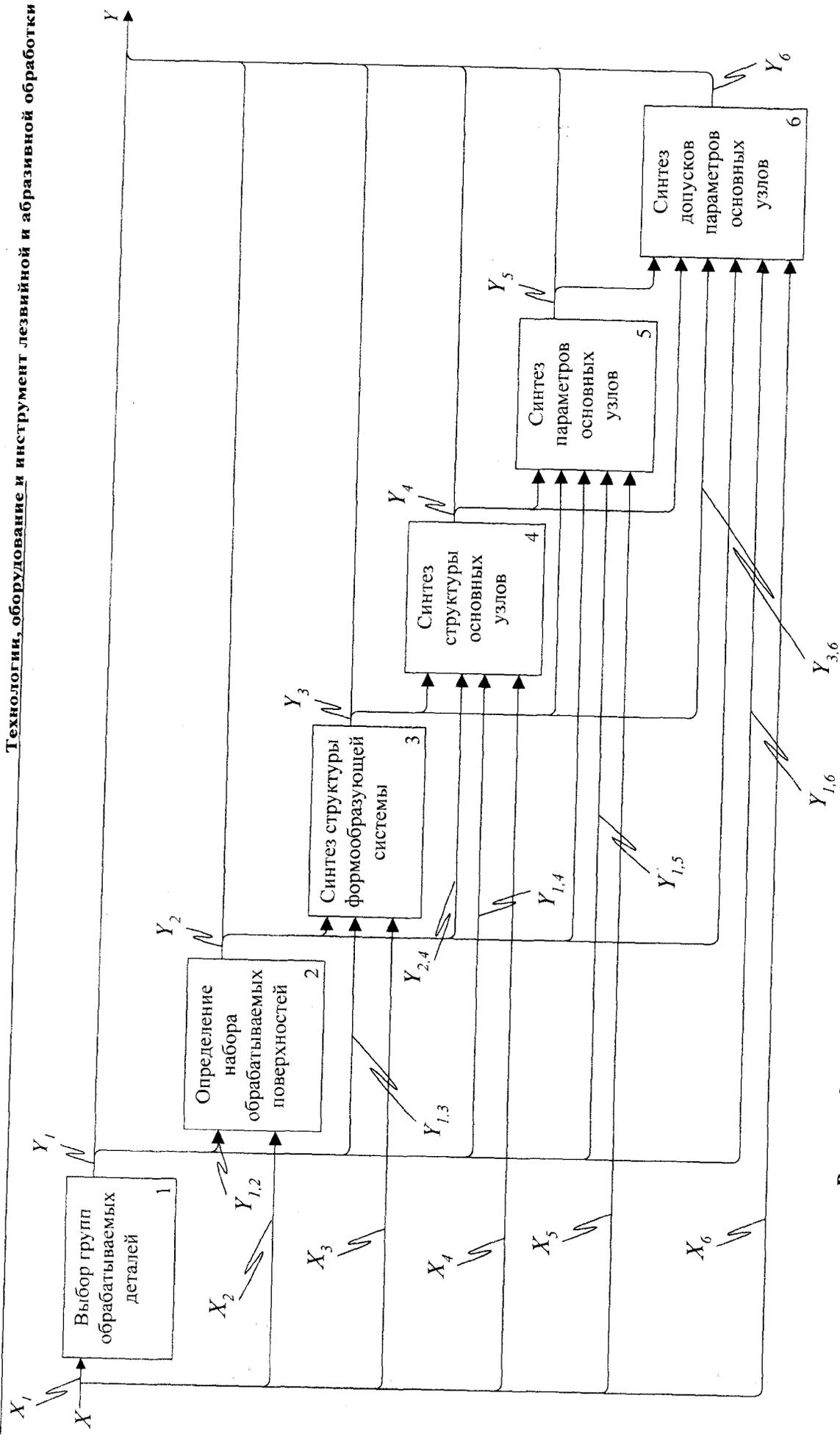


Рисунок 3 – Схема структурно-параметрического синтеза металлорежущих систем

$Y_{3,4}$ – вектор базовых вариантов структур формообразующей системы используемых для синтеза структуры основных узлов металлорежущих систем;

$F_4(X_4, Y_{1,4}, Y_{2,4}, Y_{3,4})$ – функция преобразования векторов $X_4, Y_{1,4}, Y_{2,4}$ и $Y_{3,4}$ в вектор базовых вариантов структур основных узлов проектируемой металлорежущей системы;

X_5 – вектор начальных значений параметров основных узлов металлорежущих систем;

$Y_{1,5}$ – вектор параметров относящихся к описанию групп обрабатываемых деталей полученный в результате выбора групп обрабатываемых деталей используемых для синтеза параметров основных узлов;

$Y_{2,5}$ – вектор состоящий из набора функций и их параметров описания обрабатываемых поверхностей используемых для синтеза параметров основных узлов;

$Y_{3,5}$ – вектор базовых вариантов структур формообразующей системы используемых для синтеза параметров основных узлов металлорежущих систем;

$Y_{4,5}$ – вектор вариантов структур основных узлов используемых для синтеза параметров основных узлов металлорежущих систем;

$F_5(X_5, Y_{1,5}, Y_{2,5}, Y_{3,5}, Y_{4,5})$ – функция преобразования векторов $X_5, Y_{1,5}, Y_{2,5}, Y_{3,5}$ и $Y_{4,5}$ в вектор параметров основных узлов проектируемой металлорежущей системы;

X_6 – вектор допусков на выходные параметры проектируемой металлорежущей системы;

$Y_{1,6}$ – вектор параметров относящихся к описанию групп обрабатываемых деталей полученный в результате выбора групп обрабатываемых деталей используемых для синтеза допусков параметров основных узлов;

$Y_{2,6}$ – вектор состоящий из набора функций и их параметров описания обрабатываемых поверхностей используемых для синтеза допусков параметров основных узлов;

$Y_{3,6}$ – вектор базовых вариантов структур формообразующей системы используемых для синтеза допусков параметров основных узлов металлорежущих систем;

$Y_{4,6}$ – вектор базовых вариантов структур формообразующей системы используемых для синтеза допусков параметров основных узлов металлорежущих систем;

$Y_{5,6}$ – вектор параметров основных узлов проектируемой металлорежущей системы для которых выполняется синтез допусков;

$F_6(X_6, Y_{1,6}, Y_{2,6}, Y_{3,6}, Y_{4,6}, Y_{5,6})$ – функция преобразования векторов $X_6, Y_{1,6}, Y_{2,6}, Y_{3,6}, Y_{4,6}$ и $Y_{5,6}$ в вектор параметров основных узлов проектируемой металлорежущей системы.

Отметим, при таком подходе особое место в служебном назначении металлорежущей системы необходимо уделить описанию поверхностей (заданию значений исходных конструктивных параметров), обработку которых должна она обеспечить. На основании такого описания необходимо выполнить аналитическое представление этих поверхностей в виде набора функций и их параметров с помощью однородных координат [1, 2, 3] (преобразование F_2)

$$F_2: \bar{r}_0(\varphi_1, \varphi_2) = [x_0(\varphi_1, \varphi_2) \quad y_0(\varphi_1, \varphi_2) \quad z_0(\varphi_1, \varphi_2) \quad 1],$$

где $\bar{r}_0(\varphi_1, \varphi_2)$ - радиус-вектор точки обрабатываемой поверхности;

φ_1, φ_2 - параметры обрабатываемой поверхности;

$x_0(\varphi_1, \varphi_2), y_0(\varphi_1, \varphi_2), z_0(\varphi_1, \varphi_2)$ - координаты точки обрабатываемой поверхности;

На основе такого набора функций выполняется синтез соответствующих формообразующих структур проектируемой металлорежущей системы (преобразование F_3). Структура формообразующей системы описывается в виде модели, состоящей из координатного кода формообразующей системы и соответствующего ему преобразования [1, 2] вида

$$\bar{r}_0 = A_{0,l} \bar{r}_l,$$

где $A_{0,l} = \prod_{i=1}^l A_{i-1,i}^k$ - матрица преобразования формообразующей системы, состоящая из произведения матриц $A_{i-1,i}^k$, которые реализуют одно из движений формообразования в соответствии с элементами координатного кода k_i . Группируя элементы матрицы

преобразования формообразующей системы $A_{i-1,i}^k$ и соотнося эти группы с отдельными элементами металлорежущей системы - станком, приспособлением и инструментом, получаем модель структуры формообразующей системы. На данном этапе выявляются основные размерные цепи, соответствующие обработке заданных поверхностей.

В результате такого моделирования каждому элементу металлорежущей системы (станку, приспособлению и инструменту) будет соответствовать свой набор формообразующих движений, на основе которого становится возможным выполнить синтез структуры основных узлов (преобразование F_4). Синтез структуры основных узлов металлорежущей системы предполагает определение набора элементов входящих в состав узлов, необходимых для выполнения своего служебного назначения.

При выполнении синтеза параметров основных узлов проектируемой металлорежущей системы (преобразование F_5) определяются их номинальные значения. Полученные расчетные значения желательно принимать в соответствии со стандартными рядами предпочтительных чисел с целью их стандартизации и унификации, в т.ч. и для обеспечения использования узлов металлорежущих систем других производителей. Отметим, что для некоторых случаев задача синтеза и анализа является единой задачей параметрической оптимизации [4], однако, в том случае, если неизвестна целевая функция и (или) не существует метода решения этой задачи, то может осуществляться выбор рациональных вариантов параметров основных узлов металлорежущих систем.

Синтез допусков параметров основных узлов (преобразование F_6) выполняется на основании описанных в техническом задании ограничений, допусков и отклонений параметров проектируемой металлорежущей системы с помощью известных методов, например – теории чувствительности.

Предложенная схема может быть использована для построения теории структурно-параметрического синтеза металлорежущих систем, что потребует дальнейшего развернутого описания представленных функциональных преобразований и установления различного рода зависимостей (аналитических, алгоритмических и пр.) между входными и выходными параметрами этих преобразований.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ивахненко А.Г. Концептуальное проектирование металлорежущих систем. Структурный синтез. Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 1998. - 124 с.
- 2 Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1986. - 336 с.
- 3 Лашнев С.И., Борисов А.Н., Емельянов С.Г. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами: Монография/ Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1997. 391 с.
- 4 Васильев Г.Н. Автоматизация проектирования металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1987. - 280 с.

Ивахненко Александр Геннадьевич

Курский государственный технический университет, г. Курск
 Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление качеством»
 Тел.: (4712) 32-61-00
 E-mail: ivakhnenko2002@mail.ru

Куц Вадим Васильевич

Курский государственный технический университет, г. Курск
 Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление качеством»
 Тел.: (4712) 32-61-00
 E-mail: kuc-vadim@yandex.ru

УДК 539.3

СТЕПАНОВ Ю.С., БАРСУКОВ Г.В., МИХЕЕВ А.В., ХАРЧИКОВ Е.В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРОНИКАЮЩЕГО ТЕЛА В ПРЕГРАДУ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ГЛУБИНУ ПРОНИКАНИЯ ПРИ СВЕРХЗВУКОВОМ ОТНОСИТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ

Авторами получены аналитические зависимости распределения давления на поверхности проникающего тела в преграду при сверхзвуковом относительном движении, позволяющие решать технические проблемы в различных областях современной практики.

Authors receive analytical dependences of distribution of pressure upon the surfaces, a getting body in a semi-infinite barrier from the interaction parametres, allowing to solve technical problems in various areas of modern practice.

Соударение тел с различными по величине и направлению относительными скоростями все чаще встречается в задачах современной техники. Определение поведения материалов элементов конструкций в условиях импульсивного нагружения в процессе удара важно для безопасности полетов, движения наземного транспорта, защиты сооружений, ядерных реакторов и других проблем народного хозяйства. Соударение приводит к волновому импульсному взаимодействию тел, при котором локальные деформации, скорости деформации и тепловыделение в течение микросекунд достигают очень больших значений. В результате существенно изменяются физико-механические свойства в узких зонах материалов соударяющихся тел, что приводит, в частности, к разрушению материала.

Аналитическое описание сложного процесса взаимодействия тел в общей математической постановке невозможно. Главное затруднение для решения проблемы с помощью ЭВМ, заключается в том, что реализация такого решения требует дополнительных сведений о свойствах материалов соударяющихся тел, которые, как правило, отсутствуют. Поэтому наряду с основным экспериментальным методом и численным решением задачи с помощью ЭВМ необходимы исследования, направленные на создание простых моделей, позволяющих получить приближенные, но эффективные решения с помощью аналитических методов или с помощью ЭВМ [1]. Такой путь исследования ударного взаимодействия тел избран в настоящей работе. В ней рассматриваются процессы сверхзвукового соударения, приводящие к прониканию инденторов в полубесконечные преграды.

Скорость индентора направлена по его оси нормально к плоскости полубесконечной преграды. Подробные расчеты проведем для индентора в виде параболического конуса.

Преграда моделируется упругопластической средой без упрочнения. В процессе проникания область преграды, примыкающая к поверхности индентора, находится в пластическом состоянии. Частицы преграды, приходящие в соприкосновение с поверхностью расширяющейся части жесткого индентора, получают скорость равную нормальной составляющей скорости проникания к поверхности индентора. Вследствие этого происходит смещение и сжатие материала преграды в направлении этой нормали. Для рассматриваемых тонких инденторов нормаль заменяется направлением, лежащим в плоскости перпендикулярной скорости проникания. Смещение частиц материала преграды в этой плоскости считается основным. Поэтому полагаем, что частицы преграды, находящиеся в плоскостях, перпендикулярных направлению проникания, в своем движении остаются на этих плоскостях. Такое приближение называют «гипотезой плоских сечений». При этом движение частиц материала происходит в условиях плоского деформирования с цилиндрической симметрией.

Как показывают расчеты, на основном участке глубины проникания индентора градиент напряжения в направлении скорости проникания мал, что служит некоторым

основанием для принятых допущений. При этом граничное условие на свободных поверхностях преграды нарушается.

Однако можно предположить, что влияние свободных поверхностей локализовано в тонком слое, примыкающем к этим поверхностям. В процессе внедрения, индентор взаимодействует с преградой только своей передней расширяющейся частью. Далее происходит отрыв материала преграды от поверхности. В случае проникания острого конуса с конечным углом раствора в рамках принятой модели считаем, что частицы преграды движутся по поверхностям, нормальным к поверхности проникающего конуса. Очевидно, что эти поверхности конические.

Для задачи проникания в результате принятых допущений задача определения сил, действующих на индентор, сводится к исследованию процесса расширения круговой цилиндрической полости, начиная с нулевого радиуса, в упругопластической среде без упрочнения.

Пластическая область вокруг полости ограничена цилиндрической поверхностью радиусом R , являющимся функцией времени t . Область преграды вне этой поверхности находится в упругом состоянии.

Введем цилиндрические Лагранжевы координаты r, θ (рис. 1).

Считаем, что в области пластичности выполняется условие:

$$\sigma_{\theta} - \sigma_r = \tau_{s\theta} + \tau_{sr}, \quad (1)$$

где σ_{θ} – окружные напряжения;

σ_r – радиальные напряжения;

$\tau_{s\theta}, \tau_{sr}$ – предел текучести при сдвиге.

В упругой области, где среда подчинена закону Гука, решение задачи берется в квазистатическом приближении в следующем виде:

$$u = \sqrt{\frac{\tau_{s\theta} \tau_{sr}}{E_{\theta} E_r}} \frac{(1+\nu)c^2(t)}{r}, \quad (2)$$

$$\sigma_r = -\frac{\tau_{sr} c^2(t)}{r^2}, \quad (3)$$

$$\sigma_{\theta} = -\frac{\tau_{s\theta} c^2(t)}{r^2}, \quad (4)$$

где u – смещение частиц преграды;

E_{θ}, E_r – модуль Юнга;

ν – коэффициент Пуассона.

Из уравнений (2), (3), (4) следует, что объемная деформация равна нулю и выполняется условие несжимаемости среды.

Основные уравнения такой среды для случая одномерного движения это уравнения неразрывности и уравнения движения частиц преграды в переменных Лагранжа:

$$\frac{1}{\phi+1} \frac{\partial}{\partial r} (r+u)^{\phi+1} = \frac{\rho_0}{\rho} r^{\phi} \quad (5)$$

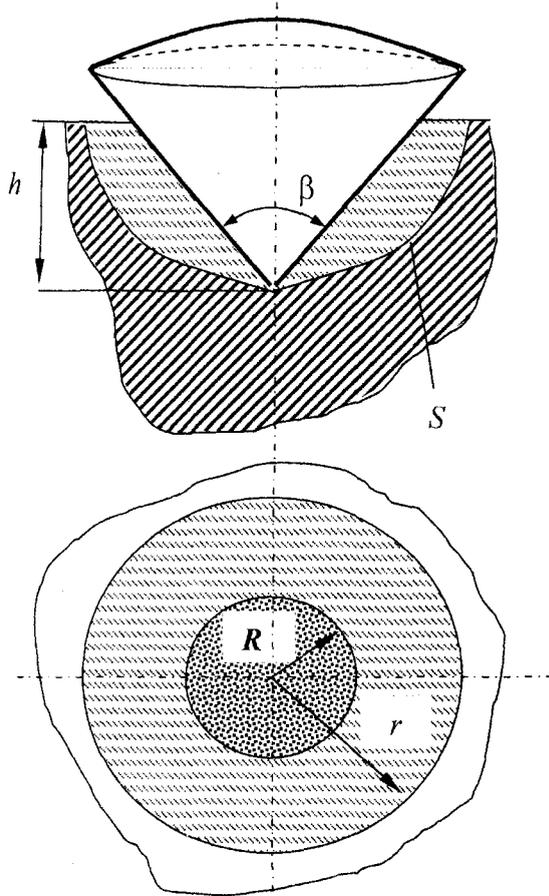


Рисунок 1 - Схема проникания

$$\rho_0 r^\phi \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = (r+u)^\phi \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + (\sigma_r + \sigma_\theta) \frac{\partial}{\partial r} (r+u)^\phi,$$

где r – начальное расстояние частицы от центра симметрии;

t – время;

ρ_0, ρ – начальная и текущая массовая плотность частиц металла, учитывая условие несжимаемости среды $\rho_0 = \rho$;

$\phi = 0, 1, 2$ – соответственно для сферического, цилиндрического и плоского случая движения.

Уравнения движения и сохранения массы для несжимаемой среды в случае цилиндрической симметрии и конечных смещений имеет вид:

$$\rho_0 r \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = (r+u) \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + (\sigma_r + \sigma_\theta) \frac{\partial}{\partial r} (r+u), \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} (r+u)^2 = 2r. \quad (7)$$

Проинтегрируем уравнение (7):

$$\int d(r+u)^2 = \int 2r dr. \quad (8)$$

Получим:

$$r+u(r,t) = \sqrt{r+R(t)^2}. \quad (9)$$

Определим значение скорости и ускорение частиц, для этого продифференцируем (9) по времени:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{R}{r+u} \frac{\partial R}{\partial t}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{1}{r+u} \left[\left(\frac{\partial R}{\partial t} \right)^2 + R \frac{\partial^2 R}{\partial t^2} - \frac{1}{(r+u)^2} \left(R \frac{\partial R}{\partial t} \right)^3 \right]. \quad (11)$$

В пластической зоне уравнение движения с использованием (1) и (11) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = & \frac{\rho_0 r}{r^2 + R^2} \left(\left(\frac{\partial R}{\partial t} \right)^2 + R \frac{\partial^2 R}{\partial t^2} \right) - \frac{1}{(r^2 + R^2)^2} \left(R \frac{\partial R}{\partial t} \right)^2 + \\ & + \frac{1}{2} (\tau_{s\theta} + \tau_{sr}) \frac{\partial}{\partial r} \ln(r^2 + R^2). \end{aligned} \quad (12)$$

На внешней границе пластичности в силу непрерывности напряжений и смещений должны быть выполнены следующие условия:

$$\sigma_r = -\tau_{sr},$$

$$\sigma_\theta = \tau_{s\theta},$$

$$r = c(t).$$

Выполняя это граничное условие после интегрирования уравнения (12) по координате r в пределах от $r = 0$ до $r = c(t)$ имеем:

$$-\sigma_r(0,t) = \frac{\rho}{2} \left\{ \left(\frac{\partial R}{\partial t} \right)^2 \left[\ln \left(1 + \frac{c^2}{R^2} \right) - \frac{\frac{c^2}{R^2}}{1 + \frac{c^2}{R^2}} \right] + R \frac{\partial^2 R}{\partial t^2} \left[\ln \left(1 + \frac{c^2}{R^2} \right) \right] \right\} + \frac{1}{2} (\tau_{s\theta} + \tau_{sr}) \left[1 + \ln \left(1 + \frac{c^2}{R^2} \right) \right]. \quad (13)$$

Условие непрерывности смещения на внешней границе области пластичности и формулы для смещения (4) и (9) устанавливают зависимость:

$$a = \frac{c^2}{R^2} = \left(\frac{2\tau_r \tau_\theta (1+\nu)}{E_r E_\theta} \left[1 + \frac{\tau_r \tau_\theta (1+\nu)}{2E_r E_\theta} \right] \right)^{-1}. \quad (14)$$

Определение давления, действующего на проникающее тело.

Пусть $H(t)$ – глубина проникания в момент времени t , $H_1(t_1)$ – глубина рассматриваемого сечения в момент t_1 :

$$0 \leq t_1 \leq t,$$

$$0 \leq H_1(t_1) \leq H(t).$$

Расстояние от вершины индентора до сечения $H_1(t_1)$ обозначим через x , тогда уравнение образующей бойка можно представить в виде:

$$R = f(x), \quad (15)$$

$$x = H(t) - H_1(t_1). \quad (16)$$

Дифференцируя (14) по времени t получим:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{df(x)}{dx} \frac{dH}{dt}, \quad (17)$$

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = \frac{d^2 f(x)}{dx^2} \frac{dH}{dt} + \frac{df(x)}{dx} \frac{d^2 H}{dt^2}. \quad (18)$$

Подставляя (16), (17) в (12) и меняя на P , имеем:

$$p = \frac{\rho}{2} \left(\frac{dH}{dt} \right)^2 \left(\frac{df(x)}{dx} \right)^2 \left[\ln(1+a) - \frac{a}{1+a} \right] + \frac{\rho}{2} \left(\frac{dH}{dt} \right)^2 \frac{d^2 f(x)}{dx^2} f(x) \ln(1+a) + \frac{\rho}{2} \frac{d^2 H}{dt^2} \frac{df(x)}{dx} f(x) \ln(1+a) + \frac{1}{2} (\tau_{s\theta} + \tau_{sr}) (1 + \ln(1+a)) \quad (19)$$

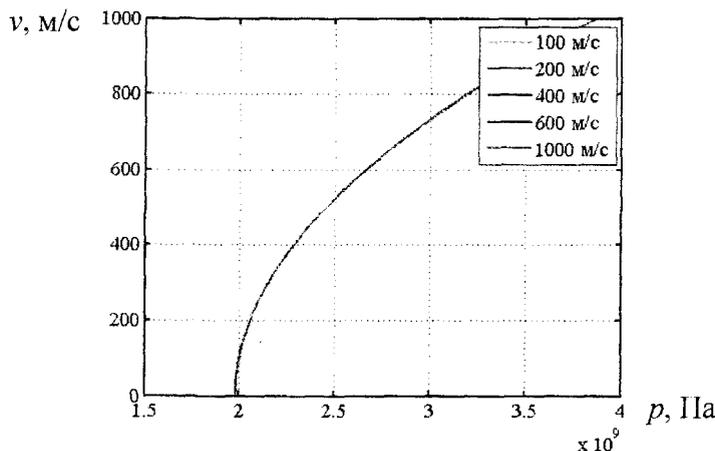
Сила, действующая на элемент проникающего тела между двумя близкими нормальными сечениями против направления проникания равна:

$$dF = 2\pi p f(x) \frac{df(x)}{dx} dx. \quad (20)$$

Полную силу сопротивления проникания определим, проинтегрировав (20) в пределах от нуля до H :

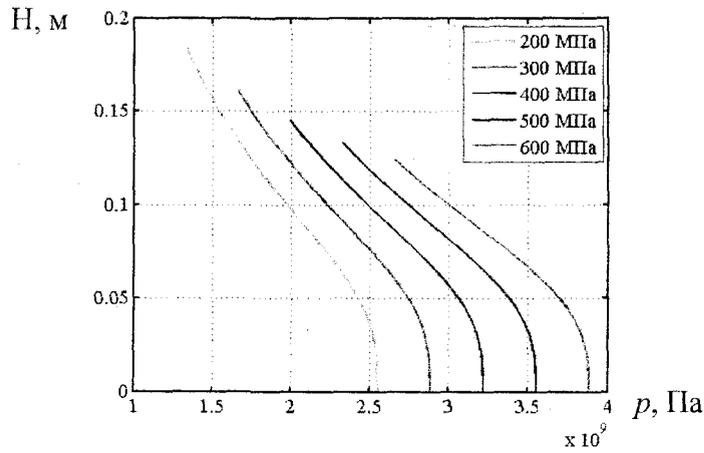
$$F = \rho\pi \left(\frac{dH}{dt} \right)^2 \left[\ln(1+a) - \frac{a}{1+a} \right] \int_0^H \left(\frac{df(x)}{dx} \right)^3 f(x) dx + \rho\pi \left(\frac{dH}{dt} \right)^2 \ln(1+a) \int_0^H \frac{d^2 f(x)}{dx^2} \frac{df(x)}{dx} f^2(x) dx + \rho\pi \frac{d^2 H}{dt^2} \ln(1+a) \int_0^H \left(\frac{df(x)}{dx} \right)^2 f^2(x) dx + \pi (\tau_{s\theta} + \tau_{sr}) (1 + \ln(1+a)) \int_0^H \frac{df(x)}{dx} f(x) dx. \quad (21)$$

Закономерности распределения давления на поверхности проникающего тела в виде конического индентора в зависимости от глубины проникания, физико-механических свойств материала представлены на рис. 2 – 6.



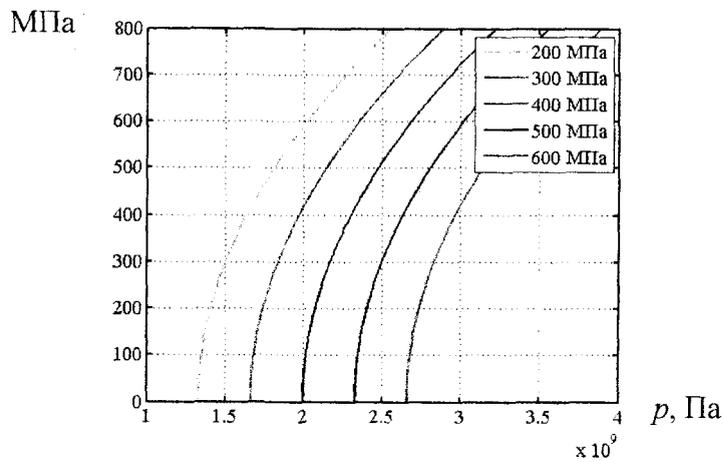
$$\tau_{sr} = 200 \text{ МПа}, \tau_{s\theta} = 300 \text{ МПа}, E_r = 2 \cdot 10^{11} \text{ МПа}, E_\theta = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ МПа}$$

Рисунок 2 - Зависимость давления на поверхности индентора от скорости внедрения при различной начальной скорости



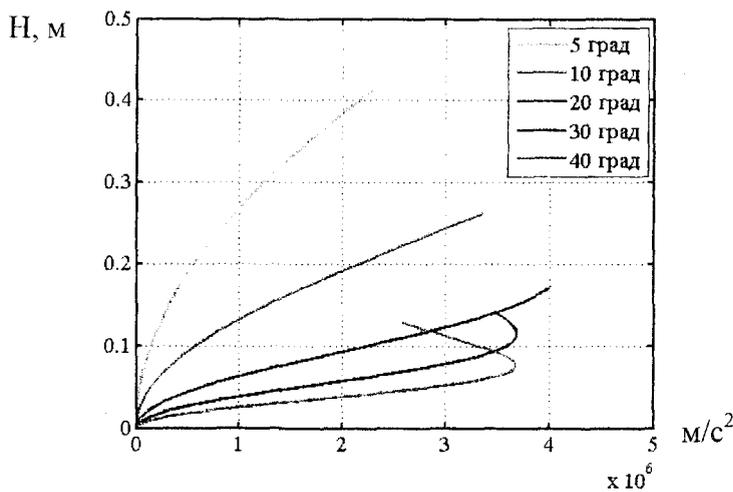
$$\tau_{s\theta} = 300 \text{ МПа}, E_r = 2 \cdot 10^{11} \text{ МПа}, E_\theta = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ МПа}$$

Рисунок 3 – Зависимость давления на поверхности индентора от глубины проникания при различных значениях предела текучести преграды τ_{sr}



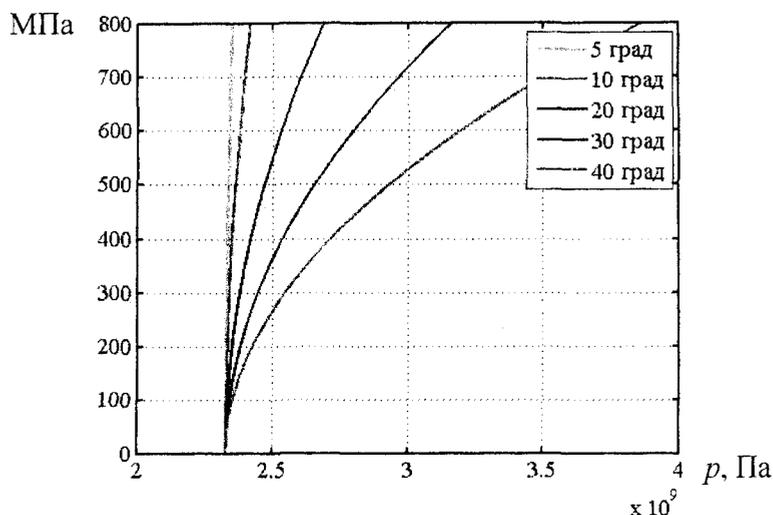
$$\tau_{s\theta} = 300 \text{ МПа}, E_r = 2 \cdot 10^{11} \text{ МПа}, E_\theta = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ МПа}$$

Рисунок 4 – Зависимость давления на поверхности индентора от скорости внедрения при различных значениях предела текучести преграды τ_{sr}



$$\tau_{sr} = 200 \text{ МПа}, \tau_{s\theta} = 300 \text{ МПа}, E_r = 2 \cdot 10^{11} \text{ МПа}, E_\theta = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ МПа}$$

Рисунок 5 – Зависимость глубины проникания от ускорения при различных углах заострения индентора



$$\tau_{sr} = 200 \text{ МПа}, \tau_{s\theta} = 300 \text{ МПа}, E_r = 2 \cdot 10^{11} \text{ МПа}, E_\theta = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ МПа}$$

Рисунок 6 – Зависимость давления на поверхности индентора от скорости внедрения, проникания при различных углах заострения индентора

Таким образом, предложенная модель динамического деформирования описывает достаточно точно основные эффекты ударного нагружения преград жесткими ударниками. Анализ полученных решений, внедрения ударников в мишени, показывает что максимум перегрузок достигается на начальной стадии соударения. При этом величина перегрузки пропорциональна интегральной силе сопротивления внедрению.

Данные решения были получены без учета разрушения ударника, но исходя из полученных значений напряжений на поверхности проникающего тела, можно предположить, что существует порог начальных скоростей контакта, когда наблюдается устойчивое проникание индентора без его разрушения, дальнейшее увеличение скорости приводит к возрастанию напряжений на поверхности ударника и, как следствие, его хрупкое разрушение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, В.М. Аналитические методы в контактных задачах теории упругости [Текст] / В.М. Александров, М.И. Чебаков. - М.: Физматлит, 2004. – 320 с.

Степанов Юрий Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, проректор по научной работе, профессор
Тел. (4862) 47-50-71
E-mail: stepanov@ostu.ru

Барсуков Геннадий Валерьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862) 41-98-18
E-mail: upk@ostu.ru

Михеев Александр Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
E-mail: sash89038818891@mail.ru

Харчиков Евгений Витальевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
E-mail: evgenx_v@mail.ru

УДК 621.9.004.4

А.Н. АФОНИН

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

На основе проведенного анализа существующих систем автоматизированного проектирования в машиностроении сделан вывод о необходимости выделения новой классификационной группы - автоматизированных систем моделирования технологических процессов (АСМТП). Описаны основные типы САПР, входящих в эту группу, и их особенности. Намечены основные пути развития АСМТП.

On the basis of the lead analysis of existing systems of computer-aided design in machine industry it is drawn an output on necessity of selection new classification group – Computer Aided Simulation of technological Processes (CASTP). The basic types systems of computer-aided design, going into in this group are described, and their features. The basic paths of development of the CASTP are planned.

Сокращение сроков и повышение качества технологической подготовки производства является важнейшим условием обеспечения конкурентоспособности предприятий в условиях рыночной экономики. Достижение этого сегодня невозможно без использования систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) [2]. Англоязычный аналог данного термина - CAPP (Computer Aided Process Planning). САПР ТП традиционно принято разделять на две группы:

ТДМ (Technical Data Management) – системы подготовки технологической документации;

САМ (Computer Aided Manufacturing) – системы автоматизированного программирования (САП) управляющих программ для станков с ЧПУ.

Однако, подобную классификацию следует признать устаревшей. Помимо этих двух групп САПР ТП в мире получили широкое распространение программные продукты, позволяющие с помощью аналитических или численных методов моделировать сами технологические процессы машиностроительного производства, и, на основе результатов моделирования, выбирать рациональный маршрут и режимы обработки, проектировать оснастку и инструмент и т.д.

Большинство данных программ в силу их расчетного характера пока принято относить к САЕ системам. Подобный подход представляется не совсем правильным, поскольку под САЕ системами традиционно понимают конструкторские САПР, предназначенные для моделирования поведения изделия при его эксплуатации. Однако, условия при которых осуществляются технологические процессы изготовления изделий, являются значительно более экстремальными, чем эксплуатационные условия. Например, при обработке резанием температура может достигать сотен градусов, а напряжения превышают предел прочности материала заготовки, вызывая отделение стружки. Смоделировать подобные экстремальные условия в универсальных конструкторских САЕ системах (ABAQUS, ANSYS, NASTRAN и т.д.) крайне сложно, а во многих случаях невозможно. В то же время, такие возможности универсальных САЕ систем, как моделирование многоциклового усталостного разрушения, виброакустических параметров тел и т.п. при исследовании технологических процессов являются излишними. Такие автоматизированные системы научных исследований, как LS-DYNA и Marc, позволяют исследовать высоконелинейные экстремальные процессы, однако данные программные

продукты сложны в освоении и использовании, в связи с чем нашли применение только в научно-исследовательских организациях. Для моделирования технологических процессов на производстве используются специализированные программные продукты. Несмотря на то, что эти программы часто основаны на тех же теоретических принципах, что и обычные САЕ системы, они имеют не конструкторскую, а технологическую направленность. В связи с этим, предлагается выделить их в отдельную группу САПР ТП: автоматизированные системы моделирования технологических процессов (АСМ ТП) (Computer Aided Simulation of technological Processes (CASTP)).

АСМ ТП основаны на компьютерных моделях, описывающих воздействие технологического оборудования на заготовку, и позволяют заменить натурный промышленный эксперимент по изготовлению опытной партии изделий вычислительным. АСМ ТП в машиностроении на сегодняшний день достаточно разнообразны. Их можно классифицировать по следующим признакам:

По назначению:

системы моделирования процессов литья. Позволяют моделировать различные технологические процессы литья (в песчано-глинистые формы, в кокиль, под давлением и т.д.), рассчитывая заполнение формы, кристаллизацию, усадку, напряжения и деформации в отливке, выявлять возможность образования литейных дефектов. К данным программным продуктам относятся Mold Flow, ProCAST, LVMFlow и др.;

системы моделирования процессов термической обработки. Позволяют моделировать термическую и химико-термическую обработку (закалку, отпуск, цементацию и т.д.), определяя тепловые поля для различных источников нагрева, диффузию, фазовые превращения, микроструктуру материала после обработки и его механические свойства, термические напряжения и деформации. К данным программным продуктам относятся SYSWELD, ПроТерм и др.;

системы моделирования процессов сварки. Позволяют моделировать различные технологические процессы сварки (электродуговую, точечную, лазером и др.), определяя микроструктуру, напряжения и деформации в области сварного шва. К данным программным продуктам относятся SYSWELD, ArcWeldSys и др.

системы моделирования обработки давлением. Позволяют моделировать технологические процессы обработки давлением (ковку, штамповку, прессование и т.д.), определяя поля напряжений и деформаций, силы деформирования, выявлять возможность образования дефектов. К данным программным продуктам относятся PAM-Stamp, SuperForge, QForm и др.;

системы моделирования обработки резанием. Применяются для симулирования обработки на станках с ЧПУ с целью отработки управляющих программ. Позволяют выявить ошибки в программе, подобрать инструмент и технологическую оснастку. К данным программным продуктам относятся Vericut, T-FLEX NC Tracer и др.;

системы моделирования процессов сборки. Позволяют, выполняя моделирование всего процесса ручной или автоматизированной сборки изделия, определять наиболее эффективную последовательность сборки, обеспечить отсутствие столкновений и рассчитать время цикла операции. К данным программным продуктам относятся, например, Process Simulate. Пока подобные системы не нашли широкого применения в отечественной промышленности;

универсальные системы. Позволяют моделировать различные технологические процессы. Дают возможность определить силы деформирования (резания) напряженно-деформированное состояние, распределение температуры, микроструктуру, наличие дефектов и т.д. При этом, системы позволяют моделировать многооперационную обработку, учитывая технологическую наследственность. К данным программным продуктам относятся DEFORM, FORGE и SuperForm.

По заложенным в основу системы теоретическим принципам и ее функциональным возможностям:

системы, основанные на геометрическом моделировании процессов обработки. Позволяют учесть только геометрическую форму и траектории перемещения инструмента и заготовки на основе методов аналитической и дифференциальной геометрии. К таким системам относятся широко распространенные симуляторы обработки на токарных, фрезерных, электроэрозионных и других станках с ЧПУ, предназначенные для отработки управляющих программ. Входят в виде модулей в состав большинства современных CAD/CAM систем (CATIA, Pro/Engineer, Cimatron, ADEM и т.д.), реже являются самостоятельными продуктами (Vericut, T-FLEX NC Tracer и т.д.). Позволяют выявить ошибки в управляющих программах (наличие зарезов, недорезов, врезания на быстрой подаче в заготовку и т.д.) до передачи их на станок. Такие системы, как Vericut, представляют собой виртуальные станки и позволяют учитывать при моделировании особенности различного оборудования, технологической оснастки и инструмента; измерять размеры и шероховатость поверхности детали после симуляции обработки; экспортировать геометрию обработанных деталей в форматы STEP и iges. К данной группе относятся также такие системы моделирования процессов сборки, как Process Simulate. Существенным недостатком данных программ является невозможность учета силовых и температурных факторов, оказывающих существенное влияние на качество обработки.

системы, учитывающие помимо геометрических перемещений силовое взаимодействие инструмента и заготовки путем использования эмпирических формул для определения сил деформирования и резания. Существует множество подобных программ, разработанных в российских ВУЗах и НИИ, например программа по моделированию нарезания винтовых поверхностей дисковым инструментом, разработанная в ОрелГТУ [1]. Подобные программы не нашли широкого применения в промышленности из-за их узкой специализации.

— системы, основанные на численных методах решения систем дифференциальных уравнений (как правило, на методе конечных элементов (МКЭ)). Применяются для исследования полей температур, напряжений, деформаций и т.д. К данным программным продуктам относятся DEFORM, ProCAST, QForm, SYSWELD и т.д. Позволяют учесть практически все значимые факторы процесса обработки (геометрические перемещения, температурные и силовые взаимодействия, фазовые превращения материала заготовки и т.д.); моделировать последовательно несколько технологических операций, учитывая технологическую наследственность. Основной недостаток — высокие требования к вычислительным ресурсам при необходимости достижения высокой точности расчетов (особенно для трехмерных задач); как следствие — значительное время решения сложных задач (до нескольких суток) на ПК.

Рассмотрим возможности современных универсальных ACM ТП на примере общепризнанного мирового лидера в данной области - системы DEFORM [3]. Данный программный продукт разрабатывается компанией Scientific Forming Technologies Corporation (SFTC) (США) с 1991 г. DEFORM имеет модульную структуру, что позволяет подобрать оптимальную конфигурацию системы для любого предприятия. Основными модулями системы являются:

DEFORM™ 2D – модуль для анализа двумерного (2D) поведения металла при плоском и осесимметричном напряженно-деформированном состоянии. Используется, например, для анализа штамповки деталей имеющих осесимметричную форму, вытянутую в одном направлении форму; для анализа свободного резания.

DEFORM™ 3D – модуль, предназначенный для анализа трехмерного (3D) поведения металла, при различных процессах обработки давлением и резанием. Используется для анализа объемного напряженно-деформированного состояния при обработке деталей имеющих сложную трехмерную форму.

DEFORM™-Machining – дополнительные модули для систем DEFORM™-2D и DEFORM™-3D, предназначенные для моделирования таких видов обработки резанием, как точение, сверление и фрезерование.

DEFORM™ ПП – дополнительные модули для систем DEFORM™-2D и DEFORM™-3D, предназначенные для моделирования сложных процессов, происходящих в изделии при термической обработке.

DEFORM™ GEOMETRY TOOL — модуль, предназначенный для работы с геометрическими моделями в формате моделей для стереолитографии (stl).

В DEFORM нет ограничений на количество объектов (как деформируемых, так и деформирующих), участвующих в процессе. Это позволяет моделировать самые сложные технологические операции, в которых участвуют сборные заготовки и любое количество инструментов. При этом инструмент может быть неподвижным или перемещаться в любом направлении в зависимости от параметров заданного оборудования. Возможно моделирование таких технологических процессов, как накатывание резьбы, обкатка и ротационная вытяжка, точение, сверление и фрезерование. Инструмент может быть задан как абсолютно жесткий или упругий, деформируемый. Эффективный одношаговый алгоритм позволяет производить анализ прочности как для жесткого, так и для упругого инструмента, на любом шаге процесса. Возможен расчет обработки с несколькими инструментами, а также учет предварительного натяга в составном инструменте. Система DEFORM позволяет определять износ инструмента, моделировать изменения в микроструктуре материала заготовки при различных видах обработки.

DEFORM позволяет моделировать многооперационную обработку, когда одна и также заготовка подвергается обработке различными инструментами при различных режимах, например, когда после штамповки следует обработка резанием. При этом результаты расчета предыдущей операции служат исходными данными для последующей, что позволяет полностью учитывать технологическую наследственность.

Препроцессор DEFORM позволяет самостоятельно создавать геометрические модели тел простой формы или импортировать геометрические модели, созданные в САД системах в форматах dxf и iges (для 2D геометрии) и stl (для 3D геометрии). Постпроцессор позволяет экспортировать геометрические модели заготовок в аналогичных форматах.

Система DEFORM предоставляет широкие возможности для обработки результатов моделирования, выявления дефектов (образование трещин, складок и др.), анализа течения материала. Результаты включают в себя график сил, поля распределения напряжений, деформаций и температуры, причем они могут быть представлены графически и таблично. Наглядно представлены макро- и микроструктура изделия, движение отдельных точек материала. Уникальной является возможность визуализации трехмерной «вмороженной» в материал сетки FLOWNET. Для создания отчетов результаты можно вывести в виде графиков, численных данных, твердых копий и анимации. С помощью DEFORM можно проследить траекторию перемещения частиц материала заготовки при деформации, построить графики распределения напряжений и деформаций в любом сечении заготовки и инструмента.

АСМ ПП имеют большие перспективы развития. Особенно перспективными на сегодняшний день являются, безусловно, универсальные АСМ ПП, основанные на МКЭ. Быстрое развитие вычислительной техники, в частности многопроцессорных и кластерных систем, постепенно снижает время моделирования в данных программах, делая их более удобными в работе. Они, очевидно, будут постепенно вытеснять геометрические симуляторы обработки и другие специализированные АСМ ПП, не позволяющие учитывать силовые и температурные факторы, технологическую наследственность, в то же время, перенимая у них некоторые дополнительные возможности, связанные, в частности, с моделированием конкретного технологического оборудования. Основными направлениями совершенствования универсальных АСМ ПП представляются:

1) расширение функциональных возможностей, а именно:

- появление возможностей полноценного моделирования микроструктуры материалов, что, в частности, позволит эффективно моделировать различные упрочняющие технологии (термомеханическую обработку, ППД, нанесение покрытий и т.д.);

- совершенствование методик моделирования обработки резанием с целью обеспечения возможности анализа формирования точности размеров, шероховатости поверхности и других показателей качества;

- введения алгоритмов оптимизации технологических процессов, позволяющих в автоматизированном режиме оптимизировать конструкцию инструмента, режим обработки и т.д.

2) полная интеграция АСМ ТП в систему сквозной автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства. Алгоритм работы подобной интегрированной конструкторско-технологической САПР представляется следующим:

конструктор, на основе моделирования в конструкторской САЕ системе процесса эксплуатации изделия, разрабатывает 3D модель детали, в которой помимо номинальной геометрии изделия присутствует информации о допусках на размеры, требования к механическим свойствам материала, качеству поверхностного слоя и т.д.;

с помощью TDM системы технолог проектирует маршрут обработки заготовки;

используя универсальную АСМ ТП технолог проектирует технологический процесс получения заготовки литьем, обработкой давлением и т.п.;

с помощью САМ системы технолог разрабатывает управляющие программы для станков с ЧПУ;

используя полученную ранее модель заготовки, учитывающую технологическую наследственность от заготовительных операций, и управляющие программы для ЧПУ, технолог моделирует с помощью АСМ ТП механическую и термическую обработку детали;

анализируя результаты моделирования, технолог проверяет соответствие полученных результатов требованиям, установленным конструктором. При выявлении несоответствий вносит изменения в технологический процесс и повторяет моделирование;

конструктор моделирует поведение полученной в результате моделирования в АСМ ТП 3D модели детали при эксплуатации в конструкторской САЕ системе. При несоответствии эксплуатационных характеристик требуемым, выявляется причина несоответствия, и вносятся изменения в конструкцию детали и/или технологию ее изготовления.

3) совершенствование интерфейса. Развитие компьютерной графики и технологий виртуальной реальности позволят превратить АСМ ТП в виртуальный завод, являющийся точной компьютерной моделью реального производства. АСМ ТП при этом смогут моделировать не только физическое воздействие технологического оборудования на заготовку, но и интерфейс этого оборудования. Процесс моделирования таким образом превратиться в обработку 3D модели заготовки на виртуальных станках, что существенно упростит работу технолога и сократит время на технологическую подготовку производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брусов, С.И. Комплексный анализ параметров лезвийной обработки винтовых поверхностей [Текст] / С.И. Брусов, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов. - М.: Машиностроение-1, 2006. - 128 с.
2. Кондаков, А.И. САПР технологических процессов: учебник для ВУЗов [Текст] / А.И. Кондаков. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 272 с.
3. Харламов, А.А. DEFORM --- программный комплекс для моделирования процессов обработки металлов давлением [Текст] / А.А. Харламов, А.Н. Уваров // САПР и графика, 2003, №6. - С. 24-28.

Афонин Андрей Николаевич

Орловский Государственный технический университет, г.Орёл

Кандидат технических наук, доцент

Тел.(4862)55-55-24

E-mail: af@au.ru

О.Ю. ЕРЕНКОВ, П.В. ИГУМНОВ, В.Л. НИКИШЕЧКИН

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПКМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВЯЗУЮЩЕЕ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния электрофизической обработки полимерного связующего на механические свойства полимерного композитного материала.

The article contains results of experimental investigation of plastic binder electrophysical machining influence on mechanical properties of polymer composite material.

Интенсивное развитие техники, сопровождается все более широким использованием полимерных композитных материалов (ПКМ) в различных отраслях (авиакосмические конструкции, ракетостроение, автомобилестроение, электротехника и электроника, строительство, медицина и др.) в связи с чем возрастают требования к данным материалам. В настоящее время имеется насущная необходимость обеспечения предельно возможных значений показатели свойств материалов (упругопрочностных, диэлектрических, трещиностойкости и др.) [1], так как эффективность применения конструкционных полимерных материалов определяется их механическими свойствами [2].

В литературе наибольшее внимание уделяется изучению адгезии между матрицей и наполнителем и взаимодействию на межфазной границе. Физико-химические процессы, протекающие при формировании структуры материала и ее изменении при эксплуатации, изучены в значительно меньшей степени, хотя их влияние на свойства пластиков очень велико. В частности, со структурными изменениями связано влияние на свойства пластиков технологии их изготовления [3].

Наиболее эффективным, с точки зрения получения качественного конструкционного ПКМ, является метод вакуумно-компрессионной пропитки (RTM). При изготовлении деталей наиболее нагруженных узлов энергетических машин, таких как рабочие лопатки, диски и т.д., требуется соблюдение условия обеспечения равнопрочности по всей структуре, которое не всегда выполняется при использовании данного метода в виду различных причин: не соблюдения технологических требований и нестабильности свойств полимерных связующих.

Общезвестно, что некоторые виды электрофизического воздействия влияют на улучшение технологических и механических свойств полимерных материалов на стадии подготовки и в процессе изготовления. Однако, в виду нестабильности свойств самих полимерных материалов режимы данной обработки и соответствующие рекомендации отсутствуют.

Установлено, что взаимодействие излучений высокой энергии с ПКМ приводит к химическим изменениям – сшиванию или деструкции [4, 5]. Сшивание характеризуется образованием химических связей между макромолекулами, дополимеризацией, газовыделением, окислительной деструкцией, образованием двойных связей. При этом наблюдается изменение как физических свойств – вязкости, снижение степени растворимости, светопрозрачности, электропроводности и т.п., так и механических – прочности, жесткости, деформируемости и др. Результатом сшивания являются увеличение твердости, прочности, модуля упругости; повышение температуры плавления; уменьшение растворимости; удлинение при разрыве. При преобладании в материале деструктивных процессов наблюдается уменьшение модуля упругости, твердости и прочности на разрыв, снижение температуры текучести, повышение растворимости, а иногда и появление хрупкости.

Изменение свойств полимеров зависит также от вида и количества наполнителя, наличия пластификаторов, ингибиторов, антиоксидантов, различных примесей, а также от действия внешних электромагнитных полей.

В то же время известна лишь одна работа, посвященная взаимодействию электромагнитного поля с веществом, - это работа Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица в классическом труде «Электродинамика сплошных сред» [6]. Лишь сравнительно недавно стало известно, что на поверхностях и границах раздела сред существуют поля поверхностных электромагнитных волн - поверхностных поляритонов (ПП), имеющих вполне определенные структурные и амплитудные характеристики. Структуры пограничного слоя запасают электромагнитную реактивную энергию в виде колебаний с соответствующими частотами. Естественно, что структуры обладают резонансными свойствами. Электромагнитная энергия поступает в пограничную среду и за счет внешних электромагнитных полей, внешних излучений. ПП образуют внутренние поверхностные электромагнитные поля (ПЭМП) [7].

В работах Герца, Фарадея, Максвелла, Янковского И.А., Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица [8], а также П.Н. Лебедева [9] установлено влияние пондеромоторных сил (обусловленных электродинамическими взаимодействиями переменных электрических токов в молекулах или переменных зарядов в них) на движение расплавов металлов и сплавов, определяющее кинетику их кристаллизации. Исследование влияния магнитогидродинамических сил (МГД) на изменение структуры металлов и принципиальная схема аппарата управления электромагнитным перемешиванием (ЭМП) приведены в работе Черныша В.П. [10]. Регулируемое перемешивание расплава сварочной ванны электромагнитными силами от внешнего магнитного поля создают принципиально новые возможности для управления формированием и кристаллизацией сварного шва и определяемыми ими показателями качества сварных соединений.

Влияние продолжительности облучения жидкой фазы расплавов наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ) на их строение, процессы кристаллизации и структурообразования, физико-механические и эксплуатационные свойства сплавов на основе меди, алюминия, магния и железа представлены в работе [11]. Рассматриваются поля с импульсной мощностью около 1 МВт и длительностью импульса - 1 нс, при этом напряженность электрического поля достигает 10^5 - 10^7 В/м. Приведены гипотезы влияния НЭМИ на строение расплавов, фазовые и структурные превращения и свойства металлических сплавов.

Характерной особенностью наносекундных электромагнитных импульсов является их однополярность, что приводит к отсутствию осциллирующих колебаний в излучаемом поле. Следствием этого выступает наличие пространственно-временного направленного действия силы за время одного импульса, создающего условия для воздействия на структуру и физико-химические свойства вещества [4].

На основании вышеизложенного и предположения о том, что воздействие НЭМИ и ЭМП (запасая реактивную электромагнитную энергию как потенциальную непосредственно преобразующуюся в механическую) влияет на структуру расплавов, изменяя их механические свойства, задача исследования прочностных свойств ПКМ, в зависимости от параметров предварительного электрофизического воздействия на полимерное связующее, является актуальной.

Цель работы - экспериментальное исследование изменения механических свойств полимерного материала в зависимости от продолжительности совместного воздействия НЭМИ и ЭМП на связующее.

Так как, исследования по совместной электрофизической обработке проводятся впервые, то при проведении эксперимента учитываются такие факторы, которые, на основании анализа априорной информации, имеют значимое влияние на формирование механических свойств: свойства исходных материалов, характеристики электромагнитного поля, характеристики электромагнитных импульсов, время обработки. При проведении

экспериментов использовались следующие режимы электромагнитного воздействия: НЭМИ – длительность импульса 1 нс, амплитуда более 8 кВ, мощность в одном импульсе более 1 МВт, частота повторения импульсов 1000 Гц; электромагнитное поле – частота колебаний $\nu = 0,5$ Гц (длительность прямого импульса – 0,02 с, реверса – 1,8 с, обратного импульса – 0,02 с). Продолжительность обработки 30 минут.

Определение параметров, характеризующих механические свойства исследуемого материала, проводили на испытательных машинах моделей УММ-20, МК-30А, ТБ 5004. Изготовление образцов проводилось с помощью установки вакуумно-компрессионной пропитки и печи сопротивления для термообработки материала, установленной на ОАО «Дальэнергомаш».

В качестве исследуемых материалов использовались полимерное связующее Этал Т 210 и ПКМ Этал Т 210-Т11-ГВС9 на его основе. В качестве источника НЭМИ применялся специальный генератор ГНИ-01-16, изготовленный Южно-Уральским государственным университетом, и установка ЭМП для возбуждения пондеромоторных сил изготовленная на ОАО «Дальэнергомаш».

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, а полученные экспериментальные данные представлены на рис. 2, 3, 4 и 5.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что совместная обработка НЭМИ и ЭМП полимерного связующего позволяет повысить качество готового ПКМ, о чем свидетельствуют значения механических характеристик материала. При этом вполне очевидно, что оптимальная продолжительность обработки составляет 30 минут.

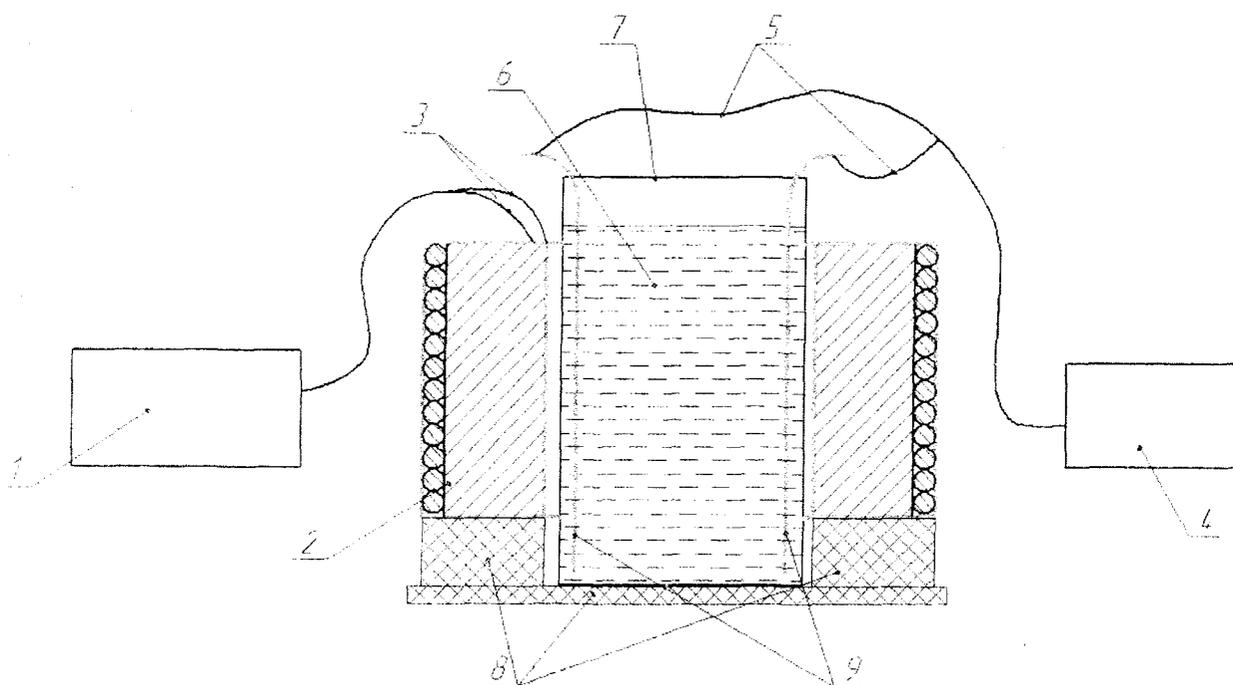


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для совместного воздействия НЭМИ и ЭМП на полимерное связующее: 1 – аппарат управления установки ЭМП; 2 – катушка индуктивности; 3 – электропитание катушки индуктивности; 4 – генератор ГНИ-01-16; 5 – электропитание электродов излучения НЭМИ; 6 – полимерное связующее; 7 – диэлектрическая емкость; 8 – диэлектрические подставки; 9 – электроды излучения НЭМИ

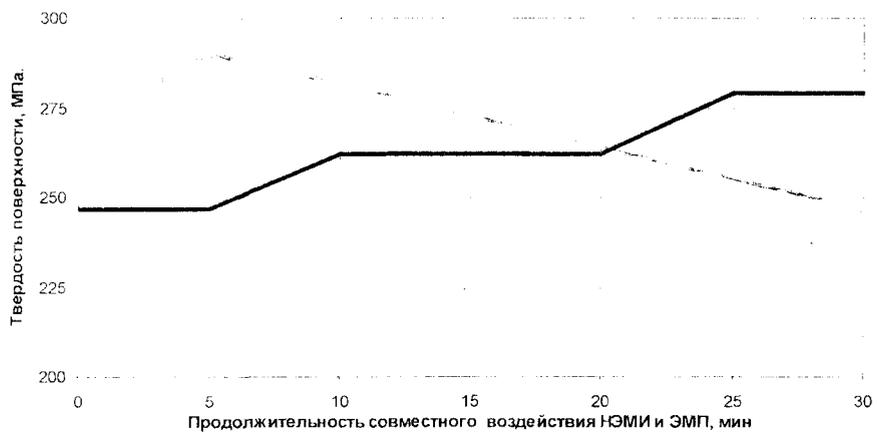


Рисунок 2 – Твёрдость образцов из полимерного связующего Этал Т 210 в зависимости от продолжительности совместного воздействия НЭМИ и ЭМП



Рисунок 3 – Предел прочности при растяжении образцов из ПКМ Этал Т 210-Т11-ГВС9 в зависимости от продолжительности совместного воздействия НЭМИ и ЭМП на полимерное связующее

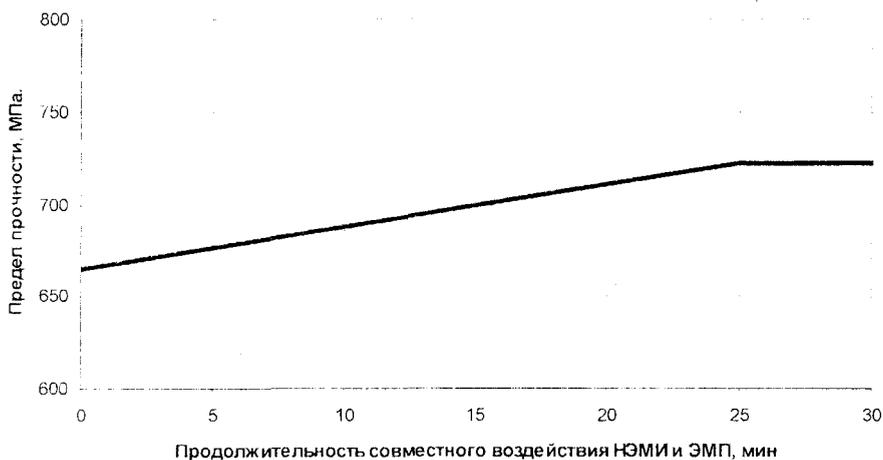


Рисунок 4 – Предел прочности при статическом изгибе образцов из ПКМ Этал Т 210-Т11-ГВС9 в зависимости от продолжительности совместного воздействия НЭМИ и ЭМП на полимерное связующее

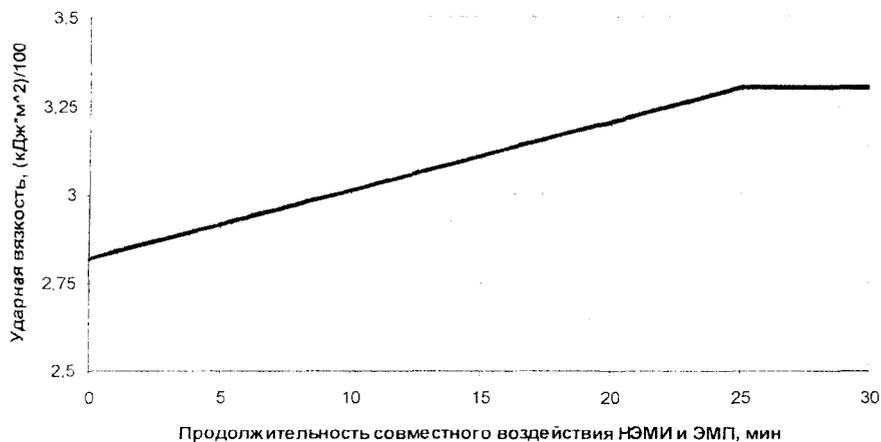


Рисунок 5 – Ударная вязкость образцов из ПКМ Этал Т 210-Т11-ГВС9 в зависимости от продолжительности совместного воздействия НЭМИ и ЭМП на полимерное связующее

Этал Т 210-Т11-ГВС9 – это отвержденный реактопласт, обладающий жесткой пространственной структурой. Воздействие мощных электронных импульсов в сочетании с механическим перемешиванием под воздействием подперомоторных сил электромагнитного поля приводит к перестройке между макромолекулами, сегментами и звеньями полимерной цепи, образованию дополнительных химических связей, что, предположительно, и приводит к повышению физико-механических свойств материала.

На ОАО «Дальэнергомаш» был спроектирован ряд машин типа центробежного нагнетателя воздуха (ЦНВ): 60/1.2.100/1.2 и 200/1.6 с применением в качестве основного материала рабочих колес ПКМ – стеклопластика. Теоретически удельные прочностные характеристики удовлетворяли требованию конструкции для машин со степенью повышения давления 1.2 и 1.6. Машин со степенью повышения давления 1.2 прошли стендовые испытания и были отпущены заказчику. Когда данный материал применили в конструкции колес машин со степенью повышения давления 1.6, то они не прошли испытания на разгонной установке – произошло разрушение на рабочей частоте вращения и штатной нагрузке. Принимая во внимание результаты вышеприведенных рис. 2, 3, 4, 5 экспериментов, было принято решение применить в конструкции рабочих колес машины ЦНВ 200/1.6 (со степенью повышения давления 1.6) ПКМ с использованием термостойкого связующего Этал50Г -210, предварительно обработанного комбинированным воздействием НЭМИ и ЭМП продолжительностью 25 минут. Изготовленные опытные образцы успешно прошли испытания на разгонной установке с превышением центробежной нагрузки на 25 %.

Из вышеизложенного следует, что воздействие наносекундными электромагнитными импульсами в комбинации с магнитогидродинамическими – подперомоторными силами электромагнитного поля на полимерные материалы представляет научный и практический интерес.

Основной задачей дальнейших исследований является установление взаимосвязи между параметрами совместного электрофизического воздействия на полимерное связующее и механическими свойствами ПКМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлин Ю. А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы на их основе. // Полимерные материалы. 2005, № 4. – 27 с.
2. Абрамов С. К., Асотов А. И., Ефремушкин Ю. В. Динамические механические свойства полимерных конструкционных материалов. // Пластмассы, 1985, № 2.
3. Чернин И. З. Сметов Ф. М., Жердев Ю. В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. 208 с.

4. Карташов Э. М., Цой Б., Шевелев В. В. Структурно-статистическая кинетика разрушения полимеров. М.: Химия, 2002. – 736 с.
5. Огибалов П. М., Малинин Н. И., Нетребко В. П., Кишкин. Б. П. Конструкционные полимеры: учеб. пособие для вузов. Т. 1. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1972. 428 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Физматгиз, 1959. – 532 с.
7. Мирлин Д.Н., Лагуа Дж., Фишер Б. и др. Поверхностные поляритоны: Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела сред. – М.: Наука, 1985. – 525 с.
8. Олшанский А.И. Физика: физический мир с позиций нондеромоторных сил поверхностных электромагнитных полей. Материалы сети Internet. Сайт www.inauka.ru.
9. Лебедев Н.Н. Экспериментальное исследование действия нондеромоторных сил на резонаторы. Материалы сети Internet.
10. Черныш В.П., В.Д. Кузнецов, А.Н. Брискман, Г.М. Шеленков. Сварка с электромагнитным перемешиванием. Киев: Техника, 1983. – 127 с.
11. Ри Э.Х., Ри Хосен, Дорофеев С.В., Якимов В.И. Влияние облучения жидкой фазы наносекундными электромагнитными импульсами на ее строение, процессы кристаллизации, структурообразования и свойства легированных сплавов. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 177 с.

Еренков Олег Юрьевич

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Химическая переработка природных ресурсов»

Тел. (4212) 375-231

E-mail: erenkov@list.ru

Игумнов Павел Валерьевич

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны», проректор по региональной и кадровой политике

Тел. (4212) 40-76-56

E-mail: root@festu.khv.ru

Никишечкин Вячеслав Леонидович

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Аспирант кафедры «Компьютерное проектирование и сертификация машин»

Тел. (4212) 381-515

E-mail: tehnikenerg@mail.ru

УДК 621.822.5:539.2/.6:539.1.04

Л.А. САВИН, П.Г. АНТОНОВ, С.А. ГЕРАСИМОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДШИПНИКОВ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С МИКРОСТРУКТУРНОЙ СМАЗКОЙ

Приведен анализ возможности применения гетерогенных сред с различными концентрациями микро и наночастиц в качестве смазочных материалов триботехнических систем. Предложена математическая модель расчета полей давления в сдвигово-напорных слоях подшипника жидкостного трения. Приведены результаты расчета несущей способности гидродинамического подшипника с учетом концентрации частиц.

We discussed heterogeneous lubrication with various concentrations of micro and nano fractions applying for tribosystems. We are given pressure calculation model for shear-pressure gradient flow of fluid film bearings. Also some modeling results for capacity of journal bearings with various fraction concentration.

Совершенствование современных машин в значительной мере связано с решением задач трения и смазки. Одним из направлений триботехники является создание новых смазочных материалов, обладающих низким коэффициентом трения, малой

чувствительностью теплофизических свойств (вязкость, плотность, теплоемкость) к колебаниям давления и температуры. Решение данных проблем связано с введением микро и нано присадок в структуру смазочной среды, которые обеспечивают ей ряд положительных свойств, к числу которых можно отнести:

- существенное снижение коэффициента трения и как следствие более низкие потери мощности и повышение КПД;
- сокращение износа поверхностей деталей за счет нивелирования шероховатости поверхности, что ведет к увеличению срока службы опорных узлов;
- уменьшение акустических шумов;
- снижение эксплуатационного расхода смазочного материала;
- хорошая устойчивость к кратковременным перегрузкам;
- снижение рабочей температуры смазочной среды.

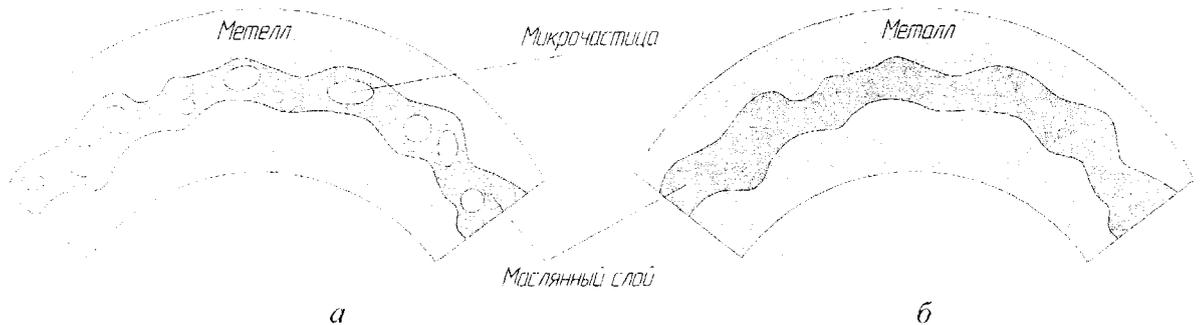


Рисунок 1 – Схема вязкого трение (б) и трения при гетерогенной смазочной среде (а)

В настоящее время большинство работ по улучшению качества гетерогенных смазочных сред базируются на экспериментальных исследованиях. Основным недостатком такого подхода является тот факт, что довольно сложно установить взаимосвязь между параметрами механической системы (геометрические, кинематические, силовые и др.) и параметрами смазочной среды (концентрацию твердой фазы, размер микрочастиц и т.п.) обеспечивающими оптимальные режимы работы. Теоретический расчет динамики течения такой жидкости на основе классической гидродинамической теории не дает удовлетворительных результатов [1,2,4]. Это связано с тем, что в подобных случаях происходит индивидуальное возбуждение отдельных компонентов среды, что ведет к необходимости учета их собственных движений. Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо использовать дополнительные уравнения позволяющие описывать указанную особенность таких сред.

Все виды микро и наночастиц, которые используются в качестве присадок для смазочных материалов, а так же образующиеся в ходе работы роторных машин (загрязнение смазки пылевыми и металлическими частицами), можно разделить на два класса: органические неорганические. К числу первых относятся всевозможные полимерные соединения. Особенностью таких частиц является относительно правильная глобулярная форма, а так же высокая пластичность. Основной их задачей является повышение вязкости среды, а так же снижение чувствительности к колебаниям температуры. Но основную долю в составе присадок занимают неорганические вещества. Наиболее часто используются частицы графита, тефлона, никеля, меди, свинца, сульфида молибдена, нитрида кремния, а так же различные виды керамики - высококислотные оксиды, нитриды, карбиды, бориды и силициды (химические соединения элементов кислорода, азота, углерода, бора и кремния с металлами: алюминием, цирконием и титаном). Именно этот тип присадок за счет снижения коэффициента трения обеспечивает снижение момента трения и потерь мощности в механической системе.

При выборе метода моделирования течения гетерогенных сред необходимо учитывать концентрацию твердых частиц в рассматриваемой жидкости (определяет характер переноса

количества движения в течение), кроме того выбранный метод должен учитывать дополнительные (вращательные) степени свободы элементарных объемов жидкости (рисунок 1).

При небольших концентрациях ($c < 0.05$) твердой фазы, а так же небольших (по сравнению с толщиной смазочного слоя) размерах микрочастиц допустимым является подход, основанный на непосредственном решении уравнения Навье – Стокса. В этом случае процессами взаимодействия между частицами можно пренебрегать, а влияние оказываемое введением частиц сводится к увеличению вязкости смазочной среды (которое можно моделировать введением дополнительных коэффициентов турбулентной вязкости K_{\dots}). Между тем замечено, что присутствие небольших по размерам частиц ослабляет турбулентность в то время как, наличие более крупных стремится ее усилить [3].

При концентрациях $0.05 < c < 0.3$, или в случае более крупных частиц, взаимодействием между ними, а так же между ними и стенками пренебрегать нельзя. В этом случае динамику такой среды нельзя описывать исходя только из уравнения сохранения количества движения. Несмотря на это некоторыми исследователями (Оливер, Вард 1959; Берлемонт 1990; Бартон 1996) [6,7,9] были предприняты попытки модифицировать уравнение Навье – Стокса с целью описания течения двухфазных сред. Основным способом модификации уравнения было введение дополнительных коэффициентов турбулентной вязкости, а так же дополнительных слагаемых отвечающих за вклад микрочастиц. Но такой подход оказался малоперспективным и позволял удовлетворительно описывать течения смеси только при условии, что плотность частиц близка к плотности жидкости, а также при небольших значениях числа Рейнольдса.

При концентрациях твердой фазы превышающей 60% ($c > 0.6$) основным механизмом передачи количества движения (импульса) становится взаимодействие между частицами. Гетерогенная среда перестает считаться ньютоновской жидкостью, поскольку тензор напряжений уже не пропорционален градиенту скорости (Арагон 1995) [5]. В этом случае становится не применим подход, основанный на рассмотрении гетерогенной среды как однородной субстанции с осредненными параметрами. Необходимо проводить моделирование каждой отдельно взятой частицы, что существенно осложняет решение поставленной задачи.

Поскольку содержание присадок в масле редко превышает 15-20%, то в качестве расчетной модели жидкости допустимым является использование подхода основанного на рассмотрении гетерогенной среды, как гомогенной с осредненными параметрами. В то же время использование классической теории гидродинамики не представляется возможным в силу причин указанных выше. Исходя из этого, для решения поставленной задачи необходимо привлечение дополнительных теоретических положений, учитывающих собственные вращательные движения элементов среды. К числу таких теорий относится теория микрополярных сред [8], с привлечением которой и предлагается проводить моделирование течения двухфазной среды. Особенностью таких сред является наличие у них вектора собственного вращения $\vec{\omega}$, отличного по величине от вектора угловой скорости вращения содержащего их участка среды как целого $\vec{\omega} = 0.5 \cdot \text{rot}(\vec{v})$ [1,2,6]. Механика всех сред, в том числе и микрополярных жидкостей (МПЖ), строится на основе фундаментальных физических законов сохранения массы, количества движения и энергии (при построении теории МПЖ используется так же закон сохранения момента количества движения) [11]:

- уравнение неразрывности,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \vec{v}) = 0; \quad (1)$$

- уравнение сохранения количества движения,

$$(\mu + \lambda_v) \nabla(\nabla \cdot \bar{v}) + (\mu + \chi) [\nabla(\nabla \cdot \bar{v}) - \nabla \times (\nabla \times \bar{v})] + [\nabla(2\mu + \chi) \cdot \nabla] \bar{v} + (\nabla \lambda_v)(\nabla \cdot \bar{v}) + \dots + (\nabla \mu) \times (\nabla \times \bar{v}) + \chi(\nabla \bar{v}) + (\nabla \chi) \times \bar{v} - \nabla \pi + \rho \cdot \bar{g} = \rho \left[\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} - \bar{v} \times (\nabla \times \bar{v}) + \frac{1}{2} \nabla(\bar{v} \cdot \bar{v}) \right]; \quad (2)$$

- уравнение сохранения момента количества движения,

$$(\alpha_v + \beta_v + \gamma) \nabla(\nabla \cdot \bar{v}) - \gamma \nabla \times (\nabla \times \bar{v}) + (\nabla \alpha_v)(\nabla \times \bar{v}) + [\nabla(\beta_v + \gamma) \cdot \nabla] \bar{v} + \dots + (\nabla \beta_v) \times (\nabla \times \bar{v}) + \chi(\nabla \times \bar{v} - 2 \cdot \bar{v}) + \rho \cdot \bar{l} = \rho \cdot j \cdot \dot{v}, \quad (3)$$

здесь ρ – плотность смазочного материала, кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения в условиях Земли, $g = 9.81 \text{ м/с}^2$; p – давление, Па; μ – динамическая вязкость смазочного материала, $\text{Па} \cdot \text{с}$; λ_v – объемная вязкость смазочного материала, $\text{Па} \cdot \text{с}$; \bar{v} – вектор скорости потока смазочного материала, м/с ; χ – спиновая вязкость смазочного материала, $\text{Па} \cdot \text{с}$; \bar{v} – вектор микровращений смазочного материала рад/с ; t – время, с; $\alpha_v, \beta_v, \gamma$ – микрополярные коэффициенты, $\text{кг} \cdot \text{м/с}$; \bar{l} – момент объемных сил на единицу массы, $\text{Н} \cdot \text{м/кг}$; j – квадрат среднего радиуса инерции субструктуры, м^2 .

Приведенная выше система уравнений является наиболее полной для нетеплопроводных микрополярных сред. Все микрополярные коэффициенты не являются постоянными величинами, а представляют собой скалярные поля. Необходимым является введение в данную систему уравнения сохранения энергии, что приведет не только к росту качества модели, но и существенно усложнит ее решение. Но даже в исходном варианте решение практических задач с использованием этой модели представляет большую трудность в связи с большим числом коэффициентов требующих экспериментального определения. При этом основная проблема заключается в разработке методологии экспериментальных исследований по определению этих коэффициентов, а не в отсутствии возможностей их проведения.

Для решения практических задач течения гетерогенных сред в тонких пленках допустимым является использование упрощенной модели основанной на модификации уравнения Рейнольдса [4]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{h^3}{12\mu} f(N, l, h) \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{h^3}{12\mu} f(N, l, h) \frac{\partial p}{\partial z} \right] = 6 \frac{\partial}{\partial x} (h \cdot U) - 12V, \quad (4)$$

где $f(N, l, h)$ - микрополярная функция

$$f(N, l, h) = 1 + \frac{12l^2}{h^2} - 6 \frac{Nl}{h} \text{cth} \left(\frac{Nh}{2l} \right); \quad (5)$$

$N = \left(\frac{\chi}{2\mu + \chi} \right)^{1.2}$, $l = \left(\frac{\gamma}{4\mu} \right)^{1.2}$ - названы в работе [10] параметром связи и материальной длиной, соответственно.

Анализ, проведенный в работах [1, 11] показал, что параметр материальной длины, соответствует среднему размеру микрочастиц в среде и имеет размерность длины, а параметр связи характеризует уровень влияния вращательных движений элементарных объемов жидкости на картину течения в целом. На основе законов термодинамики было показано, что величина параметра связи может варьироваться в диапазоне $N \in [0, 1]$

Рассмотрим течение микрополярной жидкости в зазоре гладкого радиального подшипника скольжения затопленного типа (рисунок 2). Опорная поверхность подшипника полностью охвачена смазочной средой ($\alpha = 360^\circ$), а давления на его торцах равны.

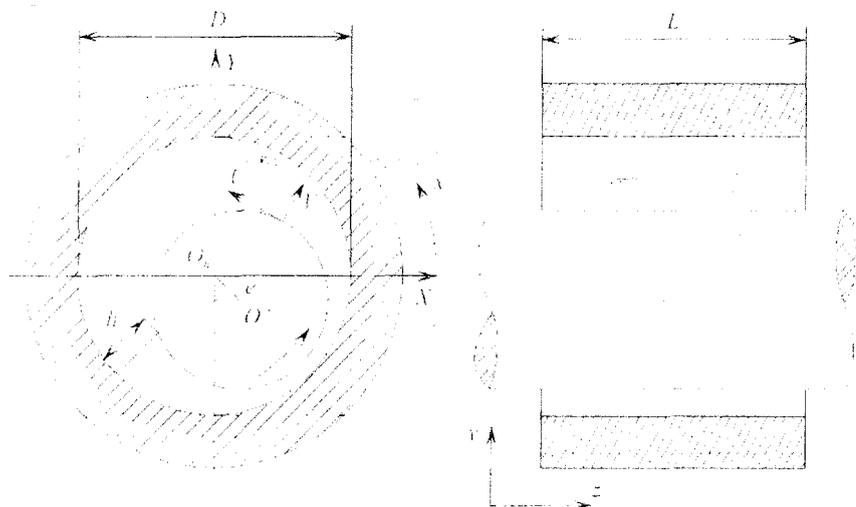


Рисунок 2 – Расчетная схема радиального подшипника жидкостного трения

Радиальный зазор определяется уравнением

$$h = h_0 - X \cdot \sin \alpha - Y \cdot \cos \alpha, \tag{6}$$

где X и Y – координаты, определяющие положение центра цапфы в декартовой системе координат; α – угловая координата по поверхности подшипника, определяющая радиальный зазор; h_0 – средний радиальный зазор, м.

Граничные условия для давления имеют вид:

- задано давление слива p_a и давление подачи p_0 (на торцах подшипника), в случае затопленного подшипника это условие примет вид

$$p(x, 0) = p(x, L) = p_0;$$

- условия по координате $x = \alpha \cdot R$ запишем, исходя из гипотезы Зоммерфельда, согласно которой опорная поверхность ротора полностью охвачена смазочным слоем. Тогда можно записать условия сопряжения

$$p(0, z) = p(2\pi R, z); \quad \frac{\partial p}{\partial x}(0, z) = \frac{\partial p}{\partial x}(2\pi R, z).$$

Поставленная задача решалась с использованием метода конечных разностей в сочетании с методом правой прогонки применяемого при решении СЛАУ. Алгоритм расчета представлен на рисунке 3. Проверка условия окончания очередной итерационной процедуры осуществлялась путем сравнения полей давлений в смазочном слое, полученных на предыдущей и текущей итерациях. Условием окончания итерационного процесса являлось выполнение неравенства

$$\frac{\text{norm}(\bar{p}_{i,k}) - \text{norm}(\bar{p}_{i,k}^{prev})}{\text{norm}(\bar{p}_{i,k})} \leq \varepsilon; \quad i = 1, 2, \dots, \bar{M}; \quad k = 1, 2, \dots, \bar{N}. \tag{7}$$

где $\bar{p}_{i,k}^{prev}$ – давление, вычисленное на предыдущей итерации, $\text{norm}(\bar{p}_{i,k})$ – евклидова норма матрицы $\bar{p}_{i,k}$, ε – заданная наперед точность расчета, определяемая в исходных данных.



Рисунок 3 – Алгоритм решения задачи

В дальнейшем по уравнениям

$$R_x = - \int_0^L \int_0^{\pi D} p(x, z) \cdot \sin(\alpha) \cdot dx dz, \quad R_y = - \int_0^L \int_0^{\pi D} p(x, z) \cdot \cos(\alpha) \cdot dx dz,$$

проводилось численное интегрирование полученного поля давлений (рисунок 4) для определения реакций смазочного слоя.

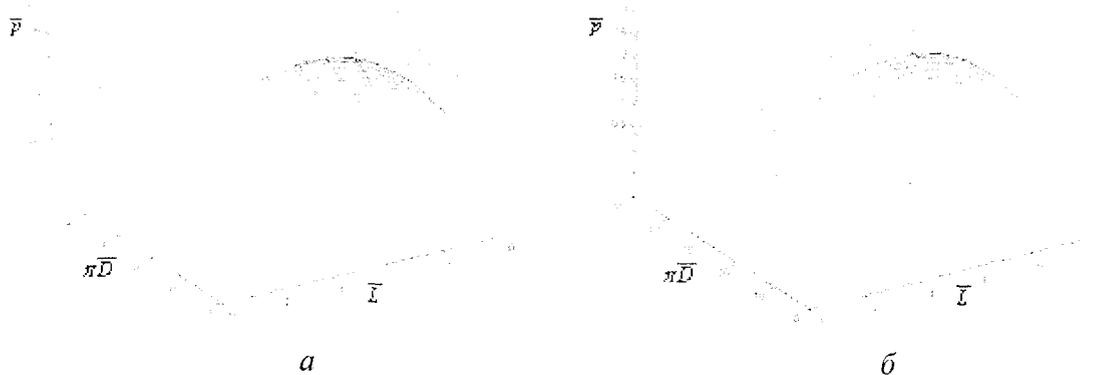


Рисунок 4 – Эпюры давлений в зазоре гидродинамического подшипника
 а - ньютоновская жидкость, б - микрополярная жидкость при $N = 0,8, L = 0,5$

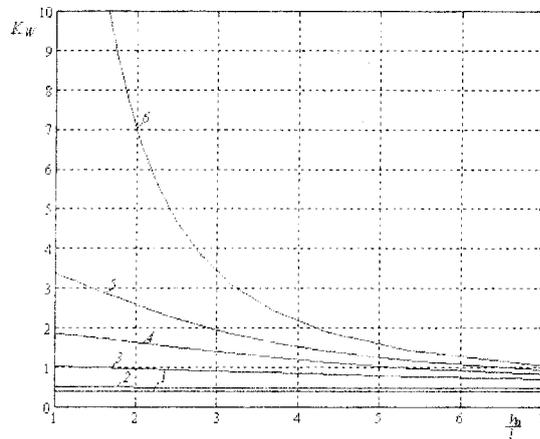


Рисунок 5 – Коэффициент грузоподъемности K_w в зависимости от отношения h_0/l

1 – ньютоновская жидкость; 2-6 – микрополярная жидкость при: $N=0,5$ (2); $N=0,8$ (3); $N=0,9$ (4); $N=0,95$ (5); $N=1$ (6)

На основе численного решения системы уравнений, установлены зависимости безразмерных характеристик подшипников скольжения (гидродинамической реакции, грузоподъемности) (рисунок 5). Рассчитанная в рамках теории МПЖ несущая способность подшипника всегда больше, чем соответствующая ньютоновской жидкости. Разница между ними увеличивается при стремлении отношения величины зазора к материальной длине микрочастицы (h_0/l) к единице.

В целом в работе разработана и апробирована методика определения интегральных характеристик опор жидкостного трения с микрополярной смазочной средой. Данная методика может быть использована как в научных, так и в практических целях в области изучения и разработки подшипниковых узлов элементов турбомашин.

Представленные в статье исследования проводились в рамках проекта 01.03.09 Министерства образования и науки Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мигун, Н.П. Гидродинамика и теплообмен градиентных течений микроструктурной жидкости / Н.П. Мигун, П.П. Прохоренко. – Минск: Наука и техника, 1984. – 264 с.
2. Мукхерджи А. Влияние двухфазных смазок на динамику жестких роторов // Проблемы трения. – 1983. – т.105. – №1. – С. 19 - 28.
3. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И. Нигматулин. – М.: Наука, 1978. – 336 с.
4. Прокопьев, В.Н. Прикладная теория и методы расчета гидродинамических сложноподгруженных опор скольжения: Автореф. дисс. ... доктора техн. наук. – Челябинск, 1985. – 445 с.
5. Aragon, J. A. G. 1995, Granular-fluid chute flow: experimental and numerical observations, J. of Hydraulic Engineering, Vol. 12 1(4), pp 355-364.
6. Barton, I. E. 1996, Computation of dilute particulate laminar flow over a backward-facing step, Int. J. numer. methods fluids, Vol. 22, pp 211-221.
7. Berlemont, A., Desjonqueres, P., & Goubet, G. 1990, Particle Lagrangian simulation in turbulent flows, Int. J. Mult. Flow, Vol. 16(1), pp 19-34.
8. Cosserat E. Theorie des corps deformables / E. Cosserat, F. Cosserat. – Paris: Hermann, 1909. – 226 p.
9. Oliver, D. R., & Ward, S. G. 1959, Studies of the viscosity and sedimentation of suspensions, Brit. J. Appl. Phys., Vol. 10.

10. Prakash J. Lubrication theory for micropolar fluids and its applications to a journal bearing / J. Prakash, P. Sinha // Int. J. Eng. Sci. – 1975. – v. 13. – P. 217 - 232.

11. Tipei N. Lubrication with micropolar liquids and its application to short bearings // Trans. ASME. – 1979. – v. F 101. – №3. – P. 356 - 363.

УДК 621.822

А.В. СЫТИН, С.Ф. ЛАДЫГИН

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОГИБ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕПЕСТКОВОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА

В статье рассмотрено влияние длины подшипника, количества гофров, толщины лепестка и гофра на прогиб опорной поверхности лепесткового газодинамического подшипника.

In the article considers the influence of the length of the bearing, the number of bumps, the thickness of the petals and corrugation on the deflection of the bearing surface of the leaf gas-dynamic bearings

В большинстве производимых на сегодняшний день машинах и аппаратах военной, научной и промышленной сфер деятельности функционально-конструктивную основу составляют роторные системы. Одним из путей повышения производительности машины в целом является увеличение частоты вращения рабочего узла, при этом эффективным путем повышения предельной частоты вращения роторов турбомашин является уменьшение вязкости смазочного материала.

Опоры с газовой смазкой обладают практически не ограниченной предельной быстроходностью, имеют высокий уровень демпфирования, работают с весьма малыми потерями и нагревом, сохраняют точность положения вала [1]. Перспективными в данном классе являются опоры с упруго-податливыми элементами, так называемые лепестковые газодинамические подшипники (рисунок 1). Податливость лепестка позволяет обеспечить чрезвычайно малые зазоры между цапфой и лепестком на большой площади и получить несущую способность, достаточную для многих высокооборотных турбомашин различного назначения.

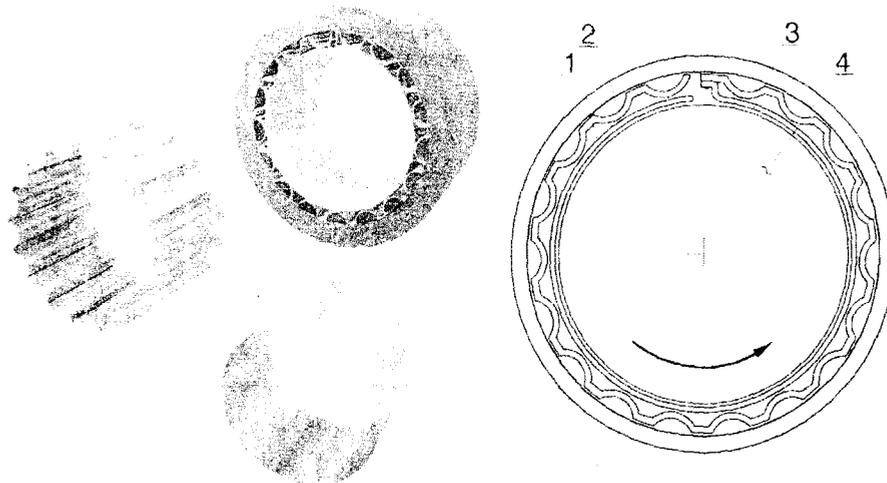


Рисунок 1 – Лепестковый газодинамический подшипник с круговым гофрированным элементом

1 – лепесток, 2 – круговой гофрированный элемент, 3 – корпус, 4 – ротор

Проблема упругой устойчивости возникает обычно в отношении тел, одно или два измерения которых малы в сравнении с третьим, а именно в отношении тонких стержней, пластинок и оболочек. Прогибы лепестка находятся в пределах упругих перемещений, ограниченных прогибами кругового гофрированного элемента, наибольший интерес в данной задаче представляет устойчивость гофр на максимально возможную нагрузку. Причем, согласно [2], специфическая особенность оболочек - потеря устойчивости, выражающаяся в резком переходе от устойчивого равновесного состояния к неустойчивому; этот переход наступает при различных нагрузках, в зависимости от исходных несовершенств формы оболочки, начальных напряжений и т.д. В этом случае прогибы оказываются соизмеримыми с толщиной оболочки; анализ поведения оболочек должен основываться при этом на уравнениях, являющихся уже нелинейными [3].

Для определения влияния количества гофров, выраженного в виде отношения ширины пластинки к диаметру гофра, на величину прогиба лепестка были рассмотрены конструкции с параметрами приведенными в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры конструкций ЛГДП

N	n гофров	D гофра	L пластинки	L пл./ Dг	Шар
1	24	3,5	1,95	0,5	15°
2	22	3,5	2,45	0,7	15,75°
3	20	3,5	3,05	0,85	17,5°
4	18	3,5	3,8	1,1	19,5°
5	16	3,5	4,7	1,35	22°

Крайние значения представлены на рисунке 2, а – 24 гофра, и рисунке 2, б – 16 гофров.

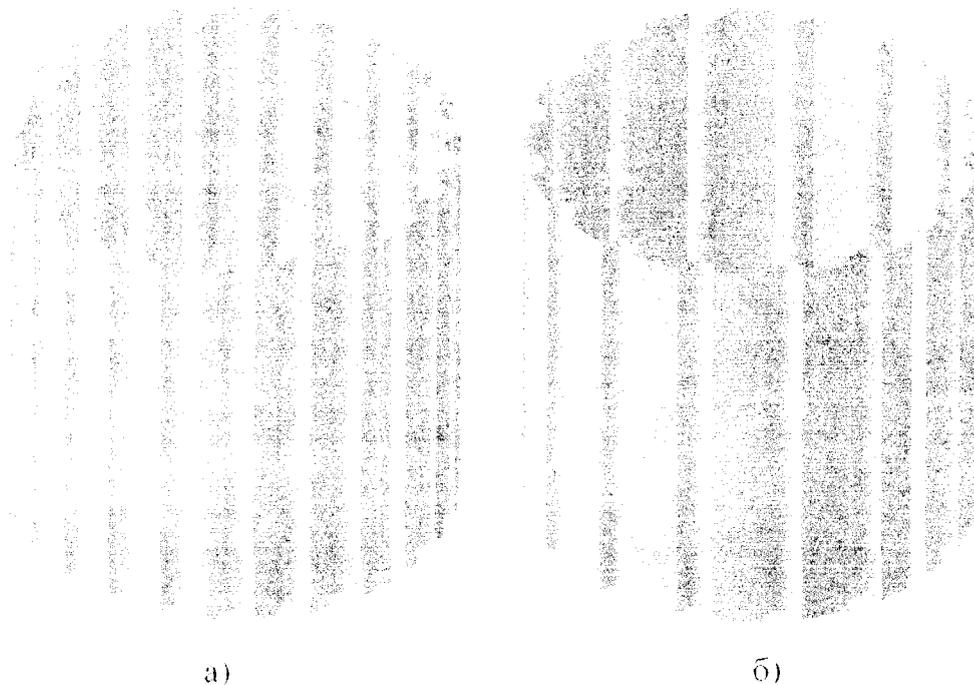


Рисунок 2 – Конструкции кругового гофрированного элемента

Количество гофров влияет на расстояние между ними, что в свою очередь влияет на величину прогиба лепестка между двумя соседними гофрами. При этом увеличение длины подпунктика на 35% уменьшает прогиб лепестка между соседними гофрами на 25 % (рисунок 3). А увеличение толщины лепестка на 50% приводит к уменьшению прогиба в 3 раза (рисунок 4).

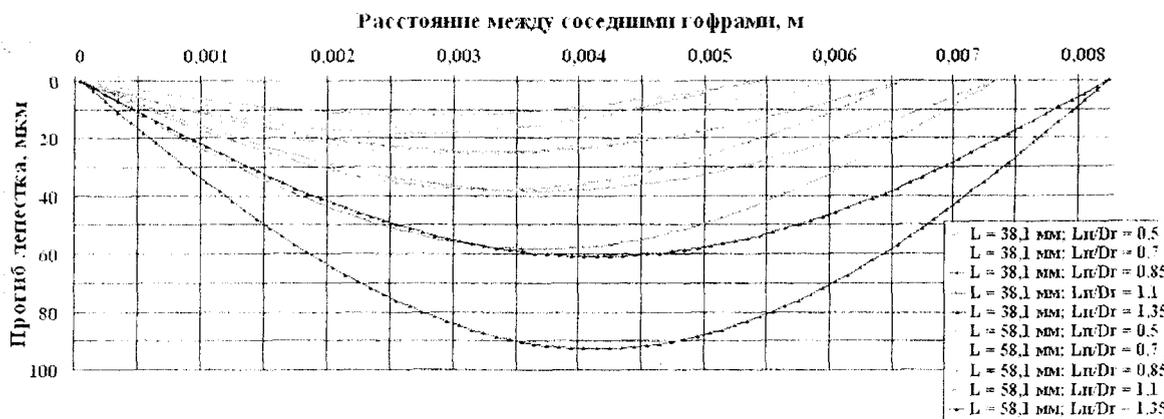


Рисунок 3 – Влияние длины подишника на прогиб лепестка между соседними гофрами

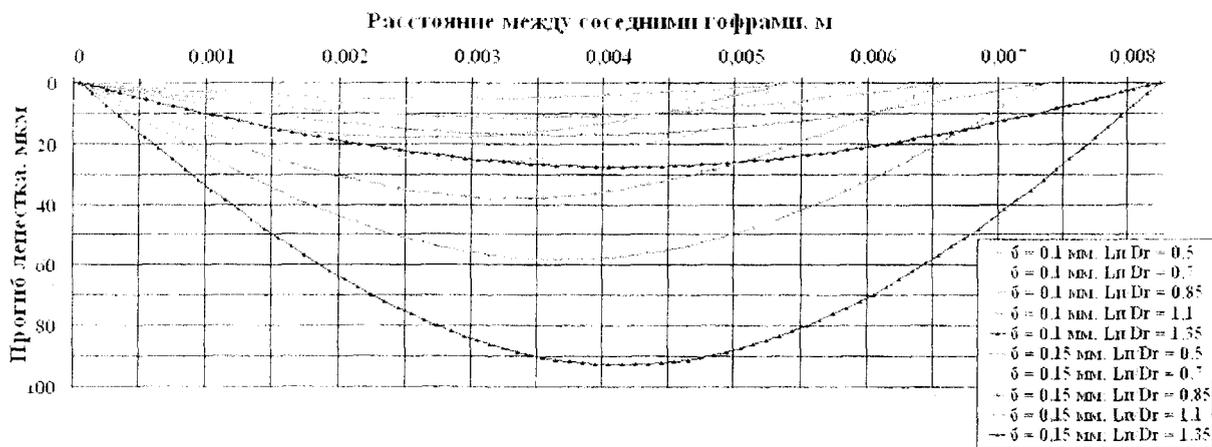


Рисунок 4 – Влияние толщины лепестка на прогиб лепестка между соседними гофрами

Увеличение толщины кругового гофрированного элемента на 50% уменьшает прогиб лепестка в 2,2 раза (рисунок 5).

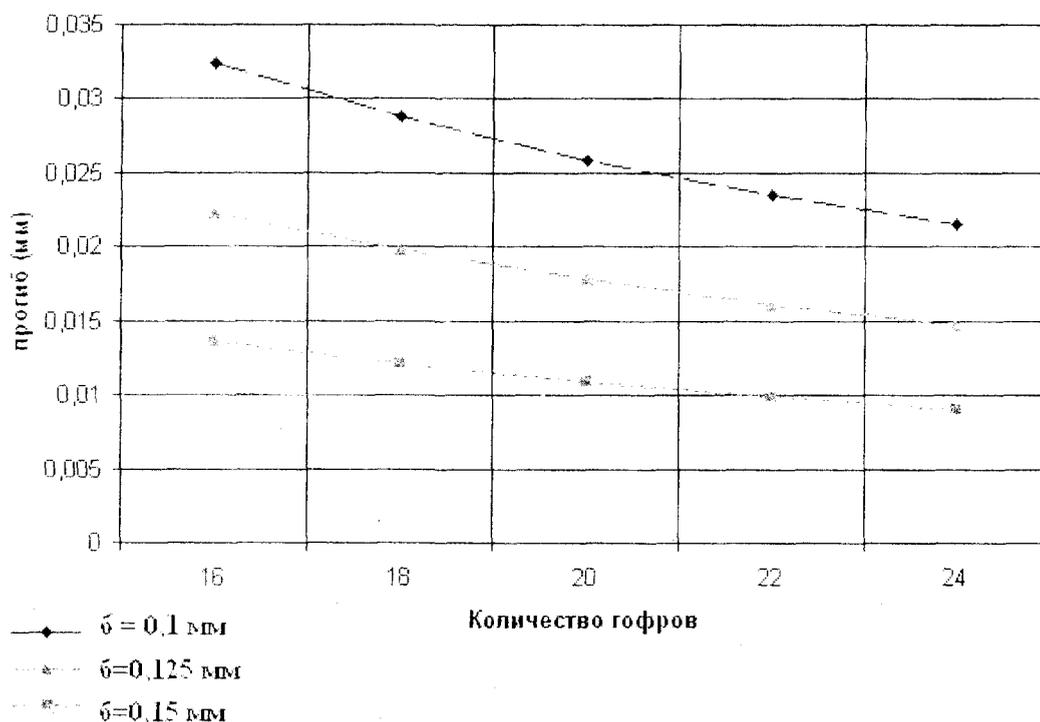


Рисунок 5 – Влияние толщины гофра на прогиб лепестка

Расширив математическую модель, введением дополнительного числа уравнений, добавив в зависимости совместного расчета контактной задачи дополнительные члены для двух лепестков и двух круговых гофрированных элементов, можно рассчитать конструкцию, представленную на рисунке 6, как с одинаковым, так и разным шагом для двух круговых гофрированных элементов. При этом в несколько раз увеличится время расчета, что при постоянно увеличивающихся вычислительных мощностях современных компьютеров не представляет серьезной проблемы.

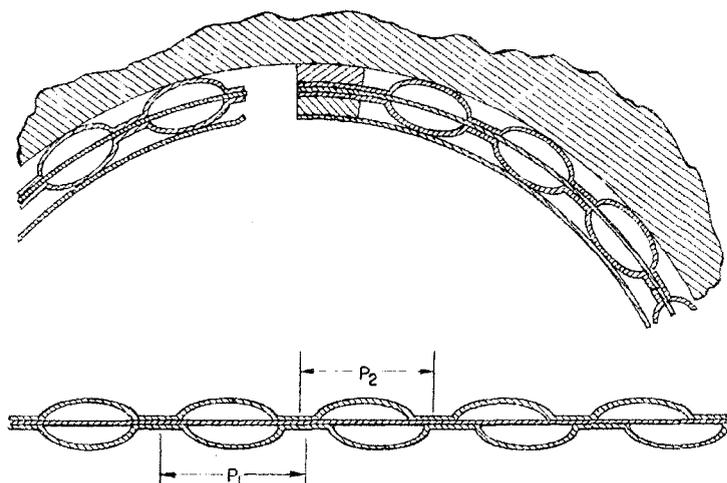


Рисунок 6 – Многослойная конструкция ЛГДП

При использовании дополнительных зависимостей, учитывающих геометрию и условия контакта упругих элементов, возможно применение данного подхода для широкого класса лепестковых подшипников с неперекрывающимися лепестками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коровчинский М.В. Теоретические основы работы подшипников скольжения. – М.: Машгиз, 1959. – 404 с.
2. Колкунов Н.В., Основы расчета упругих оболочек. –М.: Высшая школа, 1963. – 278с.
3. Хешмет Х., Уоловит Дж. А., Пинкус О. Анализ газового ленточного радиального подшипника // Проблемы трения и смазки. - 1983. –Т.105. –№4. – С. 124-132.

Сыгин Антон Валерьевич

К.т.н., ст. преп. кафедры «Инженерная графика и САПР»
 Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Тел.: + 7 919 204 60 50
 E-mail: syting@mail.ru

Ладьгин Сергей Федорович

Аспирант кафедры «МиМИ»
 Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Тел.: +7 919 268 25 56
 E-mail: superdrum@rambler.ru

В.М. РЯЗАНЦЕВ, Л.А. САВИН

МЕТОД РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНТОВЫХ НАСОСОВ

Рассмотрены принципы действия, предъявляемые требования и характеристики винтовых насосов. Изложены основные положения разработанного метода расчета моментов трения и механико-гидравлических коэффициентов полезного действия насосов. Приведены конструктивные схемы различных видов винтовых насосов.

Consider the principles of action, requirements and characteristics of screw pumps. The basic provisions of the developed method of calculating the moments of friction and mechanical-hydraulic efficiencies pumps. Presented constructive schemes of various types of screw pumps.

Насосы являются неотъемлемой частью энергетических, транспортных, технологических и коммуникационных систем. От их надежности, ресурса и технико-экономических показателей во многом зависит эффективность технических устройств и тенденции технологического развития. В настоящее время применяются различные виды насосов – объемные, динамические, трения, которые в свою очередь по принципу действия и конструктивным особенностям разделяются на шестеренные, поршневые, коловратные, инжекторные, винтовые, центробежные, пластинчатые и т.д.

Для перекачки жидкостей сложной реологии широкое распространение получили винтовые насосы с различными видами профилей рабочих органов (рис. 1-3). Винтовые насосы обладают рядом преимуществ, которые выражаются в высоком КПД, возможности герметизации и перекачки вязких жидкостей, хорошие виброшумовые характеристики, технологичность изготовления, массо-габаритные показатели.

Существуют различные способы добычи нефти, одним из которых является переработка нефтесодержащих песков с включениями фракций воды и камней. Для их подачи в технологические установки применяют специальные насосы, которые функционируют в условиях повышенного трения элементов конструкции рабочих тел, а также требуют особо тщательного уплотнения подшипниковых узлов. Для этих целей в настоящее время используют, наряду с шестеренными и коловратными, штанговые одновинтовые насосы с поверхностным приводом [1]. Как правило, частота вращения их рабочих органов составляет не более 10 Гц, а винт выполняют многозаходным. Эффективная работа винтовых насосов во многом зависит от характеристик профилей, в качестве которых используют циклоидно-эвольвентные поверхности.

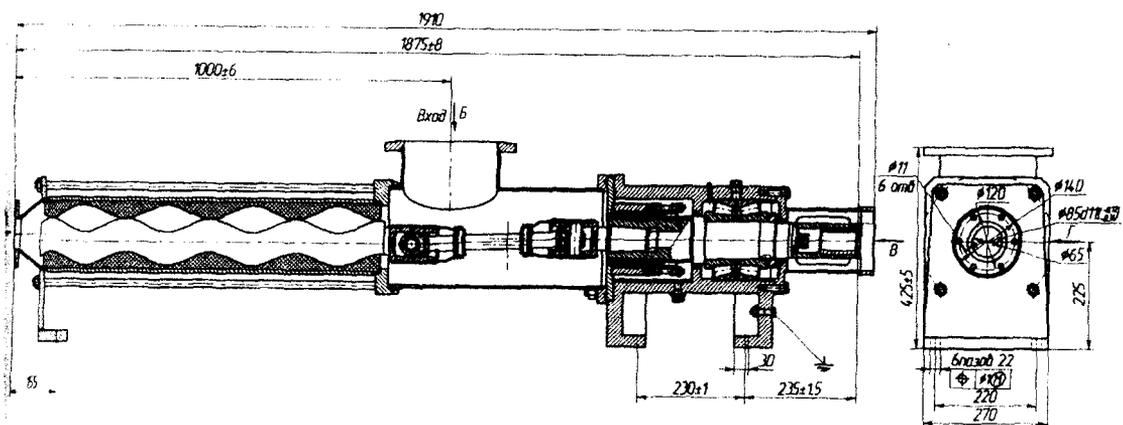


Рисунок 1 – Одновинтовой насос

Перекачивание мультифазных смесей (нефть+вода+газ+песок) представляет собой особое специфическое направление в создании насосов, которое предполагает учет сложных реологических свойств рабочих тел и высокий уровень механического износа [2]. Расчет параметров насосов при перекачке смесей представляет собой сложную задачу, при реализации которой необходимо учитывать явление сжимаемости газа в рабочих органах насоса. Аналитический подход в данном случае представляется малоэффективным, поэтому приемлемое решение видится в использовании методов, основанных на эмпирических данных.

Для расчета энергетических характеристик многвинтовых насосов были получены формулы на основе критериального обобщения результатов серийных испытаний насосов. Момент трения и утечку в насосе в размерном и безразмерном виде можно определить:

$$q_{0y}=q/Q_T=1-\eta_0 \text{ и } M_{6T}=M_T/M=1/\eta_M-1, \tag{1}$$

$$q_{0y}=f(G, Re, K_{Г1}); M_{6T}=\varphi(G, K_T, K_{Г1}); \tag{2}$$

где: q ($Q_T - Q$) – утечка в насосе; M_T – момент сил трения в насосе; $M = pQ/\omega$ – теоретический момент на валу ведущего винта (ВЦ); ω – угловая скорость ВЦ; p , Q , Q_T – соответственно дифференциальное давление, подача и геометрическая подача насоса; η_0 , η_M – объемный и механическо-гидравлический КПД насоса; $G = p/(\mu\omega)$ – критерий Гумбеля; $Re = (\omega D_e)/\nu$ – критерий Рейнольдса; $K_{Г1}$ – критерий геометрического подобия; $K_T = \gamma T_0/(\mu\omega)$ – критерий теплосодержания; D_e – наружный диаметр винта; μ , ν , γ , c , T_0 – соответственно динамическая и кинематическая вязкость, удельный вес, удельная теплоемкость и характерная температура перекачиваемой жидкости.

Температура T_0 определяется из зависимости вязкости жидкости от температуры T : $T_0 = T/\ln(\mu_0/\mu)$. При геометрическом подобии исходных (торцовых) сечений винтов двухвинтового насоса геометрическое подобие проточной его части определяется симплексами: $K_{Г1} = S_0/D_e$; $K_{Г2} = S_1/D_e$; $K_{Г3} = S_2/D_e$; $K_{Г4} = t_1/D_e$; $K_{Г5} = L/t_1$, где: S_0 , S_1 , S_2 – зазоры (на сторону): S_0 – между винтами и обоймой; S_1 – между боковыми профилями; S_2 – между вершиной одного винта и дном впадины другого; $t_1(t_2)$ – ход ВЦ (ВМ), L – рабочая длина винтов. В логарифмических координатах были нанесены экспериментальные точки, которые аппроксимировались прямыми и по ним записывались аналитические уравнения. Особенно много экспериментов с различными зазорами рабочих органов было сделано при создании мультифазных двухвинтовых насосов и, соответственно, было выведено много уравнений по определению объемного и механическо-гидравлического КПД при перекачивании жидкости без примеси свободного газа.

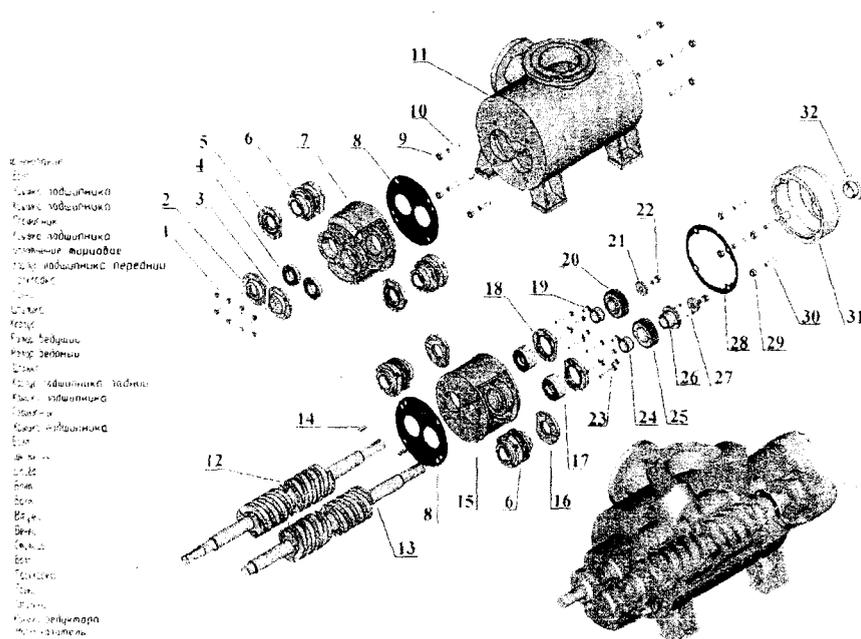


Рисунок 2 – Двухвинтовой насос

Расчет параметров мультифазного насоса при перекачке газожидкостной смеси представляет собой сложную задачу, так как необходимо учитывать влияние на них сжатия газа в рабочих органах (РО) насоса. Методикой расчета параметров насосов при перекачивании жидкости без газа можно пользоваться для приблизительных расчетов и при перекачивании газожидкостной смеси, с учетом того, что, как показали эксперименты, потребляемая насосом мощность не зависит от содержания газа в смеси, и что подача газожидкостной смеси на входе в насос больше подачи чистой жидкости (без газа) при одном и том же дифференциальном давлении, но она никогда не может быть больше геометрической подачи насоса. Причем, как правило, с увеличением доли газа в смеси, подача смеси на входе в насос увеличивается, приближаясь к геометрической подаче. То есть, подача газожидкостной смеси находится в “вилке” между минимальной подачей при работе насоса на жидкости без газа (определяемой по вышеприведенному методу) и максимальной подачей, равной геометрической подаче.

Главными факторами, определяющими конструкцию насоса и его параметры, являются процентное содержание газа в смеси $\alpha = 100(Q_{газ.вх}/Q_{см.вх})\%$ и степень повышения давления (соотношение давлений) $\epsilon = P_{вых.абс}/P_{вх.абс}$, где $Q_{газ.вх}$, $Q_{ж}$, $Q_{см.вх} = Q_{газ.вх} + Q_{ж}$ - соответственно подачи газа, жидкости и смеси на входе в насос; $P_{вых.абс} = P_{вых} + 1$, $P_{вх.абс} = P_{вх} + 1$ - соответственно абсолютное давление на выходе и входе в насос. Кроме того, конструкцию насоса определяют давление насоса и давление на входе в него. Чем больше величины α , ϵ , p , тем длиннее должны быть винты, тем больше должно быть число замкнутых камер для постепенного сжатия газа в них при небольших утечках жидкости. Чем больше $p_{вх}$, тем экономичнее работает насос. В качестве газожидкостной смеси в эксперименте использовали водовоздушную смесь.

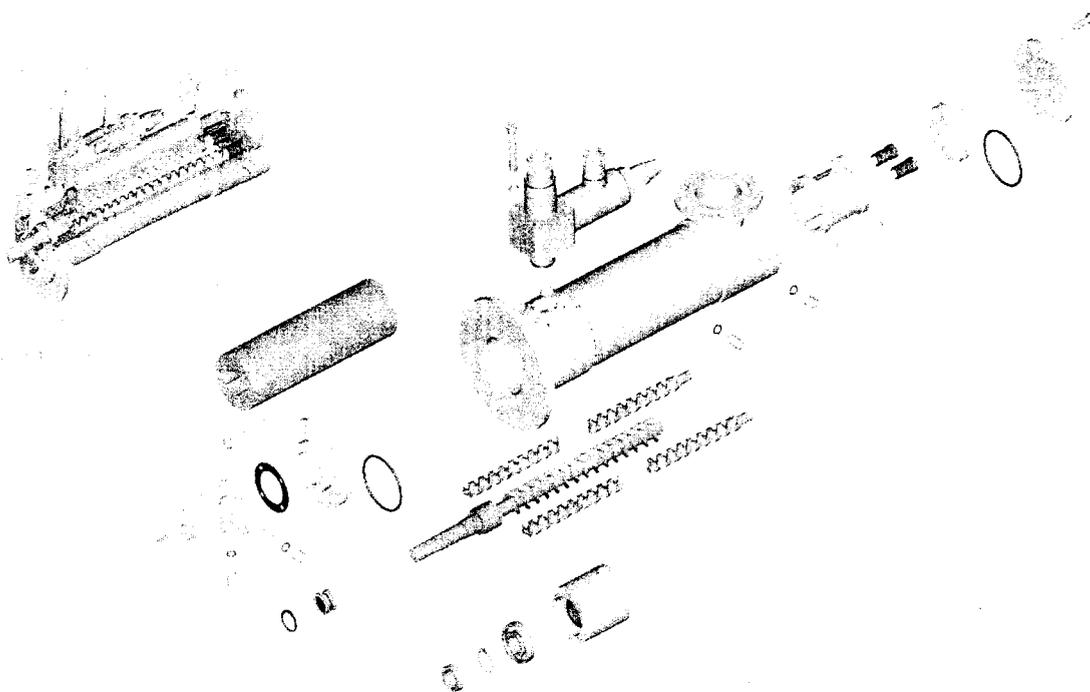


Рисунок 3 – Трехвинтовой насос

Для расчета характеристик насоса для газожидкостной смеси введем новые понятия: потребляемая мощность смеси - мощность, затраченная на повышение давления смешанного потока (газ+жидкость) - $N_{см} = Q_{см.вх} \cdot p$; объемный КПД насоса - $\eta_0 = Q_{см.вх}/Q_g$, механическо-гидравлический КПД - $\eta_m = N_T/N_H$, где $N_T = Q_g \cdot p$ - теоретическая мощность, N_H - потребляемая мощность, Q_g - геометрическая подача насоса. Поскольку температура смеси на входе и выходе из насоса отличалась не более чем на один-два градуса, считаем процесс сжатия газа изотермическим. Полезная (изотермическая) мощность смеси - мощность, которой обладают сжатый газ и жидкость на выходе из насоса:

$$N_{пол} = N_{см.из} = Q_{газ.вх} \cdot p_{вх.абс} \cdot \ln \varepsilon + Q_{ж} \cdot p. \quad (3)$$

КПД, учитывающий влияние изотермического сжатия газа в камерах РО насоса (условно назовем его газовый КПД), $\eta_g = N_{пол} / N_{см.}$. Общий КПД

$$\eta = N_{пол} / N_{п} = \eta_0 \cdot \eta_m \cdot \eta_g. \quad (4)$$

При изотермическом сжатии смеси газовый КПД определяется по формуле:

$$\eta_g = \alpha \cdot \ln \varepsilon / (\varepsilon - 1) + 1 - \alpha. \quad (5)$$

а в общем случае по формуле:

$$\eta_g = \alpha / (\varepsilon - 1) \cdot n / (n - 1) [\varepsilon^{(n-1)/n} - 1] + 1 - \alpha, \quad (6)$$

где n - показатель политропы.

Так как подачу смеси мы определяем только на входе в насос, то далее применяем обозначение $Q_{см}$, $Q_{см.вх}$. Максимально допустимое содержание α_{max} газа в смеси тем больше, чем меньше соотношение давлений ε . Для большинства испытанных насосов при минимальном соотношении давлений, лежащем в диапазоне $\varepsilon = 3,6 \div 5$, было достигнуто максимальное содержание газа при перекачивании водовоздушной смеси $\alpha_{max} = 87 \div 92\%$. При номинальном расчетном режиме $p_{вх.абс} = 1$ бар и $p_{вых.абс} = 21$ бар, т.е. при соотношении давлений $\varepsilon = 21$, предельно допустимое газосодержание равно $\alpha_{max} = 53 \div 57\%$. Общий КПД насосов достаточно высок и составляет при номинальном давлении 20 бар при подаче воды и масла соответственно $50 \div 54\%$ и $60 \div 65\%$.

Наивысшее газосодержание допускает насос А5 2ВВ 50/25: при давлении $p = 20$ бар и $p_{вх.абс} = 2$ бар - $\alpha_{max} = 92\%$, при $p = 5$ бар - $\alpha_{max} = 100\%$ (кратковременно). Насос А5 2ВВ 160/25 при давлении на выходе $p_{вых.абс} = 12$ бар и давлении на входе $p_{вх.абс} = 1,6$ бар, т.е. при соотношении давлений $\xi = 7,5$ имеет коэффициент $\alpha = 100\%$, т.е. способен кратковременно перекачивать газовые пробки. Отметим, что одноступенчатые винтовые компрессоры сухого сжатия обычно работают при степени повышения давления $\xi = 3 \div 3,5$; одноступенчатые маслозаполненные - при $\xi = 8 \div 9$. Автор разработал теорию и рассчитал ряд мультифазных насосов, которые в настоящее время серийно изготавливает ОАО "Ливгидромаш". Насосы успешно работают в Татарстане, Башкортостане, Западной Сибири и Казахстане.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.М.Рязанцев. Роторно-вращательные насосы с циклоидальными зацеплениями. М., Машиностроение, 2005, 345с.
2. Балденко Д.Ф., Бидман М.Г., Калишевский В.Л., Кантовский В.К., Рязанцев В.М. Винтовые насосы. М., Машиностроение 1982, 225 с.

Рязанцев Валерий Максимович

Главный конструктор объемных насосов, к.т.н.
ОАО «Ливгидромаш», г. Ливны Орловской обл.
Тел.: (48677) 7-18-90

Савин Леонид Алексеевич

Зав. кафедры «Мехатроника и МИ», д.т.н.
Орловский государственный технический университет, г. Орел
Тел.: (4862) 48 37 66
E-mail: savin@ostu.ru

УДК 53.082.62:621.791

С. Ф. КОРНДОРФ, О.Г. СЕРЕДА

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СПОСОБНОСТИ ОБЛАСТИ СВАРКИ ТЕРМОПАРЫ

В статье рассмотрена проблема определения термоэлектрической чувствительности полустественной термопары, составленной из области сварки стандартной градуированной термопары и вспомогательного электрода, с целью определения термоэлектрической способности зоны области сварки касающейся с последним электродом.

In article the problem of definition of thermoelectric sensitivity of the seminatural thermocouple made of area of welding of the standard graduated thermocouple and an auxiliary electrode, for the purpose of definition of thermoelectric ability of a zone of area of welding concerning with last electrode is considered.

Свойства поверхностных слоев изделий из металлов и сплавов существенно отличаются от свойств участков этих же металлов и сплавов, расположенных на удалении от поверхности [1]. Естественно ожидать, что значение их термоэлектрической способности (ТЭС) также отличается от значений, относящихся к более глубоко лежащим слоям. Поэтому повышение точности измерений ТЭС поверхностных слоев для оценки их качества имеет большое значение.

Обычно ТЭС исследуемого материала определяется по термоЭДС, генерируемой полустественной термопарой, состоящей из двух электродов, один из которых изготовлен из исследуемого материала, а второй – из материала с известной ТЭС. При градуировках термопару помещают в термокамеру, в которой происходит нагрев значительного участка электродов термопары, вместе с областью их сварки. При этом вся область сварки нагревается равномерно и ЭДС термопары определяется температурой в термокамере и ТЭС электродов термопары.

ТЭС поверхностного слоя металлических изделий может быть измерена, если этот слой имеет температуру, отличную от температуры более глубоко лежащих слоев. Такого распределения температур можно добиться только в переходном режиме, когда нагреву подвергается только поверхностный слой, а остальные более глубоко лежащие слои разогреваются за счет его теплопроводности. При этом необходимо иметь средство измерения температуры поверхностного слоя, и достаточно теплоемкий источник для быстрого нагрева этого слоя. Расположение указанных устройств на одной площадке поверхности без экранизации действия одного из них на действие другого невозможно. Поэтому необходимо совместить измерительный преобразователь термопары (область сварки ее электродов) и нагревательное устройство в одном элементе. Таким образом, горячая область сварки электродов стандартной термопары должна выполнять сразу две функции – нагревать поверхностный слой и играть роль электрода полустественной термопары. На рис.1 приведена схема, поясняющая возможный способ реализации описанного метода измерения ТЭС исследуемого материала (ИМ). На поверхность материала опускается область сварки С стандартной термопары ТП1, состоящей из электродов А и В. Разогрев этой области до возникновения теплового контакта между поверхностным слоем ИМ и С осуществляется нагревательным устройством НЭ. В момент возникновения теплового контакта поверхностный слой нагревается, а контактирующая с ним зона области сварки термопары охлаждается. При этом образуется полустественная термопара, которая генерирует термоЭДС, измеряемую прибором PV2; одновременно

прибор $PV1$ измеряет термоЭДС, генерируемую стандартной термопарой. Тепловой режим термопар характеризуется температурами Θ_1 и Θ_2 , соответствующими точкам области сварки, контактирующими с электродами искусственной термопары и с поверхностным слоем и температурой Θ_0 окружающей среды. Причины неравенства температур Θ_1 и Θ_2 рассмотрены в [2].

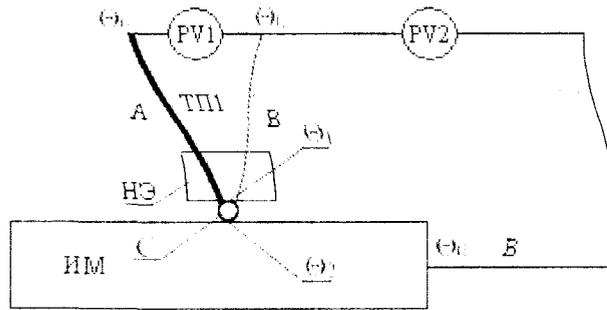


Рисунок 1 – Схема, поясняющая способ реализации измерения ТЭС исследуемого материала

В описанной выше схеме определения ТЭС поверхностного слоя материала в качестве электродов искусственной термопары используются нижняя зона области сварки стандартной термопары, состоящей из электродов А и В, и поверхностный слой ИМ.

Материалы электродов А и В искусственной термопары и их термоэлектрические способности известны, но область сварки термопары имеет значительный объем, в котором можно выделить две зоны: зону, из которой выходят электроды термопары и зону, противоположную ей, которая соприкасается с поверхностным слоем ИМ. Термоэлектрическая чувствительность (ТЭЧ) стандартной термопары определяется значением ТЭС электродов А и В, контактирующих друг с другом в первой зоне. Во второй зоне при сварке происходит сплавление материалов электродов стандартной термопары, поэтому ТЭС материала, образующего вторую зону, неизвестна, а определение ее значения для исследования ТЭС поверхностного слоя необходимо.

Для измерения указанной ТЭС используется установка, схема которой приведена на рис.2 (а).

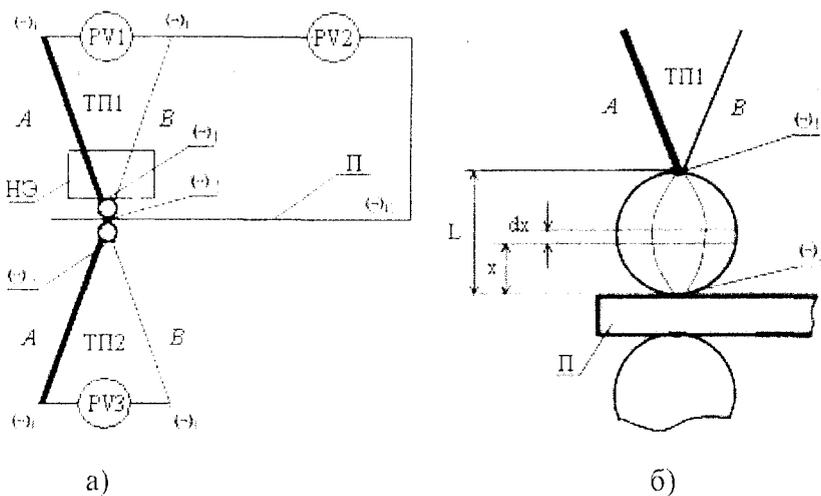


Рисунок 2 – Определение ТЭС области сварки:

а) схема установки;

б) контакт области сварки термопары ТП1 с пластиной

Нагревательное устройство НЭ, расположено непосредственно над областью сварки термопары ТП1. От нее тепло через тонкую пластину П из металла с высокой теплопроводностью передается в область сварки второй термопары ТП2, идентичной термопаре ТП1 (ТЭС материала пластины П и градуировка термопар ТП1 и ТП2, проводятся предварительно по методу предложенному в [2]). Температуры зон термопар Θ_1 и Θ_3 определяются по известным значениям их ТЭЧ и показаниям приборов PV1 и PV3. Показания прибора PV2, соответствуют термоЭДС, генерируемой полустественной термопарой, образованной материалом области сварки и пластиной П.

Высокая теплопроводность материала пластины П, расположенной между областями сварки термопар, и ее малая толщина (0,10–0,12 мм) при достаточном усилии прижатия этих областей к пластине, обеспечивающем смятие наиболее высоких микронеровностей пластины, выполненной из мягкого металла, и внедрение в нее микронеровностей областей сварок термопар, позволяет предположить, что температура касания обеих областей сварки термопар с пластиной одинакова, а вследствие симметрии устройства температура пластины в указанной зоне определяется по формуле:

$$\Theta_2 = \frac{\Theta_1 + \Theta_3}{2}, \quad (1)$$

где Θ_1 и Θ_3 – температуры, измеряемые термопарами ТП1 и ТП2.

В области сварки термопары ТП1 температура изменяется от Θ_1 – в зоне выхода электродов до Θ_2 – зоны контакта с пластиной рис.2 (б). На расстоянии x от зоны касания нижней области сварки с пластиной температура равна Θ_x , а на расстоянии $x + dx$ она составляет:

$$\Theta_{x+dx} = \Theta_x + \frac{\partial \Theta}{\partial x} dx,$$

где $\frac{\partial \Theta}{\partial x}$ – градиент изменения температуры в области сварки.

Аналогично ТЭС на расстоянии $x + dx$ от зоны касания:

$$S_{x+dx} = S_x + \frac{\partial S}{\partial x} dx,$$

где S_x – ТЭС на расстоянии x от зоны касания нижней области сварки с пластиной;

$\frac{\partial S}{\partial x}$ – градиент изменения ТЭС в области сварки.

Следовательно, если потенциал в точке x : $\varphi_x = S_x \Theta_x$, то потенциал в точке $x + dx$:

$\varphi_{x+dx} = \left(\Theta_x + \frac{\partial \Theta}{\partial x} dx \right) \left(S_x + \frac{\partial S}{\partial x} dx \right)$ и напряжение слоя dx составляет

$$dU = \varphi_{x+dx} - \varphi_x \cong \left(\frac{\partial \Theta}{\partial x} S_x + \frac{\partial S}{\partial x} \Theta_x \right) dx. \quad (2)$$

Если в первом приближении предположить, что S и Θ зависят от x линейно, то

$$S_x = S_C + \frac{S_B - S_C}{L} x, \quad (3)$$

$$\Theta_x = \Theta_2 + \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{L} x, \quad (4)$$

$$\frac{dS}{dx} = \frac{S_B - S_C}{L}, \quad (5)$$

$$\frac{d\Theta}{dx} = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{L}, \quad (6)$$

где S_B – ТЭС электрода В термопары ТП1,

S_c – ГЭС в нижней зоне области сварки термопары ТП1,

L – длина области сварки.

Таким образом, подставляя (3), (4), (5), (6) в (2) получаем:

$$dU = \left[\frac{\Theta_1 - \Theta_2}{L} \left(S_c + \frac{S_B - S_c}{L} x \right) + \frac{S_B - S_c}{L} \left(\Theta_2 + \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{L} x \right) \right] dx.$$

Следовательно, напряжение на области сварки составляет:

$$U_c = \int_0^L dU = S_c(\Theta_1 - \Theta_2) + \Theta_2(S_B - S_c) + (S_B - S_c)(\Theta_1 - \Theta_2). \quad (7)$$

В соответствии с рис.2 (а) прибор PV2 показывает напряжение

$$\begin{aligned} U_2 = S_B(\Theta_0 - \Theta_1) + U_c + S_{II}(\Theta_2 - \Theta_0) \Rightarrow \\ \Rightarrow U_c = U_2 - S_B(\Theta_0 - \Theta_1) - S_{II}(\Theta_2 - \Theta_0) \end{aligned} \quad (8)$$

где Θ_0 – температура окружающей среды,

S_{II} – ГЭС пластины, определенная по способу, предложенному в [2].

Приравнявая левые и правые части выражений (7) и (8) получаем:

$$S_c = \frac{-U_2 + S_B(\Theta_0 - \Theta_1) + S_{II}(\Theta_2 - \Theta_0) + S_B\Theta_1}{\Theta_2}$$

Таким образом, описанный метод позволяет при указанных допущениях определить ГЭС нижней зоны области сварки.

В связи с неполной идентичностью областей сварки для повышения точности измерения целесообразно повторить опыт, поменяв местами термопары ТП1 и ТП2, чтобы нагревательное устройство располагалось над термопарой ТП2, а полустественная термопара образовывалась областью сварки этой термопары и материалом пластины и затем принять ГЭС нижней зоны области сварки термопары равной среднему из полученных значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в твердых телах в процессах и деформации и разрушения [Текст] – П. А. Ребиндер, Е.Д. Щукин/ Успехи физических наук. - 1972. – т. 108 – в. 1 – С. 3-39.
2. Углова Н. В. Исследование погрешности определения термоэлектрической способности материала методом полустественной термопары [Текст] // Н. В. Углова, О. Г. Середина/ Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение. - 2005. – №2. – С. 7-14.

Коридорф Сергей Фердинандович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл

Доктор технических наук, профессор кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

Тел. (0862)419876

E-mail: pms@ostu.ru

Середина Ольга Григорьевна

Орловский государственный технический университет, г. Орёл

Аспирант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

Тел. (0862)419876

E-mail: pms@ostu.ru

В.Г. ЛИСИЧКИН, С.Н. ШВЕДОВ

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ ИЗМЕРЕНИЙ

Для повышения точности цифровых влагомеров, применяемых для измерения влажности различных материалов, предлагается использовать способ контроля, основанный на двухтактной развертке частоты возбуждающего сигнала емкостного преобразователя, что позволяет снизить погрешность от «сноса» резонансной частоты.

To increase accuracy of water content measuring devices, used for metering water content of various materials, the application of control technique, based on the push-pull frequency sweep of the capacitor converter exciting signal is offered, that allows to lower resonant frequency shift error.

Влага является одним из обязательных компонентов всех живых организмов на земле, окружающей нас биосферы, а также большинства материалов, используемых человеком. Почти во всех отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, энергетике и строительстве применяются процессы сушки и увлажнения, предназначенные для изменения влажности материалов. Поэтому практически необходимо количественное определение их влажности.

Существует большое разнообразие методов измерения влажности и схем влагомеров, среди которых значительную часть составляют диэлькометрические методы. В основе этих методов лежит зависимость относительной диэлектрической проницаемости контролируемых материалов от их влажности. Емкостный датчик, являющийся элементом некоторой резонансной системы, заполняется влажным материалом. При изменении влажности меняется диэлектрическая проницаемость, пропорционально изменяется емкость датчика и ряд параметров резонансной системы (амплитуда, частота и фаза), которые можно измерить и получить информацию о количестве влаги в контролируемом материале.

Точность измерений может определяться самыми разными компонентами. Заметный вклад в формирование погрешности при измерении влажности вносит зависимость результата от ряда неконтролируемых параметров – электропроводности материала, его минерального состава и плотности, температуры и других факторов, неизбежно сопутствующих таким измерениям. Существует много способов, позволяющих в какой-то мере ослабить влияние перечисленных факторов. Наиболее значимым из них является использование методов параметрической модуляции [1], когда измерительная цепь оказывается под воздействием двух сигналов. Один из них – рабочий – несет как полезную, так и избыточную информацию, а второй – управляющий – только меняет условия прохождения первого сигнала через схему. Изменение условий прохождения рабочего сигнала означает, что в передаточную функцию цепи вводится какой-то новый параметр, значение которого можно изменять произвольно, независимо от значений искомой переменной. Задавая параметру разделения различные значения, можно избавиться от паразитных влияний и получить истинное значение измеряемой влажности.

Широкое распространение в практических схемах влагомеров находит линейная частотная модуляция (ЛЧМ). Общий принцип работы таких устройств заключается в следующем. Емкостный датчик является элементом измерительного двухполюсника с модулируемыми параметрами. При изменении контролируемой влажности меняется емкость датчика, пропорционально которой изменяются параметры высокочастотного сигнала на выходе измерительного двухполюсника – его амплитуда, частота или фаза. От генератора пилообразного напряжения подают управляющий сигнал на варикап и изменяют резонансную частоту измерительного двухполюсника до ее совпадения с частотой высокочастотного генератора (достижение баланса за счет ЛЧМ). Влажность

контролируемых материалов определяется по измеренным значениям отклонений амплитуды, частоты или фазы от номинальных значений [2-4].

Точность существующих измерительных устройств ограничивается тем, что при линейном изменении частоты возбуждающего сигнала f_B измерительного двухполосника возникает погрешность от "сноса" $\Delta f_p \approx V_f T_K$ его резонансной частоты. Эта динамическая погрешность зависит как от скорости развертки частоты V_f [кГц/с], так и от постоянной времени измерительного двухполосника $T_K = Q/\pi f_p$, возрастающей пропорционально его добротности Q .

Кроме этого, при контроле влажности материалов с повышенной проводимостью резко уменьшается добротность измерительного двухполосника, что приводит к повышению погрешности выделения экстремума. При увеличении проводимости ухудшается форма резонансной характеристики измерительного двухполосника, которая становится более широкой и пологой, а ее максимум – расплывчатым. Это не позволяет обеспечить точное определение максимума амплитуды колебаний, вследствие чего значительно увеличивается общая погрешность измерения влажности.

Для устранения перечисленных эффектов предлагается изменить способ реализации ЛЧМ и методику измерений. Сущность предлагаемых технических решений можно пояснить по рисунку 1, на котором приведена структурная схема устройства диэлькометрического измерения влажности.

В схеме влагомера применены емкостный датчик (Д) и измерительный двухполосник (ИД), содержащий конденсатор C и катушку индуктивности L . К выходу двухполосника подключены амплитудный детектор (АД) и формирователь импульсов (ФИ), выход которого соединен с входом блока обработки данных (БОД) и с D -входом триггера (Т), выполняющего функцию фазового компаратора. На C -вход триггера подаются импульсы от управляемого высокочастотного генератора (УГИ). Этот генератор через управляемый делитель напряжения (УДН) и разделительный конденсатор C_p соединен со средней точкой катушки индуктивности L измерительного двухполосника. Выход D -триггера подключен ко второму входу блока обработки данных. Источник опорных напряжений (ИОН) имеет выходы с напряжениями противоположной полярности, которые подключены к двум входам аналогового коммутатора (АК), третий вход которого соединен с нулевой цепью. К управляющему входу коммутатора подключен первый выход блока обработки данных, а выход АК соединен с сигнальным входом интегратора (ИНТ). Управляющий вход интегратора соединен со вторым выходом БОД, а выход интегратора подключен к управляющему входу УГИ. Первый вход дифференциального усилителя (ДУ) подключен к источнику опорных напряжений, второй вход ДУ соединен с выходом амплитудного детектора, а выход дифференциального усилителя соединен с управляющим входом делителя напряжения (ДН). Информация с выхода блока обработки данных БОД выводится на цифровой индикатор (ЦИ).

Работа схемы влагомера осуществляется следующим образом.

В начале цикла измерения по командам блока обработки данных устанавливаются в исходные состояния аналоговый коммутатор и интегратор. Опорное напряжение U_{O1} с первого выхода ИОН через коммутатор подается на вход интегратора, выходное напряжение которого линейно повышается во времени по закону $U_{\text{ИНТ}}(t) = U_{O1}t / T$ со скоростью нарастания $V_1 = U_{O1}/T$, зависящей от постоянной времени T интегратора. Напряжение $U_{\text{ИНТ}}$ поступает на управляющий вход УГИ, и пропорционально этому напряжению увеличивается частота f_i импульсов до тех пор, пока она не сравняется с резонансной частотой LC -контура f_p , которая зависит от емкости датчика C_X , а значит, и от влажности контролируемого материала. При совпадении резонансной частоты LC -контура с частотой f_i импульсов УГИ в контуре возникает явление резонанса. Чем меньше емкость датчика C_X и, соответственно, влажность материала, тем больше будет резонансная частота и, соответственно, частота импульсов на выходе управляемого генератора, и наоборот.

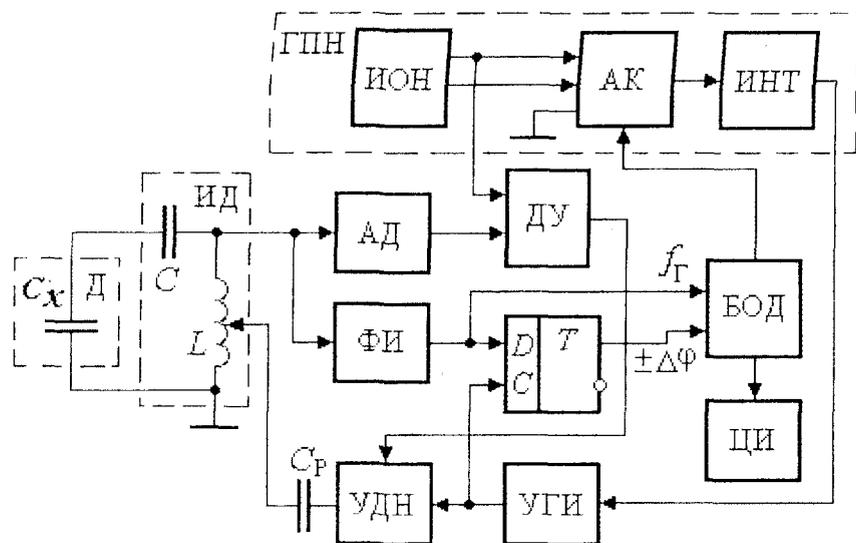


Рисунок 1 – Структурная схема влагомера

При возбуждении высокочастотными импульсами УГИ измерительного двухполюсника на его выходе формируется гармонический сигнал благодаря избирательным свойствам LC -контура. Этот гармонический сигнал преобразуется формирователем ФИ в последовательность прямоугольных импульсов, которые поступают на D -вход триггера и сравниваются по фазе с выходными импульсами УГИ, т. е. D -триггер выполняет функцию фазового компаратора.

Амплитуда выходного сигнала измерительного двухполюсника стабилизируется на уровне $U_{2MAX} \approx U_{O1}$ за счет применения амплитудного детектора, дифференциального усилителя и управляемого делителя напряжения. Так как сопротивление LC -контура ИД зависит от частоты, то при приближении частоты $f_Г$ возбуждающих импульсов к частоте резонанса $f_Р$ его сопротивление увеличивается, поэтому повышается напряжение на выходе амплитудного детектора. При этом изменяется выходной сигнал дифференциального усилителя, пропорциональный разности выходного сигнала АД и опорного напряжения U_{O1} , который подается на управляющий вход делителя напряжения УДН для уменьшения амплитуды импульсов, возбуждающих LC -контур. Вследствие этого амплитуда выходного сигнала измерительного двухполюсника практически не изменяется в диапазоне измерения влажности. До тех пор, пока частота $f_{Г1}$ формируемых генератором импульсов не превышает резонансной частоты $f_Р$ LC -контура ($f_{Г1} < f_Р$), разность фаз между выходными и входными сигналами LC -контура остается положительной $\Delta\phi > 0$. При равенстве частот $f_{Г1} = f_Р$ фазовый угол ϕ переходит через нулевое значение ($\Delta\phi = 0$) и при дальнейшем повышении частоты $f_{Г1} > f_Р$ фаза становится отрицательной ($\Delta\phi < 0$).

В процессе увеличения частоты $f_{Г1}$ в момент времени равенства частот $f_{Г1} \approx f_Р$ срабатывает D -триггер и переключается из единичного логического состояния в нулевое состояние (переход "1" \rightarrow "0"). После срабатывания этого триггера начинается второй такт преобразования, в котором блок обработки данных переводит аналоговый коммутатор во второе положение. При этом на вход интегратора подается от источника ИОН небольшое отрицательное напряжение, составляющее $U_{O2} \approx -U_{O1}/100$, под воздействием которого выходное напряжение интегратора медленно уменьшается по линейному закону. Это приводит к медленному уменьшению частоты импульсов на выходе высокочастотного управляемого генератора относительно предыдущего значения $f_{Г1}$.

Процесс понижения частоты импульсов продолжается до тех пор, пока D -триггер снова не переключится в исходное состояние (переход "0" \rightarrow "1"), после чего второй такт преобразования заканчивается.

После срабатывания D -триггера блок обработки данных выдает команду на АК, через

который вход интегратора соединяется с нулевой цепью. При этом интегратор переводится в режим запоминания, его выходное напряжение $U_{\text{инт}}$ не изменяется, поэтому частота импульсов на выходе УГИ также остается постоянной и практически равной резонансной частоте LC -контура измерительного двухполосника, т. е. $f_{12} = f_p$. Частота f_{12} измеряется блоком обработки данных на интервале времени $T_{\text{изм}} = n/f_c$, кратном одному или нескольким периодам сетевой частоты $T_c = 1/f_c = 20$ мс (при $n = 1, 2, \dots, 10$).

После окончания такта измерения $T_{\text{изм}}$ блок обработки данных подает команду на управляющий вход интегратора, устанавливая его в нулевое состояние. На этом цикл измерения завершается.

По результату цифрового измерения частоты $N_f = T_{\text{изм}} \cdot f_{12}$ в блоке обработки данных вычисляется влажность контролируемого материала, значение которой выводится на цифровой индикатор.

Повышение точности измерения влажности в предлагаемом устройстве обеспечивается тремя факторами.

Во-первых, применение двухтактного преобразования с изменением скорости развертки частоты импульсов УГИ в соседних тактах преобразования позволяет исключить погрешность от "сноса" частоты резонанса Δf_p . Например, при возбуждении LC -контура, имеющего частоту резонанса $f_p = 1$ МГц и добротность $Q = 100$, прямоугольными импульсами со скоростью развертки частоты $V_f = 10$ кГц/с "снос" частоты составит $\Delta f_p \approx V_f T_k = V_f Q / \pi f_p \approx 3$ Гц, что пренебрежимо мало по сравнению со значением частоты f_p .

Во-вторых, в данном устройстве выделение резонансной частоты реализуется не по амплитудным значениям, а по фазе, что позволяет повысить точность за счет высокой крутизны спада фазочастотной характеристики LC -контура измерительного двухполосника вблизи его резонансной частоты.

Например, при добротности LC -контура $Q = 20$ изменение его частоты на $\Delta f_p / f_p = \pm 0,2\%$ относительно резонансной f_p приводит к изменению фазы от $+4,5^\circ$ до $-4,5^\circ$, а амплитуда сигнала понижается всего на $0,3\%$ относительно максимального значения. При изменении частоты до $\Delta f_p / f_p = \pm 0,5\%$ фаза изменяется в диапазоне $\pm 11^\circ$, а амплитуда понижается примерно на $1,9\%$, и т. п.

В-третьих, за счет стабилизации амплитуды выходного сигнала измерительного двухполосника значительно уменьшается влияние фазовой погрешности формирователя импульсов на точность измерения влажности.

Учитывая, что зона нечувствительности фазового компаратора на D -триггере не превышает значения $\Delta \varphi < \pm 1^\circ$, то применение предлагаемого технического решения позволяет снизить погрешность выделения резонансной частоты до сотых долей процента и тем самым значительно повысить точность измерения влажности по сравнению с известными влагомерами.

При макетировании схемы влагомера формирователь импульсов и триггер собраны на микросхемах быстродействующей серии КР1564, а аналоговый коммутатор – на микросхеме К561КП. Высокочастотный управляемый генератор реализован на микросхеме типа КР1108ШШ, в источнике опорных напряжений применена микросхема КР142ЕН15А. Интегратор и дифференциальный усилитель собраны на микросхемах КР140УД12. Управляемый делитель напряжения выполнен по Γ -образной схеме на резисторе и полевом транзисторе КП303Г. В блоке обработки данных применен микроконтроллер АТ89С852, к которому подключен цифровой индикатор типа ИЖКЦ-14/7.

Дополнительным достоинством предлагаемого устройства является универсальность его применения для высокоточного измерения влажности различных материалов, в том числе и влажности почвы, поэтому данная схема может быть использована в разных областях народного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кричевский Е.С., Бензарь М.В., Венедиктов М.В. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов. М.: Энергия, 1980. – 240 с.
2. А.с. СССР №529407, кл. G 01 N 27/22. Автоматический электронный влагомер / В.С. Ройфе. Оpubл. 25.09.1976.
3. А.с. СССР № 798635, кл. G 01 N 27/22. Автоматический электронный влагомер / Е. П. Шамарин, Л. М. Проскуряков, Н. С. Снигирева. Оpubл. 23.01.1981.
4. А.с. СССР № 1392478, кл. G 01 N 27/22. Автоматический электронный влагомер / И. Г. Виноградов, Е. П. Шамарин. Оpubл. 30.04.1988.

Лисичкин Владимир Георгиевич

Академия ФСО России, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Радиотехника и электроника»

Тел. (4862) 47-00-96

E-mail: lisichkin@rekom.ru

Шведов Сергей Николаевич

Академия ФСО России, г. Орел

Преподаватель кафедры «Радиотехника и электроника»

Тел. (4862) 43-14-00

УДК 620.1.08 + 62-971.4

ЛУНИН М.В., КОСТИН М.С., МЕДВЕДЕВА А.Ю.

МЕТОД И СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ

В статье рассмотрены основные положения разработки метода и средства контроля температуры вязких жидкостей. Принцип измерения основан на контроле параметров естественного движения пузырька газа в вязкой среде. Приводятся результаты теоретического исследования с выводами расчётных соотношений для проведения измерения по алгоритму. Приводятся требования к процессу измерения и конструктивным особенностям измерительной юветы. Приводятся средство измерения временного интервала прохождения пузырьком участка среды, с учётом определения положения центра пузырька.

In article substantive provisions of working out of a method and a control device of temperature of viscous liquids are considered. The measurement principle is based on the control of parameters of natural movement of a vial of gas in the viscous environment. Results of theoretical research with conclusions of settlement parities for measurement carrying out on algorithm are resulted. Requirements to process of measurement and design features measuring ditches are led. Are resulted a gauge of a time interval of passage by a vial of a site of environment, with the account of definition of a material point in the vial centre.

АКТУАЛЬНОСТЬ И ПОСТАНОВКА ГИПОТЕЗЫ

В современной промышленности все более строгие требования предъявляются к точности измерения параметров технологических процессов вообще и температуры вязкой среды в частности. Известно большое многообразие измерительных преобразователей температуры, работающих на различных принципах и применяемых в различных производственных системах, например термомпара и терморезистор. Однако, их применение в ряде случаев является затруднительным из-за процессов старения и изменения чувствительности преобразователя. Например, использование термомпары неэффективно из-

за необходимости стабилизации конца термопары, применение термистора требует использования мостовой схемы включения и источника стабильного напряжения.

Из гидродинамики известно, что скорость перемещения материальной точки в среде зависит от вязкости этой среды. При этом, вязкость среды является функцией зависящей от температуры среды.

Предлагаемое устройство измерения температуры вязких сред относится к приборостроению, а именно к области технологии пищевой промышленности, и может быть использовано, например, при контроле и управлении технологическими процессами на предприятиях пищевой промышленности для оценки температуры вязкости жидких оптически прозрачных растворов, суспензий и сред, а так же при проведении научно-исследовательских работ.

При проведении исследования, была выдвинута гипотеза, о возможности создании средства измерения температуры среды основанного на явлении барботажа газа в вязкой жидкости. При этом, пузырёк газа формируется естественным путем на границе раздела жидкой и газообразной фазы, осуществляется измерение времени прохождения пузырьком определенных участков вязкой среды, что позволяет контролировать динамическую вязкость жидкости и определять температуру жидкости, по вязкостно-температурной зависимости (для данной жидкости), каждый раз при подъёме пузырька [1].

ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ

На рисунке 1 приведена упрощённая гидродневматическая схема, реализующая принцип измерения в соответствии с предложенной гипотезой.

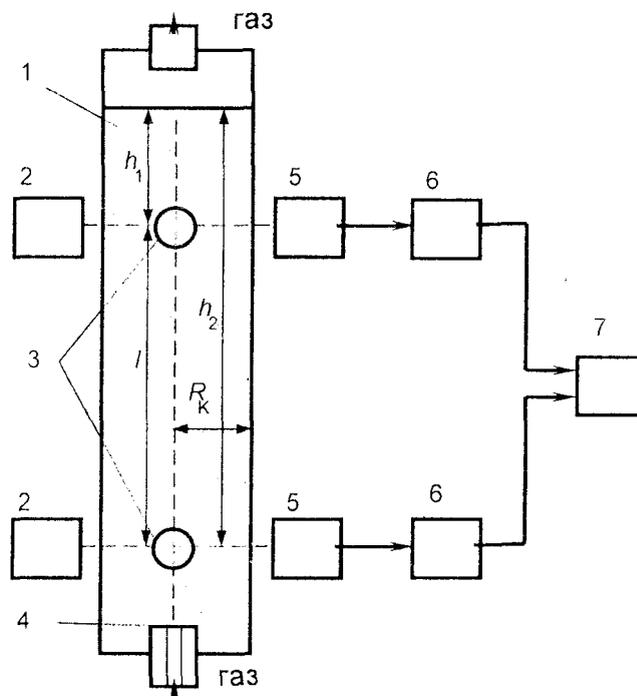


Рисунок 1 - Гидродневматическая схема устройства обеспечивающего контроль температуры жидкости

R_k – радиус кюветы; h_1 и h_2 - глубины залегания второй и первой оптических линий соответственно, относительно уровня жидкости в кювете.

В соответствии с рисунком 1, газ через сопло 4 поступает в цилиндрическую кювету 1, заполненную вязкой жидкостью. У края сопла, на границе между жидкостью и газом, под действием давления газа, образуется пузырек, который перемещается вдоль оси цилиндрической кюветы. Контроль скорости прохождения пузырька в вязкой среде

осуществляется с помощью оптических преобразователей, измеряя время смещения следования импульсов, поступающих от фотоприемников 5. При движении пузырьки газа уменьшают слой жидкости, которая является непрозрачной средой между источником света 2 и фотоприемником 5. Изменение слоя приводит к образованию импульсов, поступающих на измерительные каналы, построенные на компараторах напряжения 6. Импульсы, получаемые в вершинах пройденных участков, формируют временной интервал, длительность которого и является измерительной информацией, поступающей на вычислительное устройство 7. В 7 осуществляется вычисление значения динамической вязкости η и определение значения температуры t по номограмме $\eta(t)$, предварительно записанной в 7.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЁТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Рассмотрим подробно процессы и явления, возникающие при реализации процесса барботажа [2]. Если капилляр погрузить одним концом в жидкость, налитую в широкий сосуд, то под искривленной поверхностью жидкости в капилляре давление будет отличаться от давления под плоской поверхностью в сосуде на определенную величину [3].

Следует заметить, что движение пузырька будет сложным, в начальный момент скорость мала, поэтому примем её равной нулю, а затем скорость начнет увеличиваться, и пузырёк будет двигаться с ускорением.

Скорость движения пузырька определим с помощью уравнения:

$$v(t) = v_0 \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right), \quad (1)$$

где v_0 - предельное значение скорости пузырька при равномерном движении;

$\tau = \frac{(D_{\text{пуз}})^2 \cdot \rho_f}{18 \cdot \eta}$ - постоянная времени ($D_{\text{пуз}}$ - диаметр пузырька, η - динамическая вязкость при нормальных условиях).

Для вычислений значения динамической вязкости, была получена формула определения динамической вязкости от времени перемещения материальной точки в цилиндрическом объёме вязкой среды:

$$\eta(t) = \frac{(p_1 - p_2) \cdot R_K^2}{4 \cdot l \cdot v_0 \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right)}, \quad (2)$$

где $(p_1 - p_2)$ - разность давлений на глубинах h_1 и h_2 соответственно;

R_K - радиус кюветы;

l - время прохождения пузырьком всего пути l ;

Зависимость динамической вязкости от температуры определяется формулой:

$$\eta(T) = \eta_0 \cdot \exp\left[\frac{E}{R \cdot T}\right], \quad (3)$$

где η_0 - множитель, не зависящий от температуры;

R - постоянная Больцмана;

E - энергия активации вязкого течения.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ КЮВЕТЫ

Конструктивно диаметр сопла выбирается исходя из априорной информации об устройстве, осуществляющем накачку газа в сопло. Промежуток времени между пузырьками, проходящими в жидкости должен быть таким, что бы предыдущий пузырёк газа, в момент отрыва от сопла текущего пузырька, успевал достичь поверхности жидкости и выйти из неё. Таким образом, расчетная формула определения диаметра сопла имеет вид:

$$D_S = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} \cdot Q_{MAX} \cdot t_{ИЗМ}} \quad (4)$$

где: $t_{ИЗМ}$ - промежуток времени между текущим и предыдущим пузырьками;

Q_{MAX} - предположительная максимальная величина объёмного расхода газа.

Величина диаметра кюветы, в соответствии с расчётным соотношением (2), принимается исходя из понятия «много больше» ($K = 10...1000$). Тогда формула для расчёта диаметра кюветы имеет вид:

$$D_K = D_S \cdot K \quad (5)$$

Рассмотрим конструктивные особенности измерительной системы связанные с уровнями расположения оптических линий контроля перемещения пузырька-маркёра.

Следует напомнить, что скорость движения пузырька, в соответствии с (1):

$$v = v_0 - v_0 \cdot \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что множитель $\exp\left(\frac{-t}{\tau}\right)$, стоящий после значения величины скорости v_0 является поправочным и фактически играет роль погрешности измерения скорости перемещения пузырька с газом в вязкой среде.

Исходя из этого, запишем выражение погрешности измерения скорости:

$$\delta_{v_0} = \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \quad (7)$$

Далее, зададимся точностью с которой мы хотим измерить скорость движения пузырька. Введём величину Δv_0 , которая соответствует погрешности измерения скорости.

Тогда, запишем ещё одно выражение для погрешности измерения скорости:

$$\delta_{v_0} = \frac{\Delta v_0}{v_0} \quad (8)$$

Учитывая выражения (7) и (8), запишем:

$$\exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) = \frac{\Delta v_0}{v_0} \quad (9)$$

Перепишем (9) учитывая, что $t = \frac{l}{v_0}$, тогда получим:

$$\exp\left(\frac{-l}{\tau \cdot v_0}\right) = \frac{\Delta v_0}{v_0} \quad (10)$$

Преобразуем (10), получим:

$$l = v_0 \cdot \tau \cdot \ln\left(\frac{v_0}{\Delta v_0}\right) \quad (11)$$

Формула (11) предназначена для определения уровней расположения оптических линий вдоль оси цилиндрической кюветы. Анализ выражения (1) показывает, что при

$t \rightarrow +\infty$, величина $\exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \rightarrow 0$, так как $\tau = const$ и $\tau < t$. Кроме того, исходя из анализа и

экспериментальных данных, пузырёк разгоняется до скорости равномерного движения достаточно быстро. Поэтому выражение (2) перепишем:

$$\eta(t) = \frac{(p_1 - p_2) \cdot R_K^2 \cdot t}{4 \cdot l^2} \quad (12)$$

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА И АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Температуру вязкой среды, на этапе научно-исследовательской работы, определяют с помощью информационно-измерительных комплексов (далее – ИВК). ИВК – совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, объединенных в единую функциональную систему, обеспечивающую измерение температуры вязкой среды в рабочих условиях, приведение измеренных значений к стандартным условиям.

В общем случае в состав ИВК для измерения температуры входят:

- цилиндрическая кювета, заполненная вязкой жидкостью, с соплом, расположенном в основании цилиндра;
- оптические линии, состоящие из источников света и фотоприёмников, расположенные вдоль оси цилиндра;
- трубопровод для подачи и вывода газа;
- измерительная цепь, подключённая к фото-преобразователям для контроля параметров движения пузырька-маркёра;
- средства автоматической обработки и регистрации информации для вычисления температуры.

Учитывая расчётные соотношения, разработан общий алгоритм измерения, основанный на выполнении следующих пунктов:

- 1) выбор жидкости используемой для барботажа (определение её вязкостно-температурных характеристик);
- 2) определение конструктивных особенностей информационно-измерительного комплекса;
- 3) измерение значения параметра времени t при движении пузырька-маркёра вдоль оси цилиндра вязкой среды на определённом участке его подъёма;
- 4) вычисление значения динамической вязкости η по соотношению (2);
- 5) определение значения температуры по полученной вязкостно-температурной зависимости (14).

ВЯЗКОСТНО-ТЕМПЕРАТУРНАЯ КРИВАЯ ДЛЯ ЖИДКОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ КЮВЕТЫ

Из источника справочных данных [2, 4] известны значения динамической вязкости для глицерина в диапазоне температур от 20 до 50⁰C. Таким образом, кривая работоспособности барботажной системы для глицерина представлена на рисунке 2.

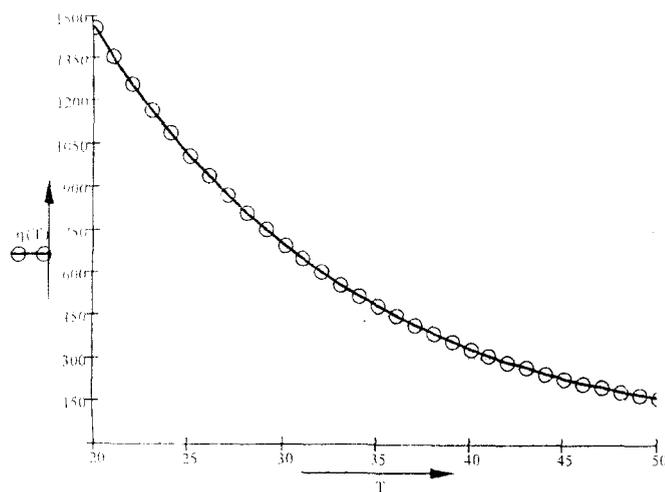


Рисунок 2 - График зависимости динамической вязкости от температуры для глицерина

Уравнение регрессии для данных на рисунке 2, полученное по методу наименьших квадратов с применением операции линеаризации, имеет вид:

$$\eta(T) = (6363.3296) \cdot (0.9290164)^T. \quad (13)$$

С учетом (12) и (13), запишем формулу зависимости температуры от времени перемещения пузырька:

$$T(t) = \log_B \left(\frac{(p_1 - p_2) \cdot R_K^2 \cdot t}{4 \cdot l^2 \cdot (A)} \right), \quad (14)$$

где $A = 6363.3296$; $B = 0.9290164$.

Следует заметить, что возможно создание экспериментальной установки, основанной на предложенном принципе измерения, для исследования вязкостно-температурных характеристик оптически прозрачных жидкостей.

ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПУЗЫРЬКА-МАРКЁРА

При подъёме пузырька газа с глубины, давление столба жидкости, действующего на него, будет уменьшаться. Что приведёт к увеличению объёма газа и расширению пузырька. По этой причине, разработана измерительная цепь, позволяющая определять время перемещения точки, расположенной между верхним и нижним менисками пузырька-маркёра.

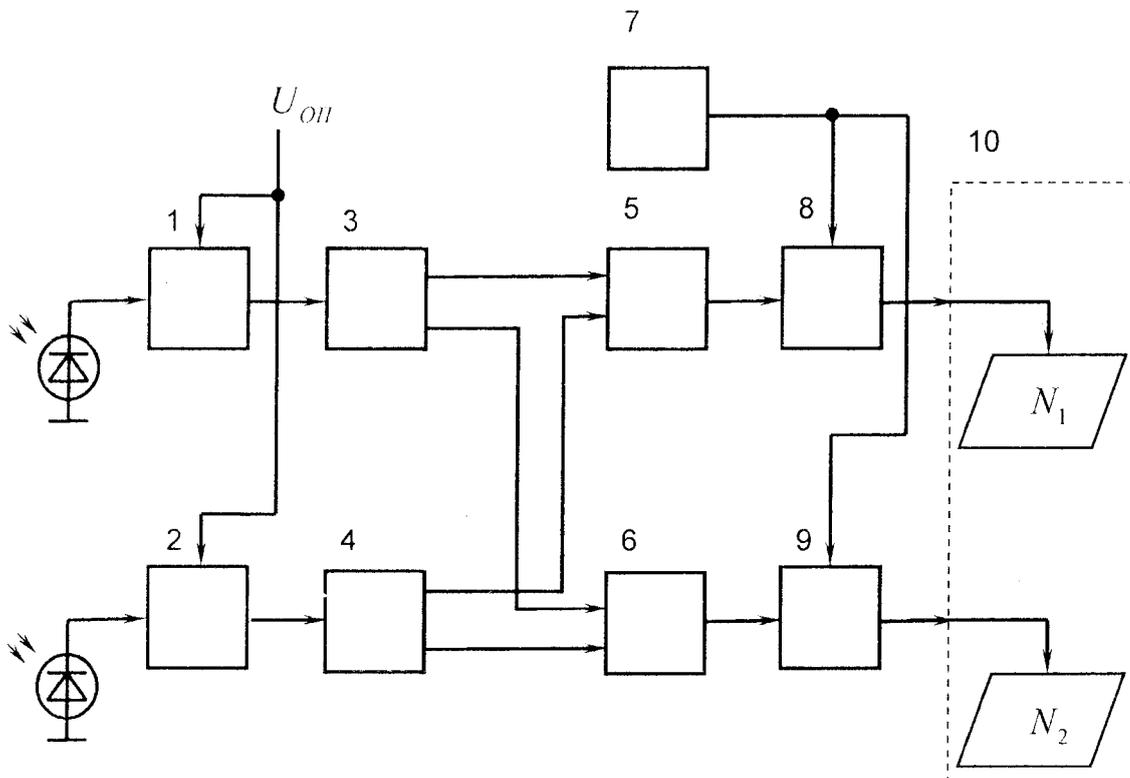


Рисунок 3 – Функциональная схема устройства измерения временного интервала движения пузырька-маркёра

Импульсы от фотодиодов поступают на компараторы напряжения 1 и 2. При срабатывании компараторов на выходе формируются импульсы ТТЛ логики. Далее импульсы поступают на формирующие цепи 3 и 4, на выходе которых, образуются короткие импульсы, соответствующие началу и окончанию процесса засветки светодиода при прохождении пузырька.

Сформированные короткие импульсы поступают на триггеры 5 и 6, на выходах которых формируются импульсы, длительность которых равна времени смещения коротких

импульсов полученных от вершин менисков и оснований менисков, соответственно, при засветке фотодиодов.

Импульсы определённой длительности управляют ключами 8 и 9, после которых формируются последовательности импульсов частотой F , поступающих от генератора 7. Последовательности импульсов поступают и запоминаются в вычислительном устройстве 10. Искомое время прохождения пузырька определяется по формуле:

$$t = \left(\frac{N_1 + N_2}{2} \right) \cdot \frac{1}{F}. \quad (15)$$

Следует заметить, что точность измерения, временных интервалов движения пузырька-маркёра средством по схеме на рисунке 3, зависит от частоты F тактовых импульсов.

ВЫВОДЫ

1. Разработан метод измерения температуры вязких жидкостей путём контроля реологических параметров барботажной жидкости, основанный на использовании принципа измерения времени прохождения пузырьком определенных участков вязкой среды.

2. Предлагаемое средство контроля прохождения пузырька-маркёра (по рисунку 3) в цилиндрическом объёме жидкости осуществляет измерение времени прохождения точки, расположенной между вершиной и основанием пузырька, при движении вдоль траектории подъёма, между вершинами уровней залегания оптических линий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарев Г.С., Мальцев В. С. Дискретный метод измерения малых объемов газа. [Текст] / Измерительная техника. 1970. № 5. С. 102-103.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. [Текст] / Т. 1. М, 1970. – 512 с.
3. Луний М.В. Модельное исследование параметров пузырькового расходомера. [Текст] / М.В. Луний. – Известия ОрелГТУ. – № 1/269(544), 2008г., – С. 80 – 85.
4. Матвеев А.И. Молекулярная физика. [Текст] / 2-е издание, переработанное, дополненное М.: Высшая школа 1987. – 360с.

Луний Максим Викторович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
аспирант, ассистент кафедры «Приборостроения метрологии и сертификации»

Тел. (0862) 419876

E-mail: pms35@ostu.ru

Костин Максим Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
студент группы 51-ИД кафедры «Приборостроения метрологии и сертификации»

Тел. (0862) 419876

E-mail: pms35@ostu.ru

Мелведева Анастасия Юрьевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
студентка группы 41-БИ кафедры «Приборостроения метрологии и сертификации»

Тел. (0862) 419876

E-mail: pms35@ostu.ru

И.А. ХУДОТЁПЛОВ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТОРЦОВОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ ТРАДИЦИОННОГО ИСПОЛНЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

В этой статье рассмотрен сравнительный анализ торцового асинхронного электродвигателя и двигателя традиционной цилиндрической конструкции в динамических режимах работы с помощью пакета LabVIEW. Показаны преимущества и перспективы использования торцовых двигателей в качестве приводов автоматических устройств.

In this article the comparative analysis of the disk asynchronous electric motor and the engine of a traditional cylindrical design in dynamic operating modes by means of software LabVIEW is considered. Advantages and prospects of use of disk motors as drives of automatic devices are shown.

В настоящее время из выпускаемых асинхронных электродвигателей (АД) традиционной цилиндрической конструкции широкое распространение получили общепромышленные серии 4А, 5А, 6А, РА, АИ. В то же время многочисленные публикации свидетельствуют о том, что активно ведется исследование электрических машин торцовой конструкции [1-3]. В связи с этим, целью данной статьи является проведение сравнительного анализа работы АД традиционной конструкции и торцового асинхронного электродвигателя (ТАД) в некоторых динамических режимах разнообразных автоматических устройств (пуск, динамическое торможение и противовключение в функции времени и скорости).

В качестве исследуемых двигателей были взяты АД цилиндрической конструкции, номинальная активная мощность которого $P_n = 120$ Вт, номинальное напряжение $U_n = 127$ В, частота вращения $n = 1000$ об/мин и ТАД с параметрами $P_n = 0,2$ кВт, $U_n = 220$ В, частота вращения $n = 1000$ об/мин. В ходе эксперимента на обмотки статоров ТАД и АД подавалось фазное напряжение 127 В.

В качестве инструмента для сбора, обработки и представления экспериментальных данных, а также непосредственного управления экспериментом был выбран инженерный пакет LabVIEW [4], представляющий собой среду графического программирования, которая широко используется в промышленности, образовании и научно-исследовательских лабораториях. LabVIEW является мощным инструментом программирования, пригодным для решения различных задач, например компьютерного моделирования. Данный пакет был выбран в качестве измерительного комплекса для сбора экспериментальных данных и управления приборами и установками благодаря ряду существенных преимуществ, к основным из которых относятся:

- повышенная производительность системы, которая сокращает время измерения, тестирования и увеличивает функциональные возможности;
- точное хронометрирование и синхронизация, повышающие измерительные возможности системы.

Для осуществления сравнительного анализа работы двигателей были поставлены следующие задачи:

- 1) разработка виртуальных приборов Labview для сбора, обработки и хранения экспериментальных данных;
- 2) исследование прямого пуска ТАД и АД;
- 3) исследование различных видов торможения ТАД и АД;
- 4) измерение ряда электрических и механических величин, в частности, времени прямого пуска, а также естественного и электрического торможений ТАД и АД, вращающие моменты, фазные токи, угловая скорость вращения вала, броски токов и моментов.

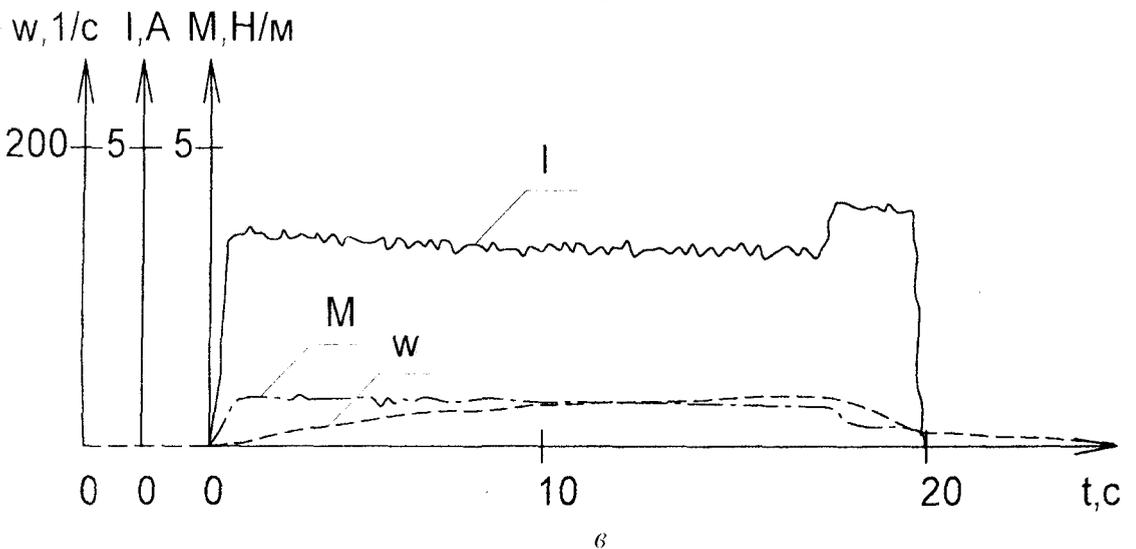
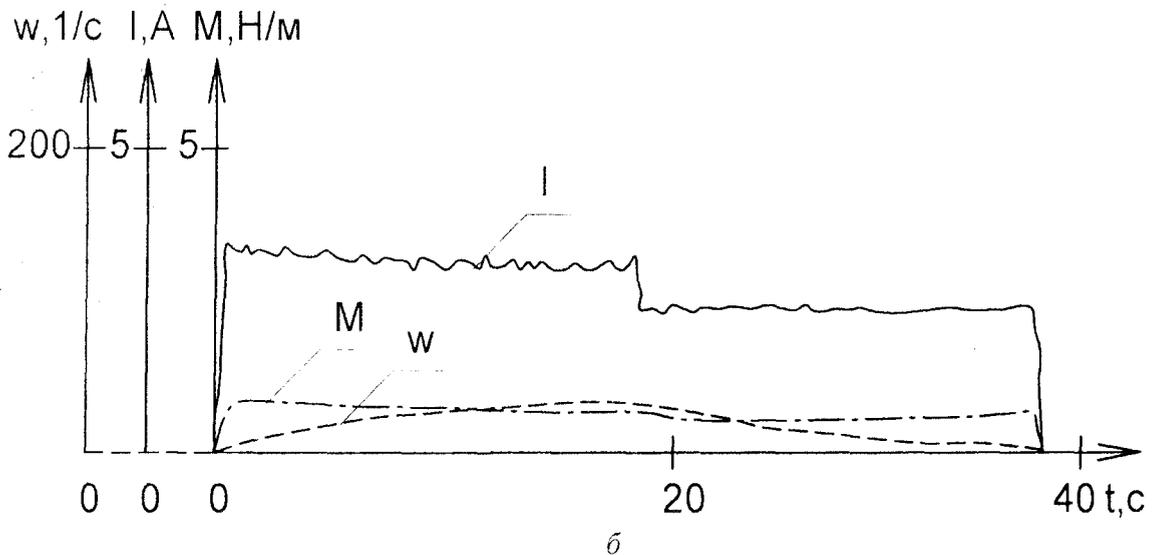
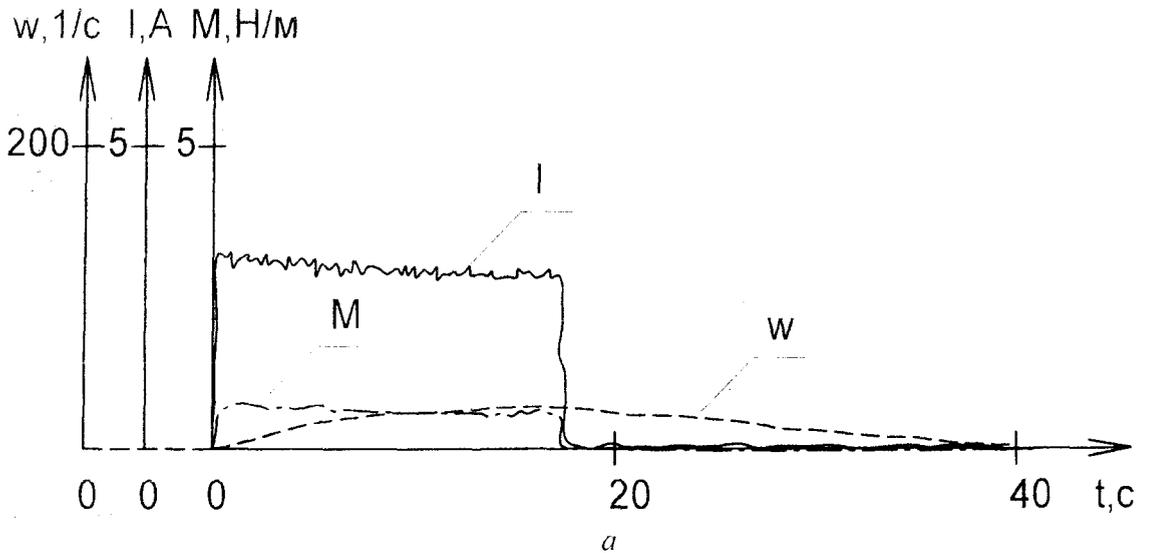


Рисунок 1 – Характеристики работы ТАД в автоматических режимах:
 а - прямой пуск и естественное торможение ТАД; б - прямой пуск и динамическое торможение ТАД; в - прямой пуск и торможения ТАД противовключением.

В ходе экспериментов были получены графики переходных режимов работы ТАД и АД цилиндрической конструкции (угловая скорость $w(t)$, фазный ток $I(t)$ и момент $M(t)$). На

рисунке 1 представлены характеристики работы ТАД в режимах пуска, динамического торможения в функции времени и торможения противовключением в функции скорости.

Аналогичные характеристики, но для АД традиционной цилиндрической конструкции представлены на рисунке 2.

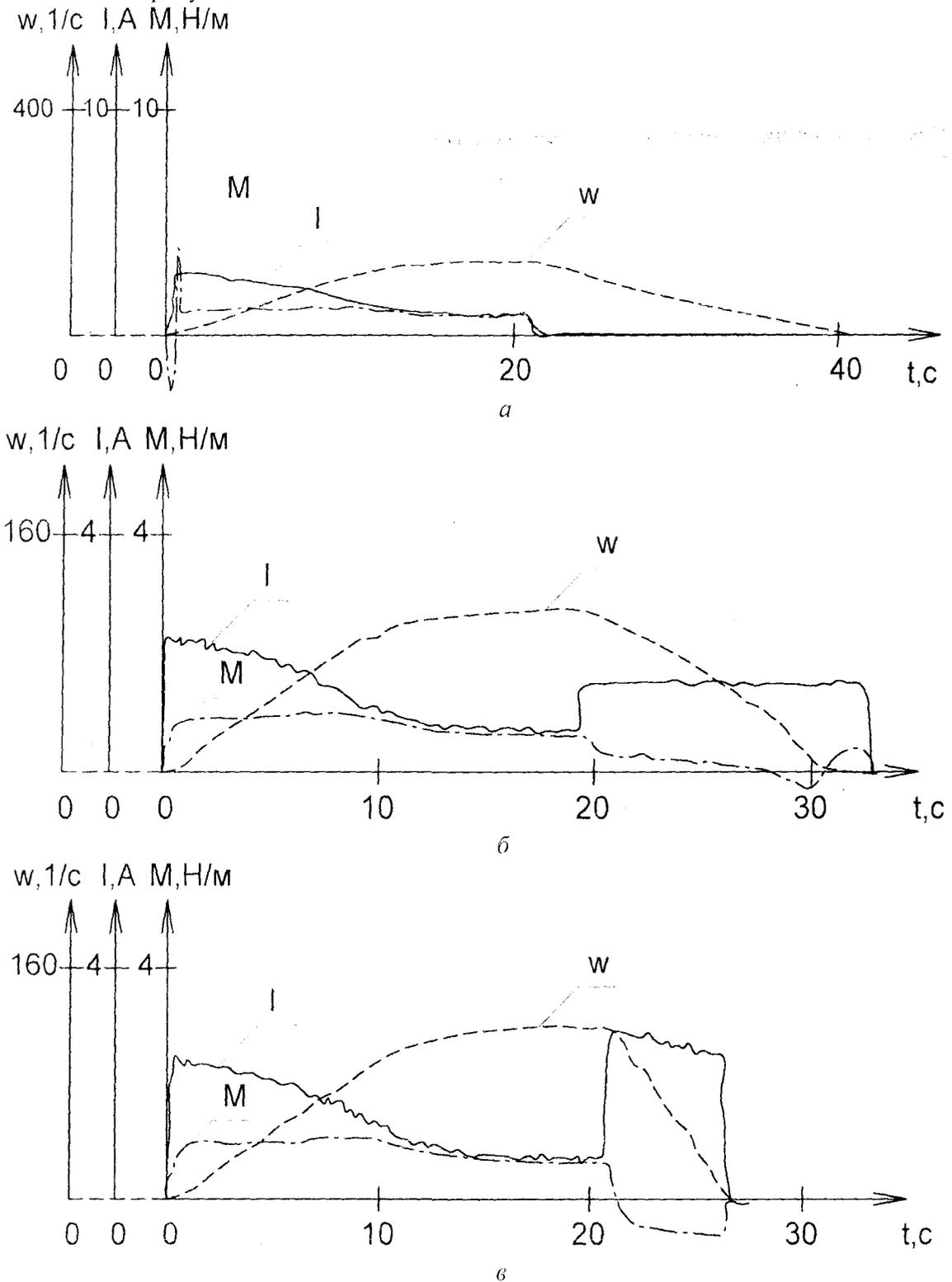


Рисунок 2 – Характеристики работы АД традиционного цилиндрического исполнения в автоматических режимах:

а - прямой пуск и естественное торможение АД; б - прямой пуск и динамическое торможение АД; в - прямой пуск и торможения АД противовключением

Анализируя полученные зависимости, можно прийти к выводу о том, что в переходных режимах в двигателе традиционного исполнения значительно выше скачки токов относительно номинальных значений. При пуске и электрическом торможении АД возникают колебания вращающего момента. В ТАД изменение тока и вращающего момента носит более плавный характер и колебательного процесса в переходных режимах не наблюдается. Кроме того, из полученных графиков видно, что пуск и электрическое торможение ТАД протекает за значительно меньший промежуток времени, чем в АД. Эти различия работы ТАД и АД в динамических режимах объясняются конструктивными различиями данных типов двигателей: воздушный зазор между статором и ротором ТАД проходит вдоль плоскости, а не по цилиндрической поверхности, и, тем самым достигается большая эффективность действия магнитного потока. Сократить времени пуска и торможения ТАД достигается также за счет меньшей инерционности ротора двигателя.

Выводы

Полученные результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о перспективах применения торцовых асинхронных двигателей в качестве привода различных автоматических устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1 Загрядцкий, В.И. Торцовые электрические двигатели и совмещенные электромеханические агрегаты: Монография [Текст] / В.И. Загрядцкий, Ю.С. Степанов, Е.Т. Кобяков. – М.: Машиностроение-1, 2000. – 300 с.

2 Полошков, Н.Е. Исследование торцевых электрических машин с использованием пакета ANSYS [Текст] / Н.Е. Полошков, К.С. Федий // Изв-я высш. учеб. завед-й. Электромеханика. – 2008. – № 2. – С. 21–23.

3 Пашков, Н.И. Торцовые асинхронные двигатели малой мощности с меньшей материалоемкостью изготовления [Текст] / Н.И. Пашков // Электротехника. – 2007. – № 7. – С. 8–15.

4 Соломин, О.В. LabVIEW как система информационного обеспечения экспериментальных исследований роторных машин и их вибрационной диагностики [Текст] / О.В. Соломин, М.В. Комаров, С.В. Широков // Изв-я Орловск. гос. техн. универ-та. Сер. Информ. сис-мы и техн-гии. – 2004. – № 2 (3). – С. 5–9.

Художников Павел Анатольевич

Орловский государственный технический университет, г. Орёл

аспирант кафедры «Электрооборудование и энергосбережение»

Тел. (4862)41-98-30

E-mail: skip_84@bk.ru

УДК 621.324.8

В.А. АРТЕМЬЕВ, А.В. СМИРНОВ, Е.В. ШАЛОБАЕВ

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ С ИНВАРИАНТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ

Рассмотрен оригинальный подход к реализации инвариантного оптико-электронного измерителя скорости оптически неоднородных поверхностей. Отличительной особенностью рассматриваемого подхода является использование двухканального метода анализа изображения с применением двухплоскостного фильтра.

Оптико-электронные устройства, предназначенные для выделения первичной информации при измерении скорости перемещения оптически неоднородных поверхностей (случайных яркостных полей), таких как бумажное полотно в процессе его отлива на сеточном столе бумагоделательной машины, поток руды на транспортной ленте, поверхность Земли при ее фотографировании с борта летательного аппарата и т.п., нуждаются в специальном подходе при выборе схемы построения оптического тракта приема и электронного тракта преобразования сигналов.

Реальные поверхности имеют различные коэффициенты отражения и поглощения световой энергии и разные размеры неоднородностей, которые характеризуются средним радиусом корреляции [1]. Поэтому электрические сигналы на выходе фотоприемного устройства будут иметь весьма сложный характер.

Физическую модель процесса преобразования информации в такой системе можно представить образно, как показано на рис. 1. Если совместить изображение участка поверхности с периодическим растром в виде чередующихся прозрачных и непрозрачных полос равной ширины с периодом 2δ , и перемещать это изображение перпендикулярно полосам раstra со скоростью Vx , по раstrу одновременно будут перемещаться изображения множества неоднородностей, различного контраста и различных размеров, взаимное положение которых случайно и независимо [2].

Полный световой поток за плоскостью периодической решетки будет представлять собой сумму световых потоков от каждой отдельной неоднородности с одинаковой частотой модуляции и числом периодов, но с начальной фазой распределенной по случайному закону.

Средняя частота модуляции результирующего светового потока равна частоте модуляции отдельных слагаемых. Суммарным световым потоком, попадающим на фотоприемник, формируется электрический сигнал на нагрузке фотоприемника, имеющий полезную составляющую, определяемую по формуле:

$$f = \frac{Vu}{2\delta} \sin \alpha, \quad (1)$$

где Vu — скорость движения изображения неоднородности в плоскости решетки, 2δ — период раstra, α — угол между вектором скорости и направлением полос раstra.

Соотношение сигнал/шум на выходе фотоприемника будет зависеть не только от уровня освещенности наблюдаемого участка поверхности, но и от согласования размеров поля зрения объектива, пространственного периода раstra, радиуса пятна рассеяния объектива со средним радиусом корреляции неоднородностей [3].

К сожалению, при согласовании всех этих параметров возникают противоречия, разрешить которые с использованием только консервативных методов не удастся. Это в

значительной степени ограничивает возможности данного способа при реализации высокоточных измерительных устройств.

Одним из наиболее распространенных методов построения высокоточных измерительных устройств является метод инвариантности [4], в основу которого положен принцип многоканальности, что предполагает наличие хотя бы двух каналов приема и преобразования сигналов, построенных таким образом, чтобы суммирование сигналов приводило к компенсации помех. При этом информационные признаки сигналов не подвергаются изменениям. Однако наличие случайных помех хотя бы в одном из каналов может привести к разрушению информационных признаков сигнала.

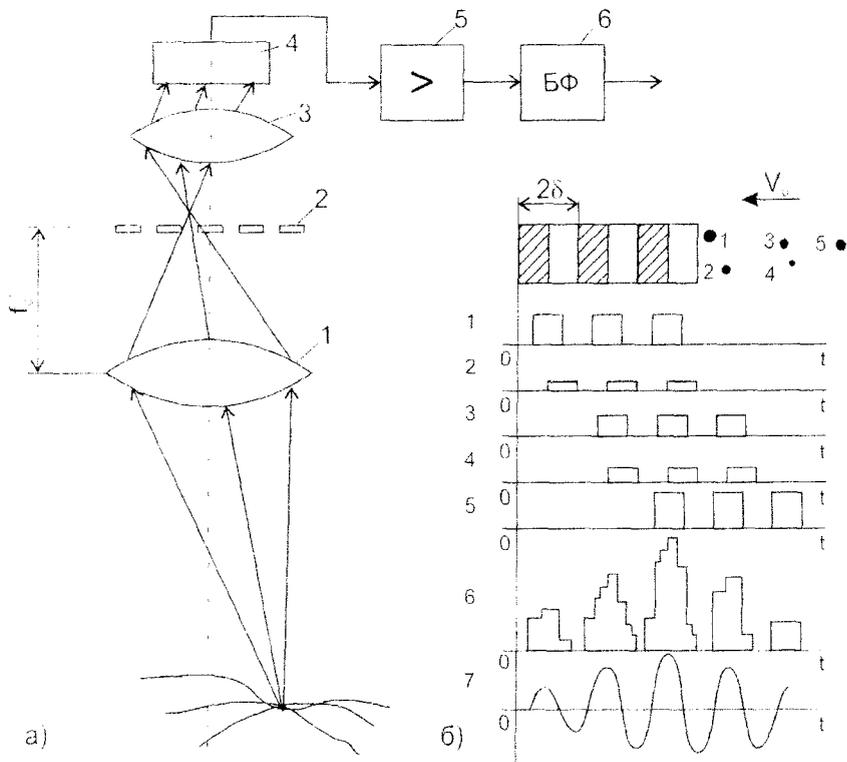


Рисунок 1 – Физическая модель процесса

Одним из наиболее распространенных методов построения высокоточных измерительных устройств является метод инвариантности [4], в основу которого положен принцип многоканальности, что предполагает наличие хотя бы двух каналов приема и преобразования сигналов, построенных таким образом, чтобы суммирование сигналов приводило к компенсации помех. При этом информационные признаки сигналов не подвергаются изменениям. Однако наличие случайных помех хотя бы в одном из каналов может привести к разрушению информационных признаков сигнала.

Реализацию принципа инвариантности к случайным помехам, возникающим в тракте приема сигналов, следует искать в классе систем с инвариантными характеристиками помехоустойчивости, для реализации которых достаточно лишь минимальная информация о характеристиках сигнала и помех. В ряде случаев такая информация вообще не нужна [5].

Такой подход к построению тракта приема и преобразования сигналов в оптико-электронных устройствах для измерителей скорости случайных яркостных полей (оптически неоднородных поверхностей) можно назвать принципом адаптивной инвариантности.

На рис. 2 представлена функциональная схема двухканального оптико-электронного измерителя скорости оптически неоднородных поверхностей [6]. В основу этой схемы положен принцип инвариантности, который реализуется на основе использования двух каналов анализа изображения. Анализатор изображения такого измерителя выполнен в виде

вращающегося периодического раstra с двумя дорожками, отличающимися периодом расположения прозрачных и неоднородных зон в два раза. Периодический растр 3 приводится во вращения двигателем 4.

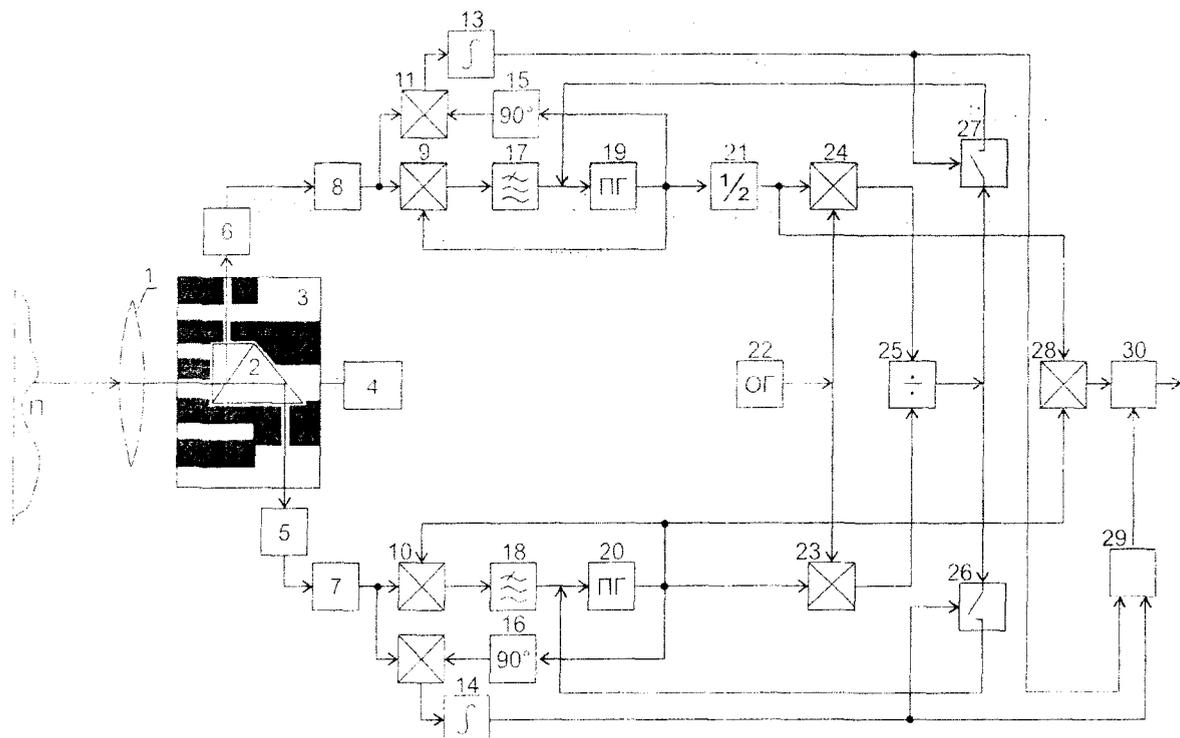


Рисунок 2 – Функциональная схема двухканального оптико-электронного измерителя скорости оптически неоднородных поверхностей

Изображение поверхности П с помощью объектива 1 и светоделительного блока 2 формируется на диаметрально противоположных сторонах раstra на разных его дорожках. Модулированный световой поток поступает на фотоприемники 5 и 6, затем на усилители 7 и 8, снабженные полосовыми фильтрами. Электрические сигналы на выходе полосовых фильтров, полученные на экспериментальном макете представлены на рис. 3.

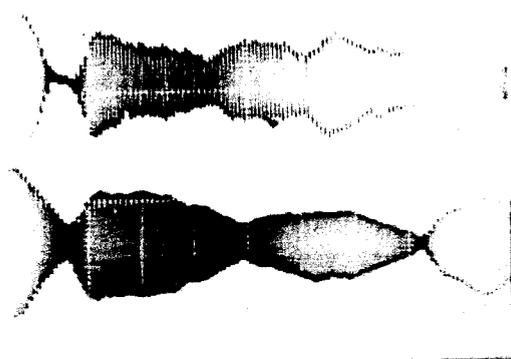


Рисунок 3 – Примеры электрических сигналы на выходе полосовых фильтров

Характерной особенностью этих сигналов является то, что их амплитуды подвержены резким колебаниям вплоть до полного исчезновения. Это связано с колебаниями соотношения между размером изображения неоднородности поверхности и шагом раstra с изменением освещенности поверхности и изменениям контраста неоднородности. Однако эти модулированные сигналы жестко синхронизированы по фазе относительно друг друга, что позволяет использовать их для компенсации начального изменения фазы в каждом из

каналов электронного тракта обработки сигналов. После усиления и фильтрации электрические сигналы поступают в электронный тракт обработки сигналов, в состав которого входят перемножители 9, 10, 11 и 12; интеграторы 13 и 14; фазовращающие цепочки 15 и 16; фильтры нижних частот 17 и 18; перестраиваемые генераторы 19 и 20; делитель на 2 частоты сигнала 21; опорный генератор 22; перемножители 23 и 24; устройство сравнения 25; переключающие устройства 26 и 27; устройство перемножения сигналов (вычитания частот) 28; блоки 29 и 30, обеспечивающие передачу информации в цепь управления, если сигнал присутствует хотя бы в одном из каналов.

Рассмотрим характер изменения частот сигналов в каждом из каналов. При неподвижном изображении в плоскости раstra частота электрических сигналов на выходах приемников излучения определяется выражениями:

$$f_{01} = \frac{Vp}{2\delta}, \quad f_{02} = \frac{Vp}{4\delta}, \quad (2)$$

где Vp – линейная скорость движения участка раstra, 2δ – пространственный период раstra первой дорожки, 4δ – пространственный период второй дорожки.

При движении изображения в плоскости раstra со скоростью Vu центральная частота электрических сигналов на выходе каждого из приемников излучения смещается на величину

$$\Delta f_1 = \frac{Vu}{2\delta}, \quad \Delta f_2 = \frac{Vu}{4\delta}. \quad (3)$$

Тогда частоты электрических сигналов, формируемых на выходах приемников излучения каждого из каналов, будут изменяться в зависимости от направления движения

$$f_1 = f_{01} \pm \Delta f_1, \quad f_2 = f_{02} \pm \Delta f_2. \quad (4)$$

Подставим f_{01} , f_{02} , Δf_1 , Δf_2 в выражения (6) и (7) и получим:

$$f_1 = \frac{Vp + Vu}{2\delta}, \quad f_2 = \frac{Vp - Vu}{4\delta}. \quad (5)$$

Анализ полученных выражений показывает, что частоты f_1 и f_2 определяются пространственным периодом 2δ и 4δ . Для удобства обработки сигналов в электронном тракте обработки сигналов введено устройство деления частоты на 2 (обозначено на рис. 2 цифрой 21)

$$f_1/2 = \frac{Vp + Vu}{4\delta}. \quad (6)$$

Таким образом

$$f_1/2 - f_2 = \frac{Vp + Vu}{4\delta} - \frac{Vp - Vu}{4\delta} = \frac{2Vu}{4\delta}. \quad (7)$$

За счет этого удастся исключить скорость движения периодического раstra.

Блоки 9, 11 и 13 в одном канале и устройства 10, 12, 14 в другом осуществляют операцию обнаружения случаев пропадания сигналов на выходе фотоприемников 5, 6 соответственно. При обнаружении одновременного пропадания сигналов поступление сигналов в цепь индикации после блока 28 переключается устройством 31, при пропадании

сигналов в одном из каналов блоки 25 или 26 по результатам сравнения информации блоком 24. направляют сигнал в цепь управления частотой перестраиваемого генератора 18 или 19. В таком случае, при замирании сигнала в одном из каналов на выходе блока 27 мы имеем достоверную информацию о скорости движения изображения.

Наличие двух каналов пространственно-частотной фильтрации сигналов в оптическом тракте обработки сигналов с разными параметрами периодического раstra позволяет расширить возможности для согласования размеров поля зрения оптической системы, радиуса пятна рассеяния со средним радиусом корреляции оптических неоднородностей, и уменьшить вероятность одновременного замирания сигналов на выходе фотоприемников.

Начальная фаза гармоник сигналов каждого из каналов в такой схеме изменяется одновременно, поэтому при совместной обработке сигналов блоком 28 эти изменения компенсируются, поэтому появляется возможность обеспечить более высокие точности измерения на малых скоростях движения изображения поверхности.

Выбранная нами процедура обработки сигналов позволяет осуществить адаптивную коррекцию сигналов и исключить влияние замирания сигналов в одном из каналов на выходные параметры измерительного устройства, за счет чего обеспечивается инвариантность к помехам, возникающим в оптическом тракте формирования сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левшин В.Л. Обработка информации в оптических системах пеленгации. -- М.: Машиностроение, 1978.
2. Соломагин В.А., Шилин В.А. Фазовые оптико-электронные преобразователи. -- М.: Машиностроение, 1986.
3. Порфирьев Л.Ф. Теория оптико-электронных приборов и систем. -- Л.: Машиностроение, 1980.
4. Петров Б.Н. и др. Принципы инвариантности в измерительной технике. -- М.: Наука, 1976.
5. Артемьев В.В., Демин А.В., Панков Э.Д. Об одном способе повышения точности оптико-электронных угломерных устройств // Оптико-электронные системы и приборы. Межвузовский сборник. Новосибирск, 1980.
6. А. с. 1543347. Бюл. изобр. 1990, № 6.

УДК 625.08.0014:613.644

В.С. ВАНИН, В.А. ДАНИЛОВ, С.В. КАРЕВ

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВИБРАЦИЙ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

В данной работе исследованы составляющие погрешностей методов оценки низкочастотной вибрации на рабочих местах мобильных машин и проведены сравнительные испытания методов предлагаемого («Экспресс-метод...») 1/ и по ГОСТ 12.2.002-81 (наиболее объективный из всех гостиртуемых).

In this paper the components of the errors of evaluation methods of low-frequency vibration in the workplace of mobile machines and conducted comparative tests of the proposed methods (Express-method ...) 1/ and GOST 12.2.002-81 (the most objective of all gostirtuemyh).

Наиболее распространенные методы оценки вибраций на рабочих местах мобильных машин:

1. Частотный (спектральный) анализ вибрации, который может основываться на измерениях:

- непосредственно при выполнении технологической операции;
- при выполнении стандартизированной технологической операции с приведением результатов испытаний к типовым условиям испытаний по высоте неровностей микропрофиля дороги;
- при движении машины по треку, имеющему характеристики типового микропрофиля;
- на стендах, которые имитируют реальные условия эксплуатации или гармонические колебания на входе машины;
- на стоянке при вращении коленчатого вала машины с числом оборотов, при котором наблюдаются наибольшие вибрации;

2. Интегральная оценка на отдельных частотах вибраций.

3. Дозовая оценка вибраций.

Для проведения сравнительных испытаний методов оценки погрешностей определялись в относительной форме согласно выражению:

$$\delta_i = \frac{x - x'}{x} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

где x – измеренное значение параметра;

x' – действительное значение параметра.

Суммарная ошибка предлагаемого метода («Экспресс-метода.../1/) складывается из погрешностей:

– выбора шага дискретизации при представлении непрерывных процессов в виде цифровых рядов ($\delta_1 = 0,6\%$, /2/);

– выбора длины реализации процесса свободных затухающих колебаний динамической системы ($\delta_2 = 0,5\%$, /2/);

– допущения о линейности колебательных систем мобильных машин ($\delta_3 = 3,6\%$, /2/);

– измерительной аппаратуры ($\delta_4 = 6,5\%$, /2/).

Погрешности первых 2-х пунктов могут рассматриваться как систематические ошибки.

Суммарная ошибка метода оценки низкочастотных вибраций на рабочих местах мобильных машин по ГОСТ 12.2.002-81 включает в себя кроме перечисленных выше частных составляющих ошибок дополнительные погрешности:

– неравномерность скорости движения машины по зачетному участку при испытаниях ($\delta_5 = 50\%$, /3/);

допущение о точечном контакте колес мобильных машин с профилем дороги ($\delta_4 = 48\%$, /4/);

сдвиг по фазе или по времени неровностей микропрофиля правой и левой колес ($\delta_5 = 15\%$, /5/);

влияние оператора на вибрацию рабочего места машины ($\delta_8 = 23\%$, /3/).

В общем случае каждую частотную погрешность следует рассматривать как случайную величину. Одним из способов определения суммарной ошибки δ заключастся в нахождении опытным или расчетным путем частных погрешностей δ_i с последующим суммированием их по правилам математической статистики /6, 7/.

Для систематических погрешностей:

$$\delta_{\text{сис.}} = \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n \quad (1.2)$$

Для случайных погрешностей:

$$\delta_{\text{сл.}} = \pm \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2} \quad (1.3)$$

Тогда, суммарная погрешность:

$$\delta = \delta_{\text{сис.}} + \delta_{\text{сл.}} \quad (1.4)$$

Используя расчетные формулы (1.2 -- 1.4) определяем суммарную погрешность методов оценки низкочастотной вибрации (НЧВ) на рабочих местах мобильных машин:

для предлагаемого экспресс-метода оценки транспортной вибрации /1/ --- $\delta = 11,2\%$;

для метода по ГОСТ 12.2.002-81 --- $\delta = 147,2\%$.

В качестве объекта для сравнительных испытаний методов был выбран трактор МТЗ-80Л. Испытания проводились при выполнении им транспортных работ.

С целью получения достоверных результатов по оценке уровней низкочастотных вибраций на рабочем месте количество измерений каждым методом увеличено. Результаты испытаний представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты оценок уровней вибрации на рабочем месте оператора трактора МТЗ-80Л в соответствии с предлагаемым методом

$f, \text{Гц}$	Оценочные среднеквадратические значения ускорений $\sigma_i, \text{ м/с}^2$ (дБ) ($i = 3$)		
	1	2	3
1.0	0,58 (115)	0,6 (116)	0,4 (112)
2.0	1,06 (121)	1,16 (121)	1,42 (123)
4.0	2,2 (127)	1,58 (124)	1,61 (124)
8.0	1,32 (122)	1,24 (122)	1,66 (124)

Таблица 2. Результаты оценок уровней вибрации на рабочем месте оператора трактора МТЗ-80Л по ГОСТ 12.2.002-81

$f, \text{Гц}$	Оценочные среднеквадратические значения ускорений $\sigma_{vi}, \text{м/с}^2 \text{ (дБ)} (i = 4)$			
	1	2	3	4
1.0	0,4 (112)	0,28 (109)	0,45 (113)	0,31 (110)
2.0	1,89 (126)	1,09 (121)	1,08 (121)	1,69 (125)
4.0	3,02 (130)	1,68 (125)	1,45 (123)	2,61 (128)
8.0	0,78 (118)	0,77 (118)	0,79 (118)	1,27 (122)

На основании полученных результатов определялась оценка значимости различий средних. Для количественной оценки значимости различий статистических данных представленных в таблице 1 и 2, использовалась следующая процедура /8, 9/:

- 1) определялись математические ожидания сравниваемых совокупностей данных;
- 2) определялись среднеквадратичные отклонения величин сравниваемых совокупностей данных;
- 3) вычислялись значения квантиля распределения Стьюдента;
- 4) определялись значимости различий по табличным /8,9/ и расчетным значениям квантиля распределения Стьюдента, t_{β} , при заданной доверительной вероятности $\beta = 0.95$.

Результаты определения значимости различий представлены в таблице 3.

Таблица 3 Результаты количественной оценки значимости различий статистических данных по оценке параметров вибрации двумя методами

Частота $f, \text{Гц}$	Число данных		Математические ожидания и среднеквадратичные отклонения				Значение квантиля распределения Стьюдента, t_{β}		Значимость различий
	N ₁	N ₂	$\bar{\delta}_1$	x_1	$\bar{\delta}_2$	x_2	Табличное	Расчетное	
1.0	3	4	0,52	0,11	0,36	0,08	2,57	2,26	не разл.
2.0	3	4	1,21	0,18	1,44	0,42	2,57	0,8	не разл.
4.0	3	4	1,8	0,35	2,19	0,75	2,57	0,82	не разл.
8.0	3	4	1,41	0,22	0,9	0,25	2,57	2,7	разл.

Из анализа результатов сравнительных испытаний методов следует, что в октавных полосах частот 1, 2, 4 Гц, уровни вибрации на которых являются доминирующими, результаты измерений обоими методами, удовлетворительно согласуются, в октавной полосе частоты 8 Гц результаты расходятся в пределах 3 дБ, что может объясниться низким уровнем вибрации на этой частоте.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ванин В.С. Экспресс-метод оценки транспортной вибрации. //Строительные и дорожные машины. - 2006. - №10.
- 2 Галаган Т.В. Метод использования переходных функций при оценке транспортной вибрации. // Строительные и дорожные машины.- 2007, №3
- 3 Ванин В.С. Оценка транспортной вибрации мобильных строительно дорожных машин. //Строительные и дорожные машины. - 2007. - №8.
- 4 Ванин В.С., Данилов В.А., Бузуев В.С. Новый метод оценки транспортной вибрации мобильных машин. //Строительные и дорожные машины. - 2007. - №12.
- 5 Ванин В.С. Влияния различий ординат профиля дороги под правыми и левыми колесами машины на вибрации рабочего места оператора. //Строительные и дорожные машины. - 2007. - №9.
- 6 ГОСТ 8.009-84. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. - М.: Изд-во стандартов, 1985. - 38 с.
- 7 Измерение параметров вибрации и удара / В.С. Шкаликов, В.С. Пеллинец, Е.Г. Исакович, Н.Я. Цыган. - М., Изд-во стандартов, 1980. С. 251-262.
- 8 Гаспаров Д.В., Шаповалов В.И. Малая выборка. - М.: Статистика, 1978. - 248 с.
- 9 Кабатов Ю.Ф., Славин М.Б. Вероятностно статические методы в медицинских исследованиях и надежность медицинской аппаратуры. - М.: Медицина, 1976. - 296 с.

Ванин Владимир Семенович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доцент, кандидат технических наук, декан кафедры «Машины и аппараты пищевых производств»
Тел. р. (4862) 54-16-85 д. (4862) 74-84-60

Данилов Виталий Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант, ассистент кафедры Машины и аппараты пищевых производств
Тел. р. (4862) 55-11-87

Карев Сергей Вячеславович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Студент пятого курса группы 51-МП
E-mail: serban88@mail.ru

УДК 621.86/87.002.5:621.22-237

С.Л. ЗАХАРЫЧЕВ, Д.В. ОТМАХОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ АРМИРОВАННЫХ ЭПОКСИДОФТОРОПЛАСТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НАМОТКОЙ

Применение антифрикционных полимерных композиционных материалов (ПКМ) в деталях узлов трения – одно из направлений повышения надежности машин. Они должны обладать высокими физико-механическими и триботехническими свойствами. Свойства ПКМ определяются не только составом компаундов, но и технологическими условиями формирования внутренней структуры материалов.

Using of antifriction polymeric composite materials (PCM) in details of the nodes of friction - one of the directions of increasing to reliability of the machines. They must possess high physic-mechanical and tribotechnical properties. The properties of PCM are defined not only by composition of compounds, but also technological conditions of the shaping of the internal structure materials.

В последнее время интенсивно развивается производство различных армированных полимерных композиционных материалов (ПКМ) как конструкционного, так и триботехнического назначения. Главные преимущества наполненных волокнами ПКМ – использование высокой удельной прочности волокон и уникальной выносливости гетерогенных систем. При изготовлении конструкционных ПКМ, например, стекло- и углепластиковых, основное внимание уделяется достижению высоких физико-механических свойств изделий. Несмотря на достаточно большое количество работ в этой области, до сих пор практически отсутствуют комплексные исследования, посвященные изучению влияния основных технологических факторов на структуру и свойства антифрикционных ПКМ.

Способ получения армированных ПКМ радиальной намоткой пропитанной компаундом ткани на оправку требуемого размера достаточно прост в реализации и обеспечивает изготовление заготовок втулок с минимальными припусками на финишную механическую обработку. Возможно получение градиентных и комбинированных структур материалов с высокими свойствами. На структуру материалов и их прочностные и триботехнические характеристики оказывает влияние большая группа технологических факторов. Для достижения оптимальных свойств ПКМ целесообразно использовать принципы системного подхода, которые позволяют разделить изучение процесса на ряд этапов. На первых ступенях исследования влияния технологических факторов на свойства получаемых материалов целесообразно применение простого планирования экспериментов с определенными шагами изменения главных технологических параметров, принятыми по априорной информации, сохраняя постоянными входные характеристики [1]. К последним относятся: вид армирующей ткани, состав компаунда, геометрические размеры изделий. К основным факторам технологического процесса радиальной мокрой намотки следует отнести: степень натяжения ткани при намотке, скорость и температуру формирования изделий. Все перечисленные параметры процесса по-разному оказывают влияние на формирование внутренней структуры слоев ПКМ и на выходные физико-механические, диффузионные и триботехнические характеристики. На этом этапе исследований целесообразно применение планирование экспериментов, а при поиске оптимальных решений целесообразно использование более сложных униформрототабельных планов.

Для исследования использовалась автоматизированная экспериментальная установка, схема устройства которой приведена на рис. 1.

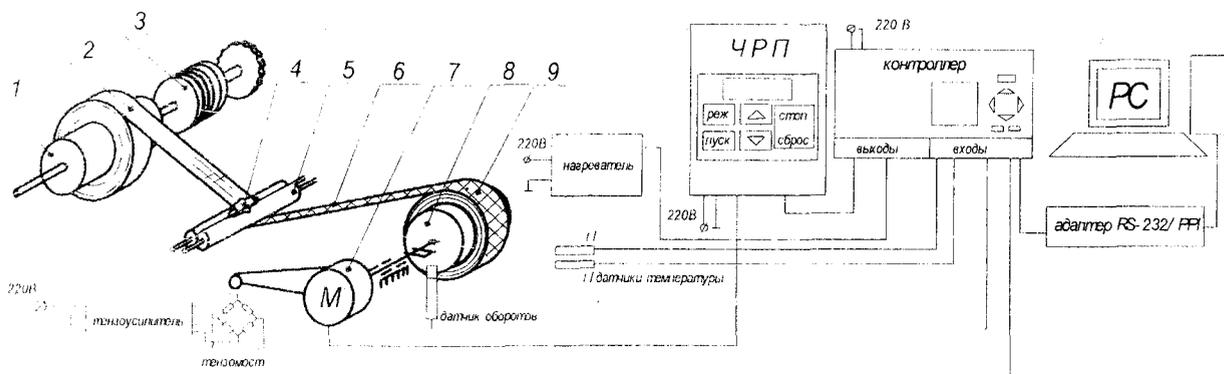


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для намотки

1 – шпунта; 2 – армирующая ткань; 3 – тормозное устройство; 4 – компаунд; 5 – пропитывающие вальцы; 6 – пропитанная ткань; 7 – мотор-редуктор; 8 – формообразующая оправка; 9 – заготовка

Электропривод установки – частотно-регулируемый, двигатель мощностью 0,37 кВт. Автоматизированная система управления – на базе контроллера «LOGO!» фирмы «Siemens» (Германия); контролируемые параметры: частота вращения; усилие натяжения ткани; температура; число витков тела намотки [2]. Натяжение ткани, наматываемой на оправку, контролировалось тензодатчиком, изготовленным фирмой «Siwarex R» (Нидерланды) по разработке фирмы «Siemens». Датчик воспринимал силу реактивного момента от рычага, закрепленного на мотор-редукторе, балансирно подвешенного на консоли вала привода оправки.

На первом этапе исследований использовался компаунд МАС – материал антифрикционный самосмазывающийся, основанный на связующем – смоле ЭД-20, смешанной с отвердителем полиэтиленполиамином (ПЭПА) в пропорции 10:1. Состав компаунда оставался постоянным: смола эпоксидно-диановая ЭД-20 – 73 масс. %; политетрафторэтилен Ф-4 – 15 масс. %; дисульфид молибдена ДМИ-7 – 7 масс. %; коллоидно-графитовый материал ГС-1 – 5 масс. %. Разработанные материалы относятся к эпоксидофторопластам, которые обладают более высокой несущей способностью по сравнению с другими известными самосмазывающимися составами [1].

Геометрические размеры получаемых образцов армированных эпоксидофторопластов (АЭФ) были приняты постоянными ($D \times d = 57 \times 50$ мм, $b = 50$ мм) [2].

Физико-механические показатели АЭФ определялись по известным методикам [3].

При намотке использовались хлопчатобумажные ткани полотняного плетения. Выбор хлопчатобумажных тканей обосновывается их широким применением в антифрикционных ПКМ. Эти ткани не замаслены, имеют высокую адгезию с эпоксидным связующим, характеризуются более широким диапазоном изменения деформационно-прочностных свойств, обладают высоким маслопоглощением и низким коэффициентом трения, а также и низкой стоимостью и доступностью, что немаловажно при использовании их в конструкциях самосмазывающихся подшипников скольжения для массового применения. Хлопчатобумажные волокна имеют развитую поверхность, что обеспечивает большую площадь пропитки ткани связующим и большую силу сцепления волокон со связующим после отверждения. Основные характеристики использованных тканей приведены в табл. 1.

Одним из главных параметров технологического процесса намотки является натяжение армирующей ткани ($F_{нат}$). Ткани различной плотности имеют различные деформативные свойства при одних и тех же действующих силах натяжения. Поэтому был введен коэффициент отношения силы натяжения ($F_{нат}$) к разрывной нагрузке ($F_{разр}$) данного полотна, который определялся по выражению: $K_n = F_{нат} / F_{разр}$.

Таблица 1 Характеристики армирующих хлопчатобумажных тканей

Параметры тканей	Виды тканей по степени плотности		
	Плотная	Средней плотности	Низкой плотности
Наименование	Тик матрасный С38-БЮ	Бязь суровая ГОСТ 10183-93	Мадаполам С5-ТИ ГОСТ 29298-92
	1	2	3
Линейная плотность нити, текс	54/52	32/28	18/20
Плотность ткани, 1/10 см	189/154	217/125	255/119
Линейная плотность ткани, г/м	18,8	10,7	7,5
Поверхностная плотность ткани, г/м ²	188	107	75
Относительная плотность, %	55/44	48/26	43/21
Объемное заполнение волокном, %	55,9	42,7	42,7
Разрывная нагрузка, Н	490,5	329,4	294,3

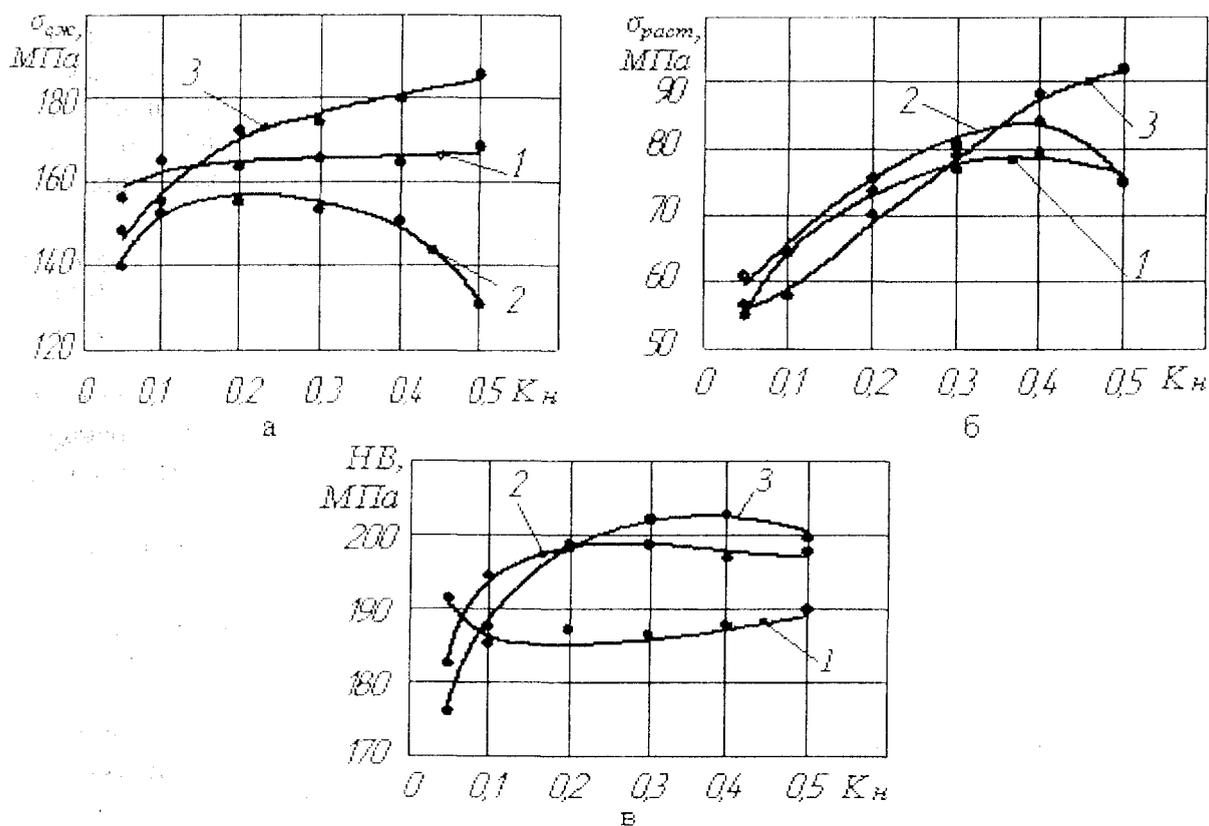


Рисунок 2 – Влияние степени натяжения ткани на механические свойства ПКМ

а – напряжения растяжения; б – напряжения сжатия; в – твердость.

Виды тканей: 1 – плотная; 2, 3 – средней и низкой плотности

Проведено исследование влияния силы натяжения тканей при намотке на основные физико-механические свойства ПКМ при постоянной скорости намотки $V = 0,05$ м/с, выбранной из условия обеспечения стабильности натяжения данных тканей при прочих равных условиях - рис. 2.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что характер зависимостей механических свойств получаемых АЭФ во многом определяется не только натяжением, но и видом тканей, применявшихся для армирования в конкретных случаях. Для тканей

различных плотностей имеются определенные зоны оптимальных натяжений – 30-50% от разрывной нагрузки. В целом более высокими физико-механическими свойствами обладают АЭФ при армировании тканью низкой плотности даже при более низком объемном содержании волокна в структуре АЭФ по сравнению с использованием тканей средней и высокой плотности. В то же время, дальнейшие триботехнические испытания показали, что АЭФ, армированные тканями средней плотности, имеют лучшие свойства – низкие коэффициенты трения и интенсивность износа, по сравнению с образцами, изготовленных с использованием других тканей.

Анализ зависимости коэффициента сухого трения от скорости скольжения при давлении $p = 6$ МПа для АЭФ, армированного хлопчатобумажной тканью низкой плотности при $K_n = 0,5$ показывает область предпочтительного использования этого вида антифрикционного материала: $V = (0,25 - 0,45)$ м/с или $[pV] = (1,5 - 2,7)$ МПа · м/с - рис. 3.

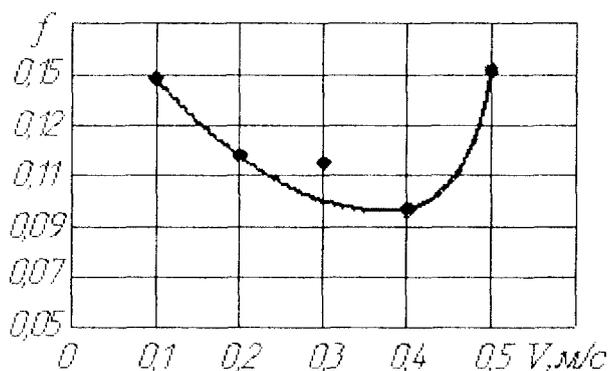


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента сухого трения от скорости скольжения при давлении $p = 6$ МПа

На втором этапе исследований была проведена с использованием факторного планирования оценка влияния температуры и скорости намотки, а также содержания фторопласта Ф-4 в компаунде на основные качественные показатели АЭФ, армированных тканью низкой плотности с усилием натяжения 50 % от разрывной нагрузки. Методика статистической обработки данных полного факторного эксперимента приведена в работе [4].

В этой серии в качестве переменных были выбраны: x_1 – температура намотки, °С; x_2 – скорость намотки, м/с; x_3 – содержание в компаунде фторопласта Ф-4, масс. %. Условия планирования эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Условия планирования эксперимента

Уровень факторов	Кодовое обозначение	Фактор		
		$x_1, ^\circ\text{C}$	$x_2, \text{м/с}$	$x_3, \text{масс. \%}$
Основной уровень	0	30	0,075	20
Интервал варьирования (шаг)	-	10	0,025	5
Верхний уровень	+1	40	0,1	25
Нижний уровень	-1	20	0,05	15

Функциями отклика являлись: $y_1(f)$ – коэффициент трения в установившемся режиме; $y_2(I_g)$ – массовая износостойкость образца, км/мг; $y_3(\rho)$ – плотность образца, кг/м³; $y_4(W_B)$ – водопоглощение за одни сутки, %; $y_5(W_M)$ – маслпоглощение за одни сутки, %; $y_6(\sigma_{сж})$ – прочность при сжатии, МПа; $y_7(\sigma_p)$ – прочность при растяжении, МПа; $y_8(HB)$ – твердость по Бринеллю, МПа.

Таблица 3 - Выходные характеристики ПКМ в серии ПФЭ 2³

№ серий опытов ПФ ⁰	Y ₁ (f)	Y ₂ (I _g), км/мг	Y ₃ (ρ), кг/м ³	Y ₄ (W _B), %	Y ₅ (W _M), %	Y ₆ (σ _{сж}), МПа	Y ₇ (σ _p), МПа	Y ₈ (НВ), МПа
1	0,217	0,218	1105,6	1,32	0,133	203,7	108,2	212,6
2	0,206	0,612	1117,6	1,27	0,064	122,3	81,7	171,9
3	0,193	0,249	1062,4	1,58	0,097	198,7	105,9	187,4
4	0,163	0,513	1077,4	1,37	0,057	143,6	97,1	183,4
5	0,273	0,076	1087,6	1,26	0,103	185,7	112,2	179,5
6	0,225	0,159	1085,8	1,25	0,127	179,9	110,5	185,4
7	0,237	0,084	1099,4	1,43	0,113	174,0	109,1	191,3
8	0,228	0,487	1092,4	1,13	0,115	150,7	82,7	174,0

Проведена математическая обработка результатов, подтверждены гипотезы однородности дисперсий и адекватности моделей, и получены следующие уравнения регрессии для этой серии:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 0,218 + 0,023x_1 - 0,013x_2 - 0,012x_3; \\
 y_2 &= 0,299 - 0,098x_1 + 0,034x_2 + 0,143x_3 + 0,051x_1x_2 + 0,056x_1x_2x_3; \\
 y_3 &= 1091,1 - 8,1x_2 + 12,7x_1x_2 - 4,5x_1x_3; \\
 y_4 &= 1,33 - 0,06x_1 - 0,07x_3 - 0,06x_2x_3; \\
 y_5 &= 0,101 + 0,013x_1 - 0,006x_2 - 0,010x_3 + 0,005x_1x_2 + 0,017x_1x_3 - 0,006x_1x_2x_3; \\
 y_6 &= 169,8 + 2,75x_1 - 3,08x_2 - 20,7x_3 - 7,15x_1x_2 + 13,43x_1x_3 - 5,48x_1x_2x_3; \\
 y_7 &= 100,9 - 7,9x_3 - 5,5x_1x_2 - 5,3x_1x_2x_3; \\
 y_8 &= 185,70 - 7,0x_3 + 4,15x_1x_3 - 7,50x_1x_2x_3.
 \end{aligned}$$

Анализ регрессионных зависимостей значимых факторов свидетельствует о различном характере их влияния на качественные характеристики АЭФ. Увеличение температуры (x₁) формования ПКМ увеличивает коэффициент трения и снижает износостойкость. Увеличение скорости намотки (x₂), а также содержания фторопласта (x₃) в композиции вызывает снижение коэффициента сухого трения материала и повышение износостойкости. Плотность ПКМ с ростом скорости формования уменьшается, имеет тенденцию к увеличению при увеличении температуры и скорости намотки. Физико-механические параметры ПКМ зависят от рассматриваемых технологических параметров весьма неоднозначно. Повышение содержания фторопласта Ф-4 вызывает снижение этих показателей в целом, а также снижает масло- и водопоглощение ПКМ. Повышение скорости намотки приводит к снижению прочностных показателей и маслопоглощения, но почти не влияет на твердость и прочность на растяжение. Увеличение температуры процесса приводит к увеличению маслопоглощения и прочности на сжатие образцов и почти не влияет на твердость и предельные напряжения при растяжении.

ВЫВОДЫ

1. Решение сложных комплексных задач возможно при использовании системного анализа и последовательном планировании экспериментов при изучении технологических факторов, определяющих структуру и качественные свойства материалов.
2. Для получения высококачественных армированных ПКМ требуется не только анализ всех значимых технологических факторов, определяющих процесс, но и создание специального автоматизированного оборудования, обеспечивающего стабильность поддержания требуемых параметров.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Иванов В.А., Ри Хосен. Прогрессивные самосмазывающиеся материалы на основе эпоксидфторопластов для триботехнических систем. Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2000. – 429 с.
- 2 Захарычев С.П., Иванов В.А. Разработка установки радиальной намотки для изготовления армированных полимерных композиционных материалов//Вестник ТОГУ. Хабаровск: изд-во ТОГУ, 2008. № 1(8). С. 101 – 110.
- 3 Композиционные материалы. Справочник / Под ред. Д.М. Карпиноса. Киев: Наукова думка, 1985. 592 с.
- 4 Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. – 280 с.

Захарычев Сергей Петрович

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
Кандидат технических наук, доцент, кафедра «Машины и оборудование лесного комплекса»
Тел. (4212) 37-51-90
E-mail: molk@mail.khb.ru

Отмахов Дмитрий Валентинович

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
Инженер, кафедра «Машины и оборудование лесного комплекса»
Тел. (4212) 37-51-90
E-mail: molk@mail.khb.ru

УДК 620.179.1.082.7:658.58

К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, В.В. МАРКОВ

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ТРИБОМОНИТОРИНГА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «ТРЕТЬЕГО ТЕЛА»

Представлены результаты патентного поиска за период с 1983 по 2008 годы по проблеме методов и средств трибомониторинга. Проведен анализ патентной и лицензионной ситуации в рамках обозначенной проблемы и углубленный анализ электрических методов трибомониторинга. Установлены направления наиболее эффективного применения различных методов и диагностических параметров.

The results of patent search behind period with 1983 and 2008 years by problem methods and means of friction monitoring is produced. Is conducted the analysis of patent and license situation in the limits of this problem, and profound analysis the electrical methods of friction monitoring. Is settled the directions of the same effective application various methods, means and diagnostically parameter for the friction monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема трибомониторинга является одной из важнейших при решении ряда актуальных задач, в число которых входят задачи трибологии в процессе проведения фундаментальных и прикладных исследований трибосопряжений, узлов трения, машин и механизмов, а также широкий круг задач технического диагностирования, контроля и прогнозирования состояния указанных объектов при их изготовлении, испытаниях, техническом обслуживании в процессе эксплуатации и ремонте.

Сложность процессов и явлений, происходящих в зонах трения трущихся деталей, приводит к тому, что, с одной стороны, существует большое количество основанных на

различных принципах методов трибомониторинга, а с другой стороны, невозможно получить исчерпывающую информацию о состоянии трибообъекта при использовании только одного из методов. Каждый из методов лишь в большей или меньшей степени характеризует различные стороны сложных процессов и явлений, протекающих в зоне трения. В этой связи различными научными школами и производственными коллективами проводятся исследования по усовершенствованию существующих и поиску новых принципов выявления информации о состоянии трибообъекта, алгоритмов обработки измерительных сигналов с целью выделения требуемой информации об объекте, а также по разработке реализующих эти принципы и алгоритмы средств трибомониторинга. Проводятся такие работы и в Орловском государственном техническом университете (ОрелГТУ).

Очевидно, что при решении обозначенного круга научно-технических задач проводится анализ состояния вопроса, для реализации которого необходима информационная база, включающая данные: по существующим методам трибомониторинга и направлениям их развития; по перспективным областям применения отдельных методов и конкретных технических решений по средствам; по совокупности известных диагностических параметров в рамках каждого из методов, их информативности и эффективности при решении конкретных задач и т.п.

Такая информационная база на протяжении ряда последних лет формируется на кафедре приборостроения, метрологии сертификации ОрелГТУ. В настоящей статье представлены результаты очередного этапа работ, выполненных в этом направлении в рамках разработки методического обеспечения экспериментальных исследований по проекту 2075 «Исследование электрических явлений в трибосопряжениях при решении задач, связанных с оценкой функционирования «третьего тела» аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)». Содержанием данного этапа работ являлось проведение патентного поиска по проблеме трибомониторинга, анализ существующих методов, параметров и средств трибомониторинга и направлений их эффективного использования, а также обоснования выбора методов и параметров для проведения экспериментальных исследований по оценке свойств «третьего тела».

НАПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ состояния методов и средств трибомониторинга проводился в два этапа, по каждому из которых выполнялись патентные исследования, включающие аналитические обзоры и отчеты о поиске. Начальным этапом работы стал анализ существующих методов и средств трибомониторинга, направленных на получение информации о состоянии фрикционного контакта в различных трибосопряжениях. При этом решались следующие задачи:

- исследование, конкретизация и анализ задач трибологических исследований;

- исследование и анализ номенклатуры используемых методов трибомониторинга, а также диагностических параметров при реализации различных методов;

- анализ патентно-лицензионной ситуации в области трибомониторинга.

На втором этапе работ проводился подробный анализ электрических методов трибомониторинга. Задачами этого этапа были:

- конкретизация областей применения электрических методов трибомониторинга;

- анализ номенклатуры используемых методов и диагностических параметров;

- исследование технического уровня и выявление тенденций развития электрических методов и устройств трибомониторинга;

- анализ патентно-лицензионной ситуации и деятельности научных школ и технических коллективов, работающих в области электрических методов трибомониторинга.

Патентные исследования проведены в соответствии с ГОСТ 15.011-96 «Патентные исследования. Содержание и порядок проведения» [1]. Глубина патентного поиска принята с

1983 г. по 2008 г. В качестве информационной базы определен отраслевой фонд Орловского государственного технического университета и средства Глобальной информационной сети «Интернет» в базе данных Роспатента «Российские патенты на изобретения и патенты на полезные модели, заявки на изобретения, рефераты (1994-2008 г.)». Для поиска информации выбраны УДК 621.891, 621.9.01, 621.822, 620.179, при этом регламент патентного поиска охватил следующие классификационные рубрики МПК в разделе G «Физика»:

G 01 B 7/16 «Устройства для измерения деформации твердых тел»; G 01 B 11/06 «Приспособления к измерительным устройствам для контроля толщины материалов и покрытий»;

G 01 D 1/08 «Измерительные устройства общего назначения, измеряющие не мгновенные, а некоторые другие значения переменных величин, путем дискретного суммирования, через определенные промежутки времени»; G 01 D 21/00 «Способы и устройства для измерения или испытания, не отнесенные к другим подклассам»;

G 01 H 11/00 «Измерение механических колебаний или ультразвуковых, звуковых или инфразвуковых колебаний по изменению электрических или магнитных свойств»;

G 01 K 7/02 «Термометры, действие которых основано на использовании термопар»; G 01 K 11/06 «Термометры, действие которых основано на изменении физических или химических свойств веществ в зависимости от температуры, не отнесенные к группам 3/00 - 9/00, с использованием плавления, замерзания, размягчения»; G 01 K 13/08 «Термометры специального назначения»;

G 01 M 7/00 «Испытание конструкций или сооружений на вибрацию, на ударные нагрузки» (весь класс); G 01 M 13/00 «Испытание деталей машин» (весь класс); G 01 M 15/00 «Испытание машин и двигателей» (весь класс); G 01 M 17/00 «Испытание транспортных средств» (весь класс);

G 01 N 3/00, «Исследование прочностных свойств твердых материалов» (весь класс); G 01 N 19/02 «Исследование материалов механическими способами, определение коэффициента трения»; G 01 N 21/31 «Исследование или анализ материалов с помощью оптических средств, т.е. с использованием инфракрасных, видимых или ультрафиолетовых лучей, системы, в которых на падающий свет влияют свойства исследуемого материала, цвет, спектральные свойства, т.е. сравнение воздействия материала на свет двух или более различных длин волн или в двух или более полосах спектра, путем исследования сравнительного воздействия материала на волновые характеристики особых элементов или молекул, например абсорбционная спектрометрия»; G 01 N 21/00 «Исследование или анализ материалов с помощью оптических средств, т.е. с использованием инфракрасных, видимых или ультрафиолетовых лучей» (весь класс); G 01 N 22/02 «Исследование или анализ материалов с использованием сверхвысокочастотного излучения»; G 01 N 23/04 «Исследование или анализ материалов радиационными методами, не отнесенные к группе 21/00 или 22/00» (весь класс); G 01 N 25/72 «Исследование или анализ материалов с помощью тепловых средств, обнаружение локальных дефектов»; G 01 N 27/00 «Исследование или анализ материалов с использованием электрических, электрохимических и магнитных средств» (весь класс); G 01 N 29/14 «Исследование или анализ материалов с использованием акустической эмиссии»; G 01 N 29/15 «Исследование или анализ материалов с помощью ультразвуковых, звуковых или инфразвуковых волн; визуализация внутреннего строения объектов путем пропускания через них ультразвуковых или звуковых волн через предметы, для обнаружения локальных дефектов в твердых телах, с использованием акустической эмиссии»; G 01 N 33/30 «Исследование и анализ смазок»;

G 01 R 27/00 «Устройства для измерения активного, реактивного и полного сопротивления или электрических характеристик, производных от них, для измерения активного, реактивного и полного сопротивления или других производных от них характеристик двухполосника, например постоянной времени» (весь класс); G 01 R 31/34 «Устройства для определения электрических свойств; устройства для определения местоположения электрических повреждений; устройства для электрических испытаний»;

характеризующихся объектом, подлежащим испытанию, не предусмотренным в других подклассах: испытание электрических машин».

АНАЛИЗ ПАТЕНТНО-ЛИЦЕНЗИОННОЙ СИТУАЦИИ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ТРИБОМОНИТОРИНГА

Проведенный патентный поиск позволил систематизировать информацию о технических решениях и установить следующую обобщенную классификацию методов трибомониторинга: механические методы; тепловые методы; кинематические методы; виброакустические методы (вибродиагностические, шумодиагностические, акустической эмиссии); ультразвуковые методы; методы фотометрии и спектрометрии; электрические методы.

Установлены наиболее эффективные области применения методов трибомониторинга, охватывающие широкий круг задач.

Механические методы эффективно используются в следующих областях: испытания материалов и изделий на трение и износ; контроль качества новых и бывших в эксплуатации подшипников; моделирование процессов трения и изнашивания; диагностирование подшипников качения и скольжения; прогнозирование долговечности подшипников качения; оценка триботехнических свойств пластичных смазочных материалов; оценка технологических свойств смазывающе-охлаждающих жидкостей.

Тепловые методы трибомониторинга имеют такие области эффективного применения, как: определение термических свойств смазочных материалов; установление момента начала разрушения изделия; испытания режущих пластин на твердость; оценка триботехнических свойств смазочных материалов; контроль и диагностирование подшипников качения, зубчатых передач, тормозных систем автотранспорта и железнодорожного транспорта.

Кинематические методы трибомониторинга широко используются для оценки радиальных и осевых нагрузок, перекосов колец подшипников качения, износа деталей трибосопряжения, прогнозирование состояния и определения угла контакта подшипников, оценки размеров локальных дефектов рабочих поверхностей деталей трибосопряжений.

Виброакустические методы эффективно применяются в следующих областях: контроль и диагностирование технического состояния подшипников и редукторов; прогнозирование технического состояния подшипников качения; оценка качества конструкций и процессов их разрушения; испытания колесных пар вагонов железнодорожного транспорта.

Методы фотометрии и спектрометрии обычно используются при оценке кондиционности смазочных масел с присадками и диагностировании механизмов машин по состоянию смазочного материала (при этом анализу подвергаются пробы отработанных масел).

Электрические методы трибомониторинга имеют обширную область применения: контроль и диагностирование подшипников и зубчатых передач; оценка состояния и степени загрязненности смазочных материалов; дефектоскопия, контроль и прогнозирование скорости развития локальных дефектов на поверхностях деталей изделий; испытания материалов на трение и износ; создание информационно-измерительных систем для диагностирования трибологических объектов по комплексным диагностическим параметрам; оценка и прогнозирование степени износа механизмов машин и режущего инструмента; оценка триботехнических свойств многослойных материалов.

Установлена номенклатура используемых диагностических параметров при трибологических исследованиях различными методами, включающая комплекс статистических оценок, предельных и усредненных оценок флуктуирующих при работе трибообъекта диагностических признаков.

Выявлены *направления развития* методов и средств трибомониторинга. Тенденции развития методов и средств трибомониторинга состоят в следующем:

– применение новых диагностических параметров;
 разработка новых алгоритмов обработки измерительной информации и алгоритмов диагностирования, направленных на: выделение информации о состоянии объекта контроля в изделии: раздельное диагностирование поверхностей деталей объекта (интегральная оценка состояния поверхности, поиск локальных дефектов, оценка параметров регулярных отклонения от правильной геометрической формы); совершенствование методов испытаний смазочных и смазочно-охлаждающих материалов;

совершенствование технических средств, направленное на: разработку стендового испытательного и контролирующего оборудования с расширенными функциональными возможностями и улучшенными характеристиками; разработку стационарных и бортовых средств контроля и диагностирования; разработку измерительно-информационных и измерительно-вычислительных диагностических комплексов;

разработка комплексных методов мониторинга, диагностирования и контроля, основанных на совместном использовании различных диагностических признаков и параметров.

Анализ динамики патентования с 2000 по 2008 гг. (рисунки 1 и 2) показывает, что:

наблюдается устойчивая тенденция роста изобретательской активности в анализируемой области (с 8 охранных документов в 2000 г. до 37 – в 2008 г.);

активность деятельности по разработке и усовершенствованию различных методов различна, при этом наиболее интенсивно развивающимися методами являются механические (33 % технических решений), электрические (23 %) и виброакустические (20 %);

поскольку тепловые методы (10 % технических решений), как правило, реализуются путем оценки температуры электрическим методом, весомость электрических методов трибомониторинга существенно возрастает, становясь практически сравнимой с весомостью традиционных и регламентированных в нормативной документации механических методов и существенно превышая весомость широко известных виброакустических методов.

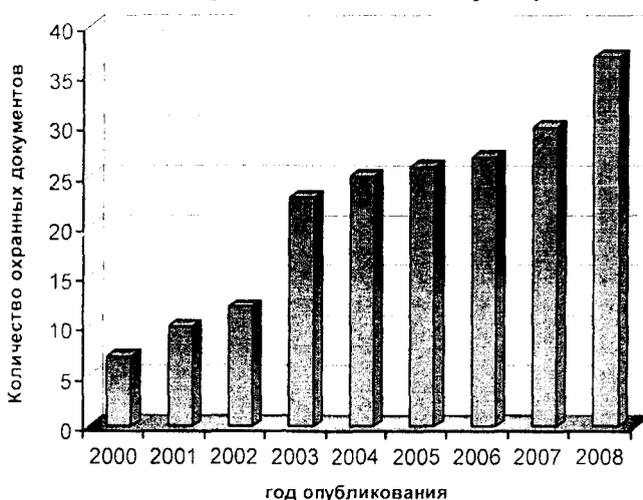
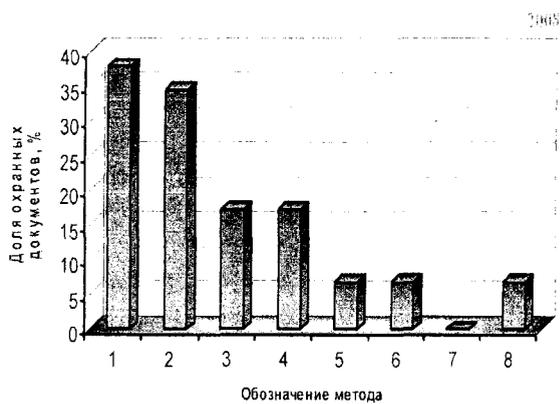
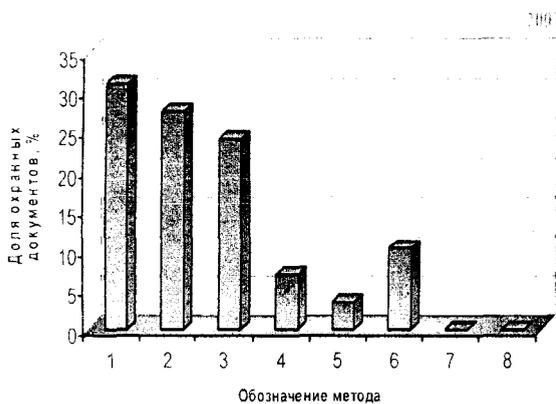
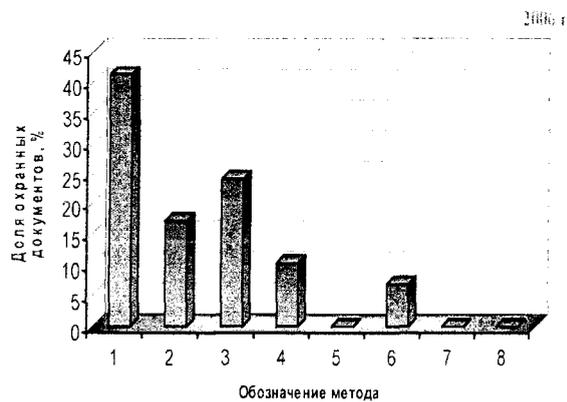
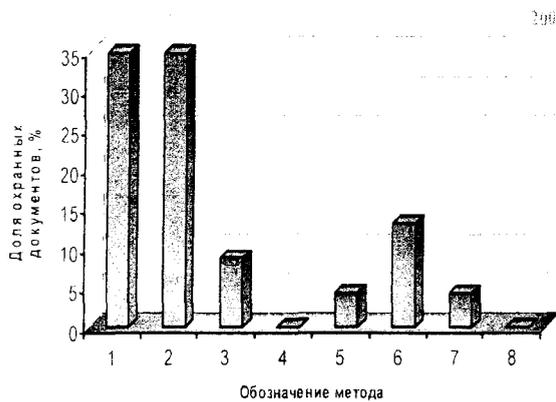
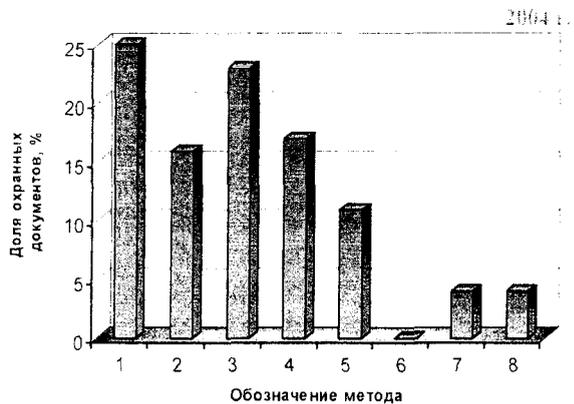
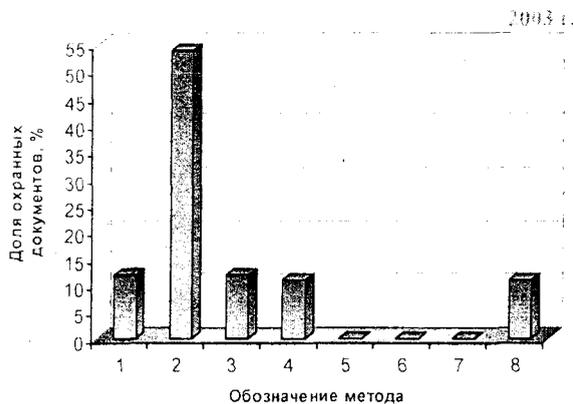
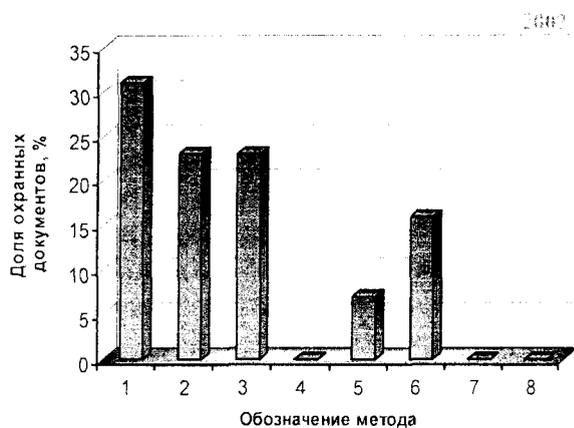
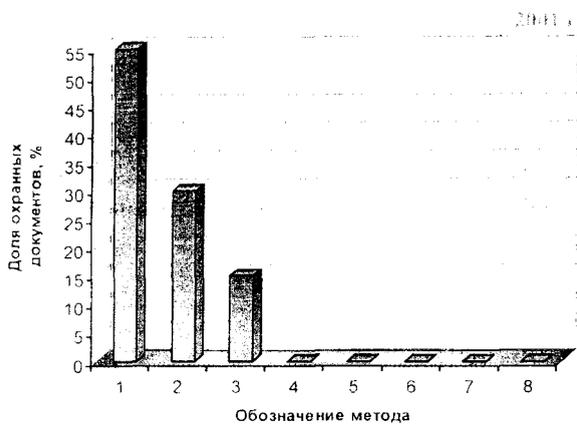


Рисунок 1 – Динамика патентования по проблеме методов и средств трибомониторинга

АНАЛИЗ ПАТЕНТНО-ЛИЦЕНЗИОННОЙ СИТУАЦИИ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ТРИБОМОНИТОРИНГА

На основании проведенных патентных исследований получены результаты, позволяющие оценить патентно-лицензионную ситуацию в данной области электрических методов и средств трибомониторинга по ряду критериев.

Преимущества методов. Установлено, что электрические методы трибомониторинга являются одними из наиболее динамично развивающихся, благодаря известным преимуществам [2] - объективная информация о состоянии трибосопряжения в целом и его отдельных элементах поступает непосредственно из зон трения деталей в форме



1 – механические; 2 – электрические; 3 – вибрационные; 4 – тепловые; 5 – акустической эмиссии; 6 – фотометрические и спектрометрические; 7 – ультразвуковые; 8 – шумовые

Рисунок 2 – Динамика патентования по проблеме методов и средств трибомониторинга с учетом доли технических решений по различным физическим методам

электрического сигнала, удобного для измерения или дальнейшего преобразования, что позволяет создавать сравнительно простые и практически безынерционные по отношению к процессу трения средства трибомониторинга.

Наиболее эффективная область применения данных методов охватывает следующие группы задач:

- оценка триботехнических характеристик материалов и смазочных сред; оценка свойств трибосистемы в режиме избирательного переноса; оценка триботехнических свойств смазочных материалов; оценка триботехнических свойств материалов деталей трибосистемы;
- диагностирование трибосистем: диагностирование фрикционного контакта; диагностирование опор скольжения и качения; диагностирование зубчатых передач; диагностирование тормозных устройств; диагностирование режущего инструмента;
- оценка режима трения в трибосистеме: определение режима и вида смазки трения; определение процесса технологической обкатки и приработки трибосистемы; обоснование режимов работы и экспресс-контроль систем с малым расходом смазочного материала.

Анализ динамики патентования за указанный период свидетельствует о следующем:

1. Тенденция изменения изобретательской активности в анализируемой области за прошедшие двадцать шесть лет (рисунок 3) характеризуется некоторой периодичностью, при этом за последние годы наблюдается стабилизация и даже некоторое возрастание активности:

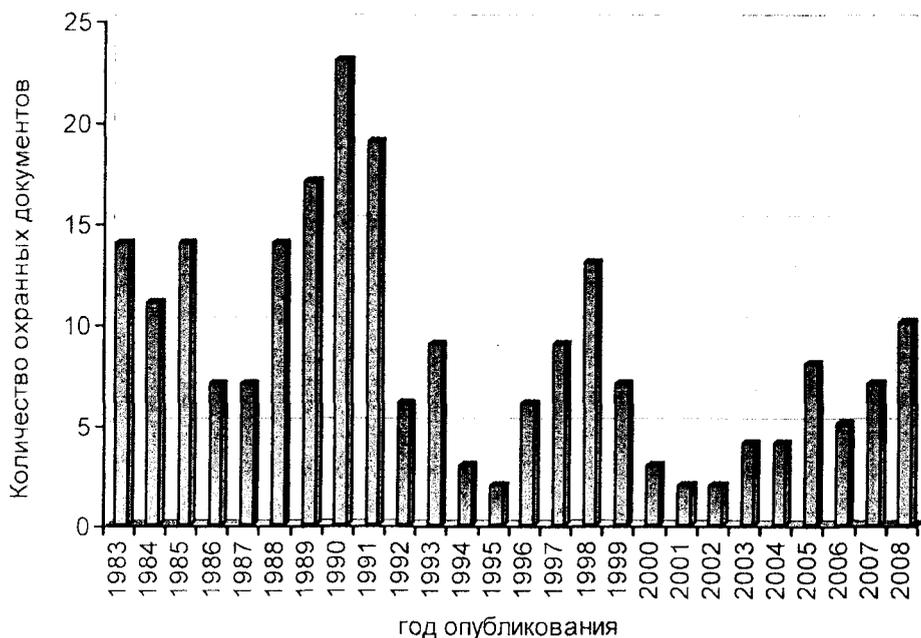
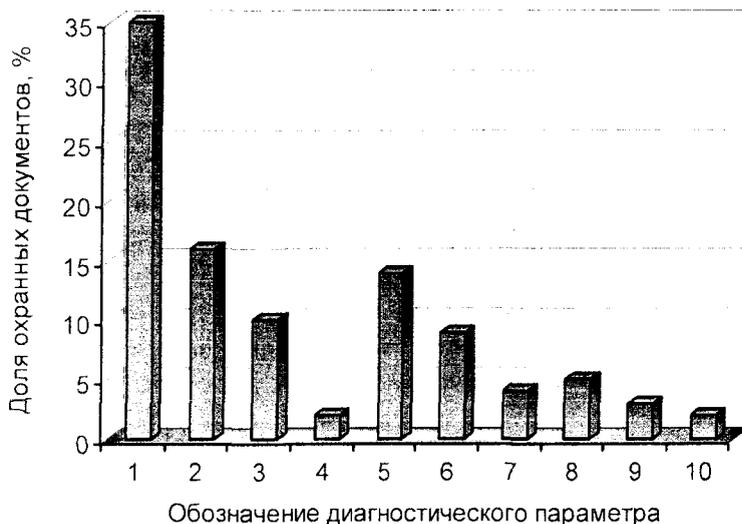


Рисунок 3 – Динамика патентования по проблеме электрических методов трибомониторинга

2. При реализации электрических методов трибомониторинга в процессе проведения научных исследований, диагностики и контроля используется широкий спектр диагностических признаков и характеризующих их параметров (рисунок 4), среди которых наиболее распространенными признаками являются: электрическое сопротивление и проводимость – 37 % технических решений); электродвижущая сила (ЭДС, термоЭДС, электрические потенциалы поверхностей) (с учетом оценки температуры по термоЭДС) – 25 %; параметры электрического микроконтактирования (нормированное интегральное время ШИВ, частота, количество импульсов микроконтактирования в зоне трения за некоторое время, их длительность и т.п.) – 10 %; параметры электрической емкости (емкость, реактивное сопротивление, тангенс угла диэлектрических потерь, диэлектрическая проницаемость) – 9 %; прочие параметры (работа выхода электрона, интенсивность

экзоэлектронной и ионной эмиссии, ЭДС электромагнитной индукции и другие параметры) – 19 %);



1 – сопротивление; 2 – трибо- и термо-ЭДС; 3 – параметры микроконтактирования; 4 – проводимость; 5 – ЭДС электромагнитной индукции; 6 – емкость; 7 – термоток; 8 – потенциалы; 9 – работа выхода электрона; 10 – экзоэмиссия

Рисунок 4 – Доля решений по различным электрическим методам трибомониторинга

3. С учетом того, что параметры микроконтактирования (разрушения смазочной пленки во фрикционном контакте) измеряются путем оценки характеристик флуктуирующего сопротивления или проводимости, следует констатировать, что наиболее распространенными и универсальными являются электропараметрические методы трибомониторинга, в частности электрорезистивные методы (около 47 % технических решений):

Установлено, что *творческими коллективами, наиболее активно работающими в области патентования решений по электрическим методам трибологических исследований, являются* (названия организаций даны на момент выдачи охранных документов): Орловский государственный технический университет (более 8 % от общего количества технических решений); Сибирский федеральный университет (Красноярский политехнический институт) (3 %); Институт машиноведения РАН им. А.А. Благонравова (2 %); Киевский НИИ гражданской авиации (КНИИГА) (2 %); Государственный НИИ гражданской авиации (ГосНИИГА) (2 %); Бобченко А.А. с сотрудниками (2 %); Воинов В.В. и Ледовской И.С. с сотрудниками (2 %); Кочаров Э.А. (2 %); Кауфман А.И. и Корчагин Ю.В. с сотрудниками (2 %); Томский государственный политехнический университет (свыше 14 патентов за последние пять лет); Южно-Российский государственный технический университет или «Новочеркасский политехнический институт» (более 10 патентов за последние пять лет).

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ «ТРЕТЬЕГО ТЕЛА»

Проведена классификация объектов, которые рассматриваются в охранных документах, как «третье тело». К таким объектам относят: твердые электропроводные объекты (поверхностные слои металлических деталей трибосопряжений, покрытия рабочих поверхностей трибосопряжений); пластичные диэлектрические объекты (объемные смазочные материалы, гидродинамические смазочные пленки, граничные смазочные пленки, структура смазочных слоев); твердые диэлектрические объекты (слои абразивных частиц, режущие части инструмента, изготовленные из композиционных и керамических материалов, то есть «твердых сплавов»); поверхностные триботехнические системы (приработанные поверхности, разделенные смазочным материалом, подбор пар трения).

Систематизированы методы диагностирования «третьих тел». В частности, установлено следующее.

1. Техническое состояние поверхностных слоев деталей трибосопряжений диагностируют в большинстве случаев механическими, виброакустическими и электрическими методами.

2. Для диагностирования покрытий рабочих поверхностей используются электрические методы, в частности, электрорезистивные методы (например, АС 991256).

3. Диагностирование гидродинамических смазочных пленок осуществляется, как правило, электрическими методами, причем самыми разнообразными – от термоэмиссионного до электрорезистивного.

4. Граничные смазочные пленки исследуют электрорезистивными методами (АС 1023224).

5. Объемные смазочные материалы диагностируют электрическими методами, например, методом электрического сопротивления (АС 1054732), а также фотометрическими и спектрометрическими методами, при реализации которых анализируют пробы отработанных смазочных материалов. Представляет интерес, например, техническое решение, защищенное АС 1490594, в котором В.Д. Данилов из Института машиноведения имени А.А. Благонравова РАН предлагает способ испытания структурной прочности магнитных смазочных материалов в контакте тел трения. Фактически исследуется явление поверхностного натяжения смазочных материалов, а в качестве диагностического параметра предлагает использовать параметры электрического микроконтактирования (относительную длительность микроконтактирования). Авторы В.И. Анисимов и А.В. Кислицев (АС 1562762) предлагают использовать для аналогичных целей измерение тангенса угла диэлектрических потерь.

6. Для диагностирования абразивных, керамических и композиционных инструментальных материалов широко используются тепловые и электрические методы.

7. Исследование эффекта приработки поверхностей деталей трибосопряжений осуществляют электрическими методами (спектральный анализ падения напряжения на поверхностях трибосопряжения и измерение работы выхода электрона с поверхностей трения) и виброакустическими методами. Весьма перспективным представляется техническое решение, защищенное АС 137767, в котором предлагается подбирать пары трения по результатам измерения трибо-ЭДС и контактной разности потенциалов, а в качестве диагностического параметра рекомендует использовать отношение данных величин. Известны и другие, не менее перспективные диагностические параметры.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Посредством проведенного аналитического обзора по проблеме установлено, что к числу наиболее интенсивно развивающихся методов трибомониторинга относятся механические, электрические, вибрационные и тепловые, при этом наиболее динамично развивающимися являются электрические методы, основанные на использовании в качестве информативных параметров различных электрических параметров зоны трения (электрическое сопротивление, проводимость, емкость, диэлектрическая проницаемость и т.п.) или характеристик сигналов, генерируемых зоной трения (электродвижущая сила, заряд, ток):

2. Выявлены направления наиболее эффективного использования электрических методов получения информации о трибообъектах, направления и задачи, решения которых уже проводятся с использованием электрических методов или есть данные о потенциальной возможности их решения электрическими методами (при формировании этих направлений учитывалась приоритетность электрических методов по сравнению с методами других групп по объективности, информативности, простоте реализации, возможности использования в производственных условиях, широте применения и востребованности в прикладном плане.

3. Определен перечень научных школ, наиболее активно работающих в области разработки методов и средств трибомониторинга: ГосНИИГА; Киевский НИИГА; Институт сверхтвердых материалов АН Украины; НИИ металлополимерных систем НАН Беларуси; Томский государственный политехнический университет; Орловский государственный технический университет; Брянский государственный технический университет, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), НИИПМАШ НАН Беларуси, Институт надежности машин НАН Беларуси.

4. В рамках разработки методического обеспечения экспериментальных исследований, связанных с проблемой изучения «третьего тела» выполнена классификация объектов, которые рассматриваются в охранных документах, как «третье тело» (твердые электропроводные объекты, пластичные диэлектрические объекты, твердые диэлектрические объекты, поверхностные триботехнические системы); систематизированы методы диагностирования «третьих тел» и обоснован выбор методов для экспериментальных исследований:

– в качестве базовых определены электропараметрические методы, в частности, электрорезистивные методы диагностирования, основанные на определении статистических амплитудных и временных оценок параметров флуктуирующего при работе трибообъекта электрического сопротивления зоны трения;

– для оценки процессов, связанных с деструкцией смазочной среды, а также отдельных свойств смазочного материала, определяющих свойства третьего тела (например, косвенное влияние химических свойств на основные показатели качества смазочной среды), могут быть использован модифицированный диэлькометрический метод;

– существенную информативность имеют параметры, применяемые в электрических генераторных методах при анализе тепловых процессов в поверхностных слоях деталей пары трения, в частности, ЭДС зоны трения может нести информацию о наличии третьего тела, представленного модифицированными твердыми слоями.

Работа выполняется при поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)», код проекта 2.1.2/2075.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 ГОСТ 15.011-96 «Патентные исследования. Содержание и порядок проведения» [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 37 с.
- 2 Акустические и электрические методы в триботехнике [Текст] / Под ред. В.А. Белого. – Минск: Наука и техника, 1987. – 265 с.

Подмастерьев Константин Валентинович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборостроение, метрология и сертификация»

Тел. (4862)41-98-21

E-mail: asms-orel@mail.ru

Марков Владимир Владимирович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

Тел. (4862)41-98-76

ПАХОЛКИН Е.В., ФОКИН Н.Н.

МЕТОДИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С ОЦЕНКОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СМАЗОЧНОГО СЛОЯ

Работа содержит описание решения некоторых задач, в которых возникает необходимость расчета толщины смазочного слоя и распределения гидродинамического давления в зоне трения. Разработанные методическое и программное обеспечение позволяют решать как классические задачи, так и более сложные, например, связанные с оценкой влияния на процесс трения особенностей микрогеометрии рабочих поверхностей.

Work describes solution of some problems of lubrication layer thickness calculation of friction zone. Also calculate distribution of hydrodynamic pressure for a friction zone by simulation. This software allows solving as classical problems. As extension it solves more difficult problems. For example it is estimation of significance of micro-geometry of working surfaces to process of a friction.

ВВЕДЕНИЕ

При работе трибообъекта между поверхностями трения формируется слой смазочного материала, который при определенных условиях может полностью разделять поверхности. Структура этого слоя неоднородна, а свойства отличаются от свойств исходного смазочного материала. Этим отчасти объясняется существование понятия «третье тело» [1], под которым понимается рабочий слой, создающийся в зоне фрикционного взаимодействия контактирующих тел, в котором расположены фрикционные связи, а также заполняющие пространство между ними смазочный материал и продукты износа. Состояние смазочного слоя, прежде всего, его толщина и несущая способность определяются большим числом факторов. К основным, учитываемым в различных математических моделях, относят режимы и условия работы трибообъекта, его геометрию, реологические свойства смазочного материала.

На этапе проектирования узлов трения с целью определения их работоспособности, выбора материалов для пары трения, выбора смазочного материала выполняют различной степени сложности оценочные расчеты. Конечной целью таких расчетов является нахождение значения λ -параметра, который зависит от соотношения толщины смазочного слоя в зоне трения и высоты микронеровностей. Для определения толщины смазочного слоя в общем случае решается контактно-гидродинамическая (эласто-гидродинамическая) задача или используются более простые оценочные аналитические и эмпирические зависимости.

Другой областью, в которой возникают задачи моделирования контактных и гидродинамических процессов, является трибодиагностика. В частности, разработка электропараметрических методов трибодиагностики, теоретическая оценка их эффективности, обоснование принципов построения технических средств трибодиагностики требуют решения описанной задачи. При этом во многих случаях классические подходы к определению толщины смазочного слоя оказываются непригодными. Например, оценка влияния параметров дефектов микрогеометрии рабочих поверхностей на значение диагностического параметра требует внесения изменений в известные модели. Специфика моделирования процессов трения также возникает при исследовании «третьего тела», при необходимости учета расширенного перечня характеристик смазочного материала.

С учетом сказанного, целью работы является совершенствование методического обеспечения и разработка оригинального программного обеспечения теоретических исследований, в которых выполняется оценка несущей способности смазочного слоя.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

При синтезе математических моделей контактно-гидродинамических процессов в опорах качения за основу можно принять подход, использованный Д.С. Кодниром. Данный подход учитывает количественную взаимосвязь гидродинамического давления в зоне контакта и толщины смазочной пленки с параметрами, характеризующими микрорельеф контактирующих поверхностей, а также некоторые свойства смазочного слоя.

Математическая задача сводится к определению двух взаимосвязанных параметров – $k_0(x)$ и $h(x)$ на основании следующей системы уравнений.

$$\begin{cases} \frac{\partial k_0(x)}{\partial x} = \frac{6 \mu (U_a + U_b) (h_0 - h(x)) e^{-nk_0(x)}}{h^3(x)} \\ h(x) = h_{m1} - \Delta + x^2 (\lambda_a \pm \lambda_b) / 2 + A' k_0(x) / E \end{cases} \quad (1)$$

где $k_0(x)$ – гидродинамическое давление в точке с координатой x ; μ – абсолютная вязкость масла в данной точке;

U_a, U_b – окружные скорости тел качения;

h_0 – толщина смазочного слоя в точках экстремумов давления;

$h(x)$ – толщина смазочного слоя в данной точке;

n – пьезокоэффициент вязкости;

h_{m1} – наименьшее расстояние между двумя недеформируемыми окружностями;

Δ – сближение трущихся поверхностей;

λ_a, λ_b – кривизны поверхностей в точке контакта до деформации;

A' – коэффициент пропорциональности между прогибом поверхности и отношением гидродинамического давления к модулю упругости;

E – приведенный модуль упругости трущихся поверхностей.

Для решения системы уравнений (1) осуществлялся переход к безразмерным аналогам координаты z , зазора $H(z)$ и давления $k(z)$:

$$z = x/B_1; \quad H(z) = h(x)/h_0; \quad k(z) = k_0(x)/B. \quad (2)$$

Введенные параметры B и B_1 определяются следующим образом:

$$B_1 = \sqrt{\frac{2 h_0}{\lambda_a \pm \lambda_b}}; \quad B = \frac{6 \mu_0 (U_a + U_b)}{h_0^2} \sqrt{\frac{2 h_0}{\lambda_a \pm \lambda_b}}. \quad (3)$$

Независимыми безразмерными параметрами, определяющими решение контактно-гидродинамической задачи, являются параметры B_n и C :

$$B_n = \frac{6 \mu_0 (U_a + U_b) n}{h_0^2} \sqrt{\frac{2 h_0}{\lambda_a \pm \lambda_b}}; \quad C = \frac{A' B}{E h_0}. \quad (4)$$

В соответствии с граничными условиями, в месте обрыва смазочного слоя безразмерная абсцисса $z = a$, толщина слоя $h = h_0$, давление $k_0 = k = 0$, тогда в этой точке $H(z) = 1$. Система уравнений (1) представляется в безразмерном виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial k(z)}{\partial z} = \frac{1 - H(z)}{H^3(z)} e^{-B_n k(z)}; \\ H(z) = 1 - a^2 + z^2 + C k(z). \end{cases} \quad (5)$$

Из представленной системы уравнений можно найти эпюры зазора и давления в зоне трения, а также гидродинамическую грузоподъемность:

$$K = \int_a^b k(z) dz, \quad (6)$$

где b – конц зоны трения.

РЕШЕНИЕ МОДЕЛИ

Систему (5) можно классифицировать как систему с дифференциальными уравнениями первого порядка. В математической практике система (5) классифицируется как задача Коши. В вычислительной практике наиболее часто используется метод Рунге-Кутты четвертого порядка (алгоритм RK4).

Один из вариантов соответствующих расчетных формул для реализации метода:

$$\begin{cases} k_1 = r \cdot f(x, y); \\ k_2 = r \cdot f\left(x + \frac{r}{2}, y + \frac{k_1}{2}\right); \\ k_3 = r \cdot f\left(x + \frac{r}{2}, y + \frac{k_2}{2}\right); \\ k_4 = r \cdot f(x + r, y + k_3); \\ y = \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4), \end{cases} \quad (7)$$

где k_1, k_2, k_3, k_4 – некоторые коэффициенты, используемые для вычисления y ;
 y – искомая величина;
 r – шаг.

Полагая, что $y = k(z)$ и $f(x, y) = \frac{1-H(z)}{H^3(z)} e^{B_n k(z)}$ можно решить систему (5), задавшись

некоторым произвольным шагом r . При этом следует отметить, что погрешность на шаге пропорциональна пятой степени шага r . Таким образом, для увеличения точности алгоритма RK4 необходимо уменьшение значения r . С другой стороны, уменьшение шага приводит к увеличению времени вычислений.

Для устранения противоречия можно изначально задаться некоторым шагом r . Если значения функции $y(r)$ и $y(r/2)$ отличаются меньше, чем на принятую приемлемую погрешность δ , то значение r принимается, иначе проверка выполняется с переходом к значению шага $r/2$.

Рассмотрим примеры использования модели.

Одной из задач, связанных с оценкой состояния смазочного слоя, является исследование влияния отклонений геометрии рабочих поверхностей трибосопряжения на характер трения. С целью учета, например, регулярного рельефа систему (5) можно модифицировать следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{\partial k(z)}{\partial z} = \frac{1-H(z)}{H^3(z)} e^{B_n k(z)}; \\ H(z) = 1 - a^2 + z^2 + Ck(z) + J \sin(jz), \end{cases}$$

где J – амплитуда регулярного рельефа;
 j – коэффициент, задающий период регулярного рельефа.

Результат расчета толщины смазочного слоя с учетом неидеального рельефа представлен на рисунке 1 (с использованием оригинального программного обеспечения, которое будет описано ниже).

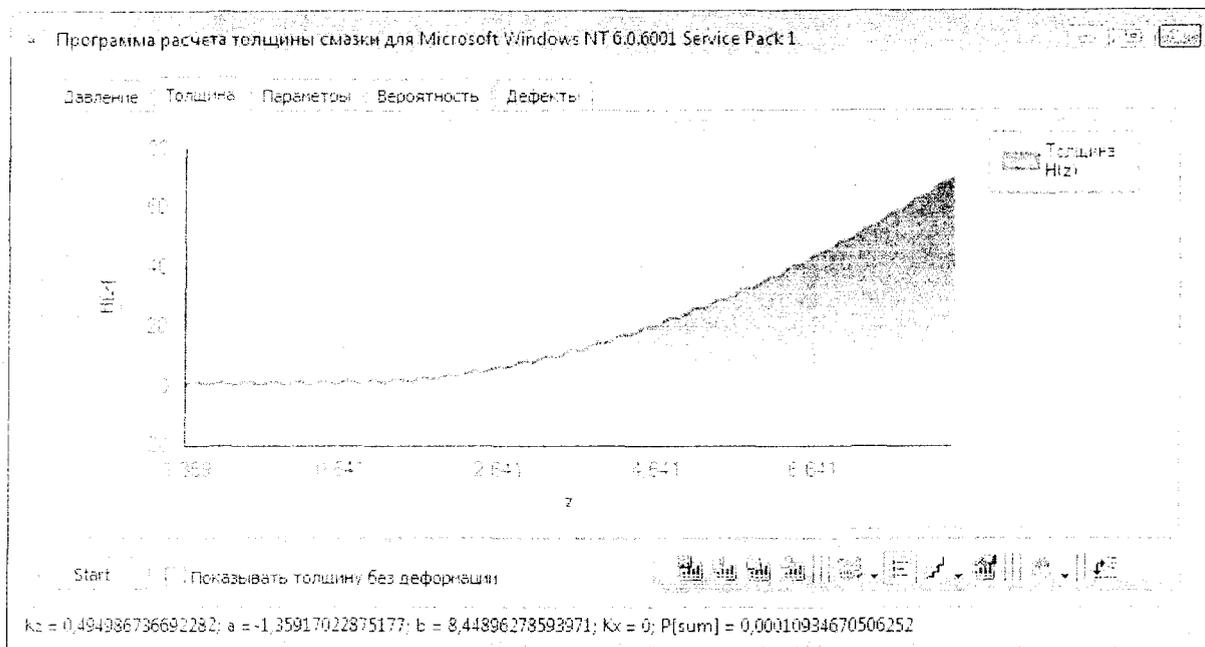


Рисунок 1 – Результат расчета толщины смазочного слоя с учетом регулярного рельефа

Интересной с точки зрения трибодиагностики является задача оценки влияния локальных дефектов рабочих поверхностей на состояние смазочного слоя и, соответственно, на диагностические параметры.

Программа использует для моделирования локальных дефектов предложенные в [2] полиномы. Система (5) модифицируется следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{\partial k(z)}{\partial z} = \frac{1-H(z)}{H^3(z)} e^{B_n k(z)}; \\ H(z) = 1 - a^2 + z^2 + Ck(z) + D(z), \end{cases} \quad (8)$$

где $D(z)$ – некоторая функция, описывающая геометрию локального дефекта.

В качестве $D(z)$ предложено использовать полиномы Баттерворта и Чебышева:

$$D(x) = \frac{D_{\max}}{\sqrt{(x-x')^S + 1}}; D(x) = \frac{D_{\max}}{\sqrt{\varepsilon^2 T_n^S(x-x')^S + 1}}, \quad (9)$$

где x, ε – коэффициенты, определяющие вид функции;

D_{\max} – параметр амплитуды (глубины) дефекта.

На рисунке 2 приведен результат расчета эюры гидродинамического давления в зоне трения при наличии локального дефекта.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Начальные условия, для которых выполняется расчет, задаются на вкладке «Параметры». Вид окна программы при вызове данной вкладки показан на рисунке 3. Гидродинамические свойства могут вводиться жестко через параметры B, B_n, C системы (5). Кроме того, предусмотрена возможность расчета данных параметров при вводе значений факторов, определяющих контактные и гидродинамические процессы (скорость, вязкость, параметры геометрии, радиальная сила и т.п.).

Для начала расчета необходимо нажать на кнопку «Старт». На время данной процедуры все элементы управления блокируются. Прогресс процесса демонстрируется активным окном со свойством отображаться поверх большинства окон.

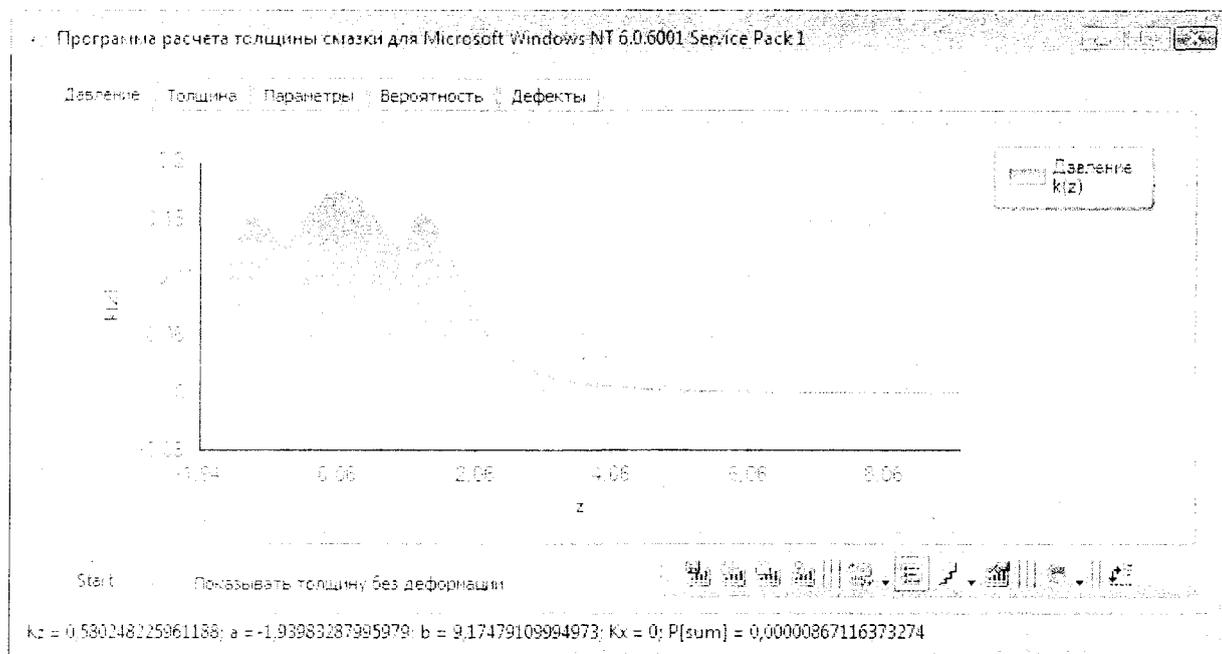


Рисунок 2 – Эпюра гидродинамического давления при использовании полинома Баттерворта для моделирования локального дефекта ($s = 10$ и $D_{max} = 1$)

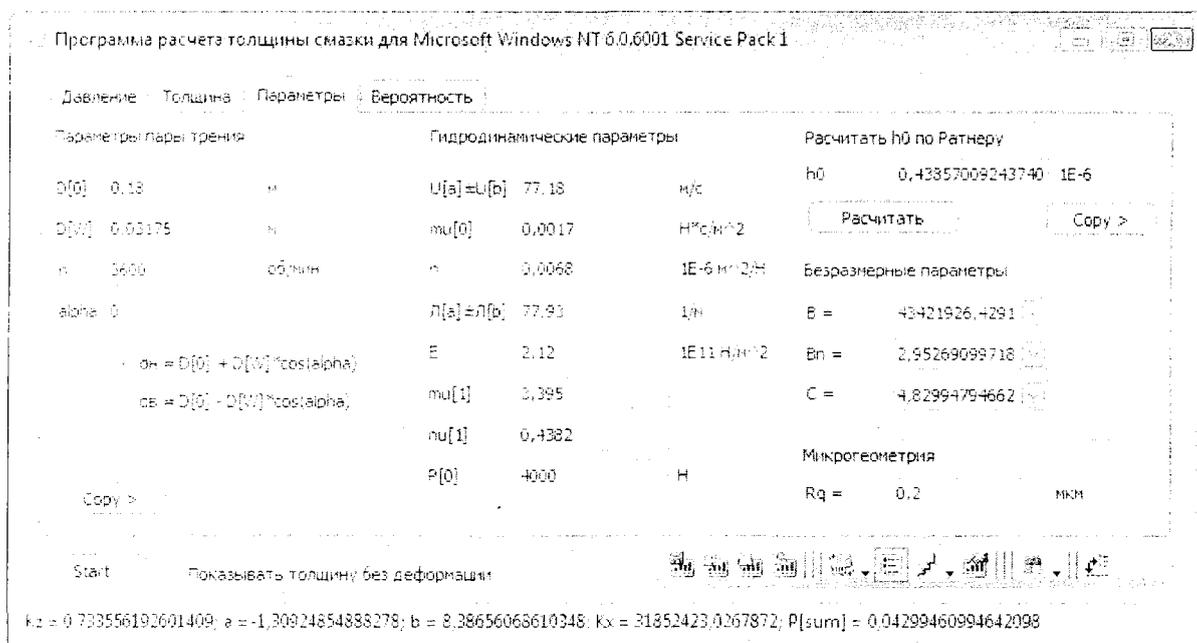


Рисунок 3 – Вкладка «Параметры»

Программа отображает результат расчета в виде эпюр гидродинамического давления в зоне трения, как показано на рисунках 1 и 2.

Минимальные требования к компьютеру для работы с программой:

- процессор совместимый Intel Pentium III 500 MHz или выше;
- операционная система Windows XP SP2, Vista, Windows 7;
- память 12 Mb RAM;
- НЖМД 20 Mb.

ВЫВОДЫ

Разработанные методические подходы к анализу контактных и гидродинамических процессов в зоне трения расширяют перечень решаемых задач, касающихся оценки несущей способности смазочного слоя.

Разработанное программное обеспечение пригодно для выполнения инженерных расчетов на этапе проектирования узлов трения, а также представляет интерес в научной практике при исследовании процессов в зоне трения.

Работа выполняется при поддержке РФФИ, грант 09-08-99076, а также при поддержке аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)", код проекта 2.1.2/2075.

ЛИТЕРАТУРА

1 Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) [Текст] / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

2 Подмастерьев, К.В. Электрический метод и средства поиска локальных дефектов опор качения [Текст] / К.В. Подмастерьев, Е.В. Пахолкин // Дефектоскопия. – 1998. – №8.

Пахолкин Евгений Васильевич

Орловский Государственный Технический Университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры "Приборостроение, метрология и сертификация"

Тел. (4862) 419876

E-mail: Eugene_P@bk.ru

Фокин Николай Николаевич

Орловский Государственный Технический Университет, г. Орел

Ассистент кафедры "Приборостроение, метрология и сертификация"

Тел. (4862) 419876

E-mail: alphabet2004@mail.ru

УДК 371.49 : 371.261

А.В. КИРИЧЕК, А.В. МОРОЗОВА

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО
ОЦЕНИВАНИЯ ПРИОРИТЕТНОЙ СФЕРЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ВЫПУСКНИКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА**

В статье анализируется опыт разработки и применения методики выбора приоритетной сферы деятельности выпускников инженерно-технических специальностей вуза на основании анализа качества сформированности их социально-профессиональных компетенций с применением экспертно-аналитических систем.

In article experience of development and application of a technique of a choice of a priority field of activity of graduates of nonproduction specialities of high school on the basis the analysis of quality of their social - professional level with application expert-analytical systems is analyzed.

Одной из проблем, наиболее остро стоящих перед выпускниками инженерно-технических специальностей вуза, является проблема выбора такой сферы своей профессиональной деятельности, в которой сформированные в вузе социально-профессиональные компетенции могли бы быть максимально востребованы и давали бы молодому специалисту возможность быстро завоевать авторитет в трудовом коллективе и иметь оптимальный карьерный рост.

В основу проведенных на базе Технологического института Орловского государственного технического университета исследований была положена номенклатура обобщенных компетенций и операционально определяемых требований к компетенциям, соответствующая системам аккредитации стран-участниц Вашингтонского соглашения и общеевропейской системы аккредитации инженерных программ, созданной в рамках проекта EUR-ACE [1], а также успешно используемый для решения самых разнообразных задач выбора оптимального решения и смежных вопросов метод анализа иерархий [2].

С учетом основных составляющих системы потенциальной сферы деятельности молодых специалистов предлагается следующая структура иерархии (рисунок 1).

Система составляющих ресурсного потенциала содержит три подсистемы верхнего уровня: «БАЗОВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ» - когнитивная компетенция и компетенция знания и понимания; «ЛИЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ» - креативная компетенция, социально-психологическая компетенция и личностные навыки; «ИНЖЕНЕРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ» - инженерный анализ, инженерное проектирование, инженерная практика и исследования.

Подсистема составляющих ресурсного потенциала содержит девять компонентов среднего уровня: КОГНИТИВНАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ, КОМПЕТЕНЦИИ ЗНАНИЯ И ПОНИМАНИЕ, КРЕАТИВНАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ, СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ, ЛИЧНОСТНЫЕ НАВЫКИ, ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ, ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИНЖЕНЕРНАЯ ПРАКТИКА И ИССЛЕДОВАНИЯ.

Результирующая система потенциальных сфер профессиональной деятельности специалиста содержит шесть подсистем нижнего уровня:

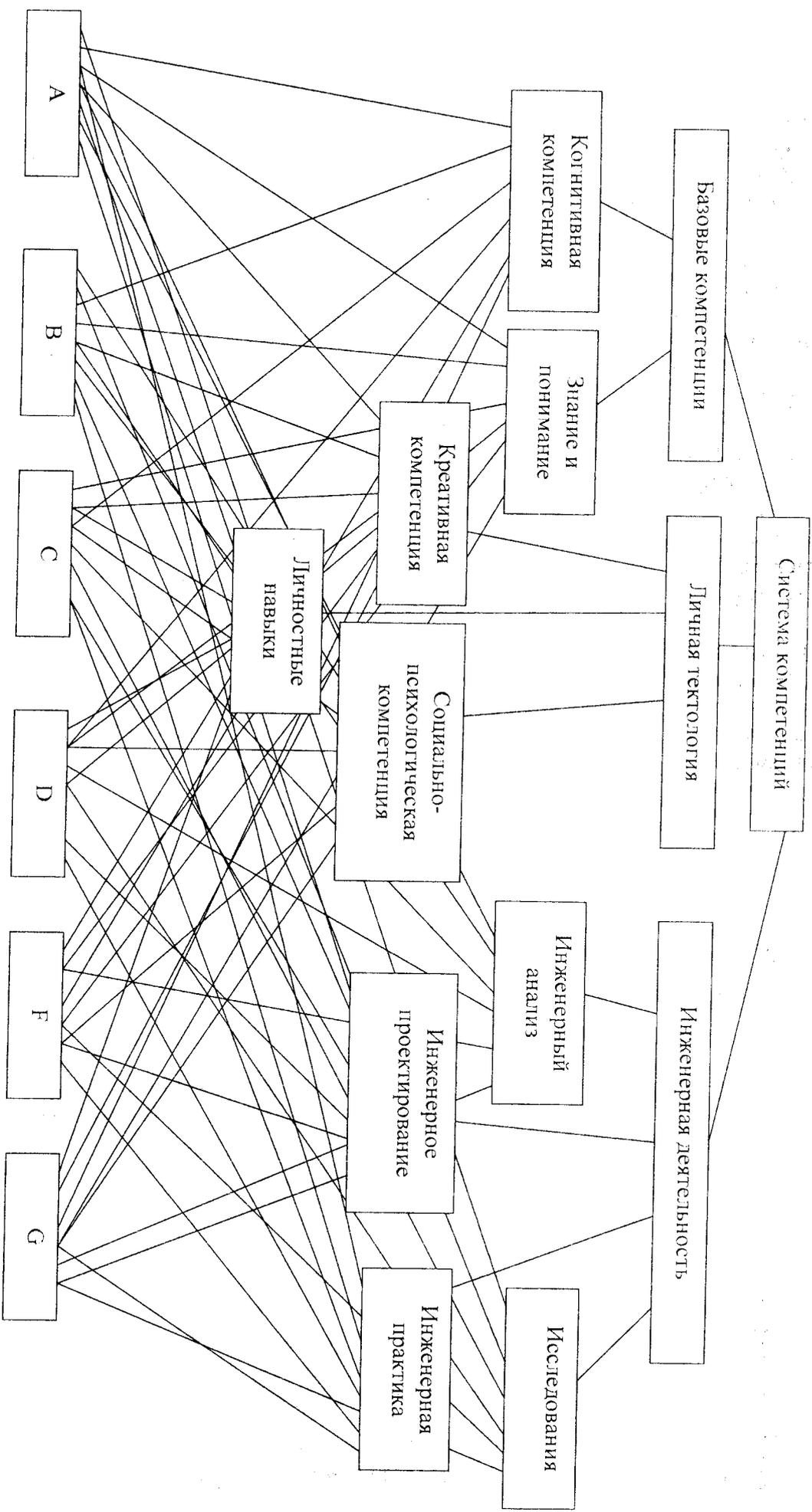


Рисунок 1 - Иерархия системы социально-профессиональных компетенций специалиста (выпускника системы ВПО университетского комплекса)

А - работа по специальности на предприятии с высоким уровнем технического оснащения и технологической культуры производства;

В - работа по специальности на предприятии со средним и низким уровнем технического оснащения;

С - работа не по специальности (смена специальности и получение второй специальности высшего профессионального образования);

Д - обучение в аспирантуре при смене профиля специальности, по которой уже получено высшее профессиональное образование;

Е - обучение в аспирантуре с сохранением профиля специальности, по которой уже получено высшее профессиональное образование;

Г - работа не по специальности (приобретение рабочей профессии).

Следующий этап - построение множества матриц парных сравнений – по одной матрице для каждого элемента примыкающего сверху уровня. Таких матриц тринадцать:

- одна матрица для сравнения обобщенных групп компонентов системы социально-профессиональных компетенций специалистов (выпускников системы ВПО технического профиля);

- три матрицы – для сравнения долевого вклада влияния каждой компоненты системы социально-профессиональных компетенций в результирующем значении всей группы (сумма долевых знаний компонент, входящих в каждую анализируемую группу, должна быть равна результирующему значению влияния всей группы);

- девять матриц – для сравнения соответствия сформированности определенной компоненты системы социально-профессиональных характеристик специалиста и уровню востребованности этой характеристики в анализируемой сфере профессиональной деятельности.

Итогом трехэтапного сравнительного анализа является результирующий вектор выбора приоритетной сферы профессиональной деятельности, при этом принципиально важным моментом является контроль за уровнем согласованности матрицы суждений ($OC \leq 0,20$), который автоматически вычисляется при формировании итоговой гистограммы.

Рассмотрим один из вариантов применения методики экспертно-аналитического оценивания приоритетной сферы деятельности выпускника вуза.

I этап. Формирование матрицы парных сравнений второго уровня (обобщенных групп системы социально-профессиональных компетенций) (таблица 1).

Таблица 1

	Базовые компетенции	Личная тектология	Инженерная деятельность
Базовые компетенции	1,000	0,200	1,000
Личная тектология	5,000	1,000	3,000
Инженерная деятельность	1,000	0,333	1,000

II этап. Получение вектора приоритетов второго уровня (обобщенных групп системы социально-профессиональных компетенций) (рисунок 2).

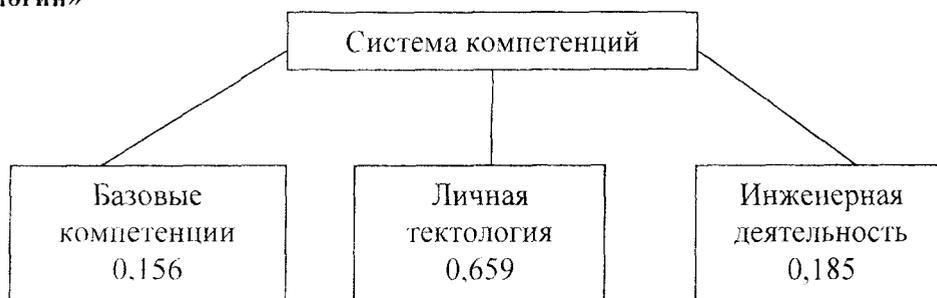


Рисунок 2

III этап. Формирование матрицы парных сравнений третьего уровня по обобщенной группе БАЗОВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ (таблица 2).

Таблица 2

	Когнитивная компетенция	Знания и понимание
Когнитивная компетенция	1,000	0,333
Знания и понимание	3,000	1,000

IV этап. Формирование вектора приоритетов третьего уровня третьего уровня по обобщенной группе БАЗОВЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ (рисунок 3).

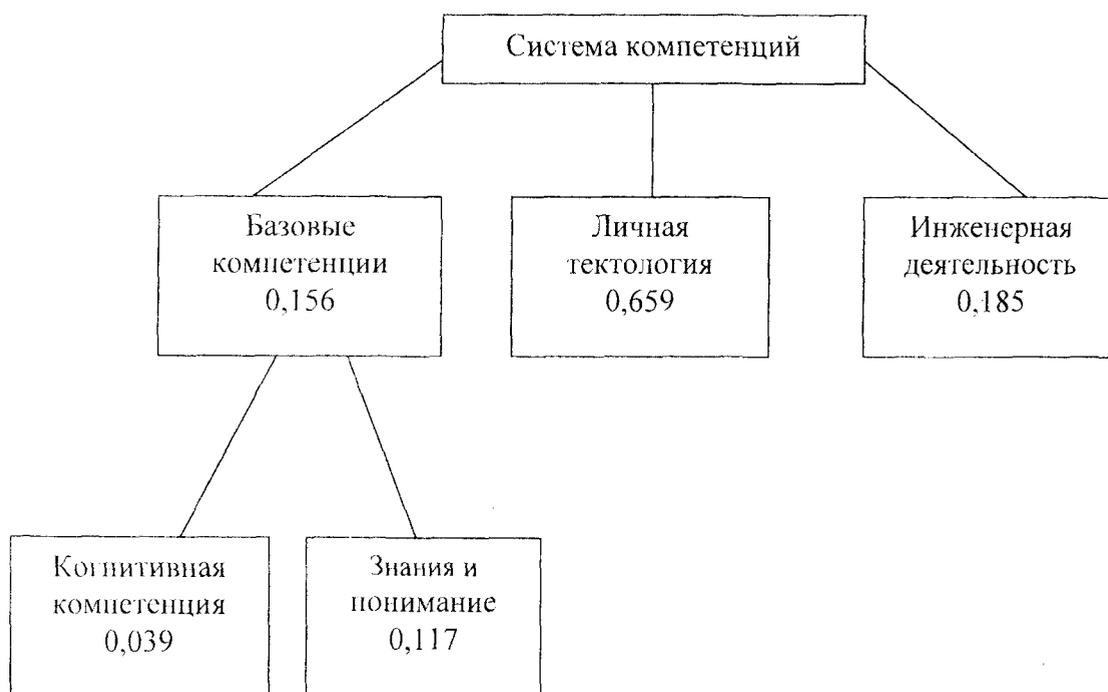


Рисунок 3

V этап. Формирование матрицы парных сравнений третьего уровня по обобщенной группе ЛИЧНАЯ ТЕКТОЛОГИЯ (таблица 3).

Таблица 3

	Креативная компетенция	Социально-психологическая компетенция	Личностные навыки
Креативная компетенция	1,000	1,000	0,111
Социально-психологическая компетенция	1,000	1,000	0,333
Личностные навыки	9,000	3,000	1,000

VI этап. Формирование вектора приоритетов третьего уровня по обобщенной группе ЛИЧНАЯ ТЕКТОЛОГИЯ (рисунок 4).

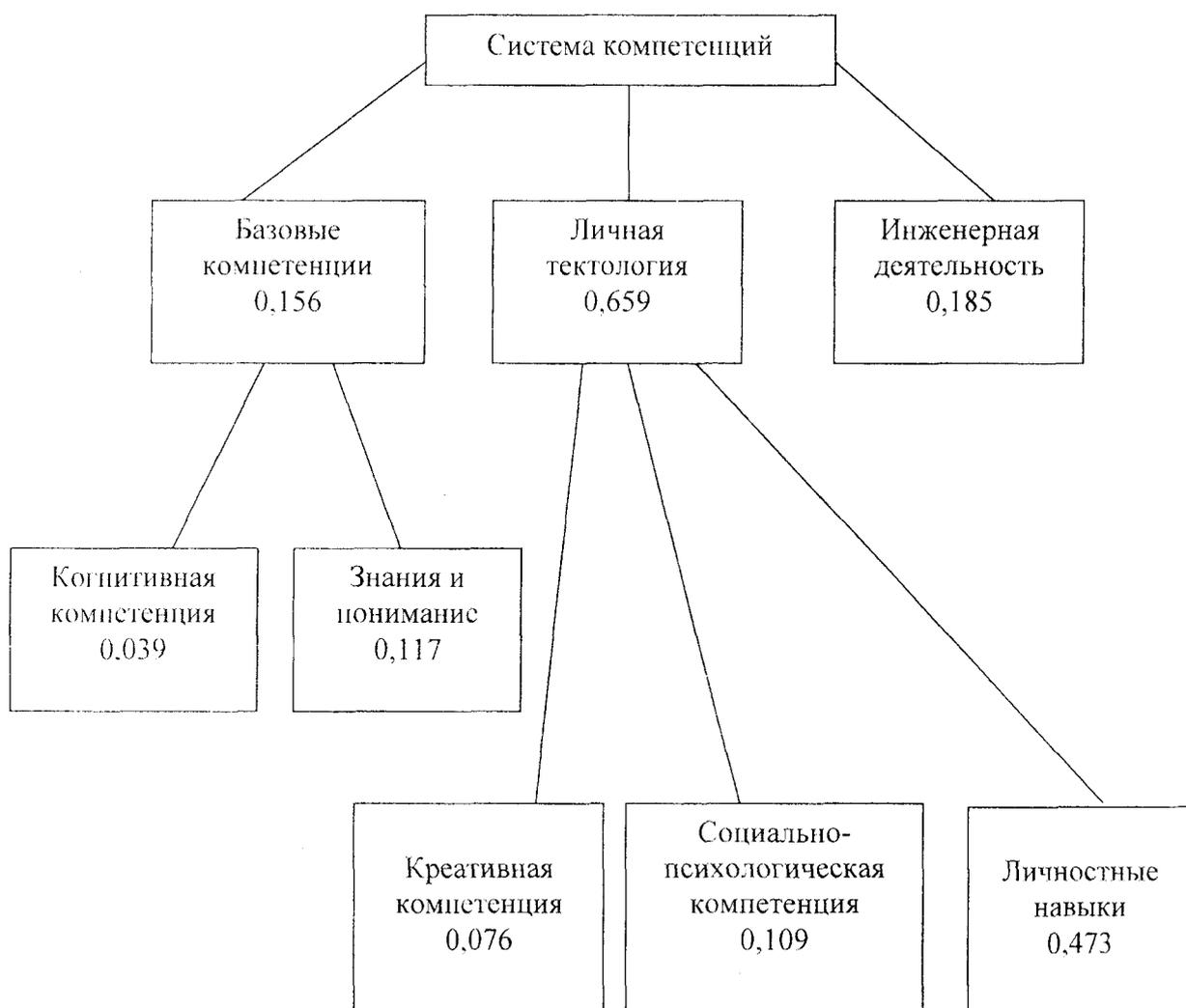


Рисунок 4

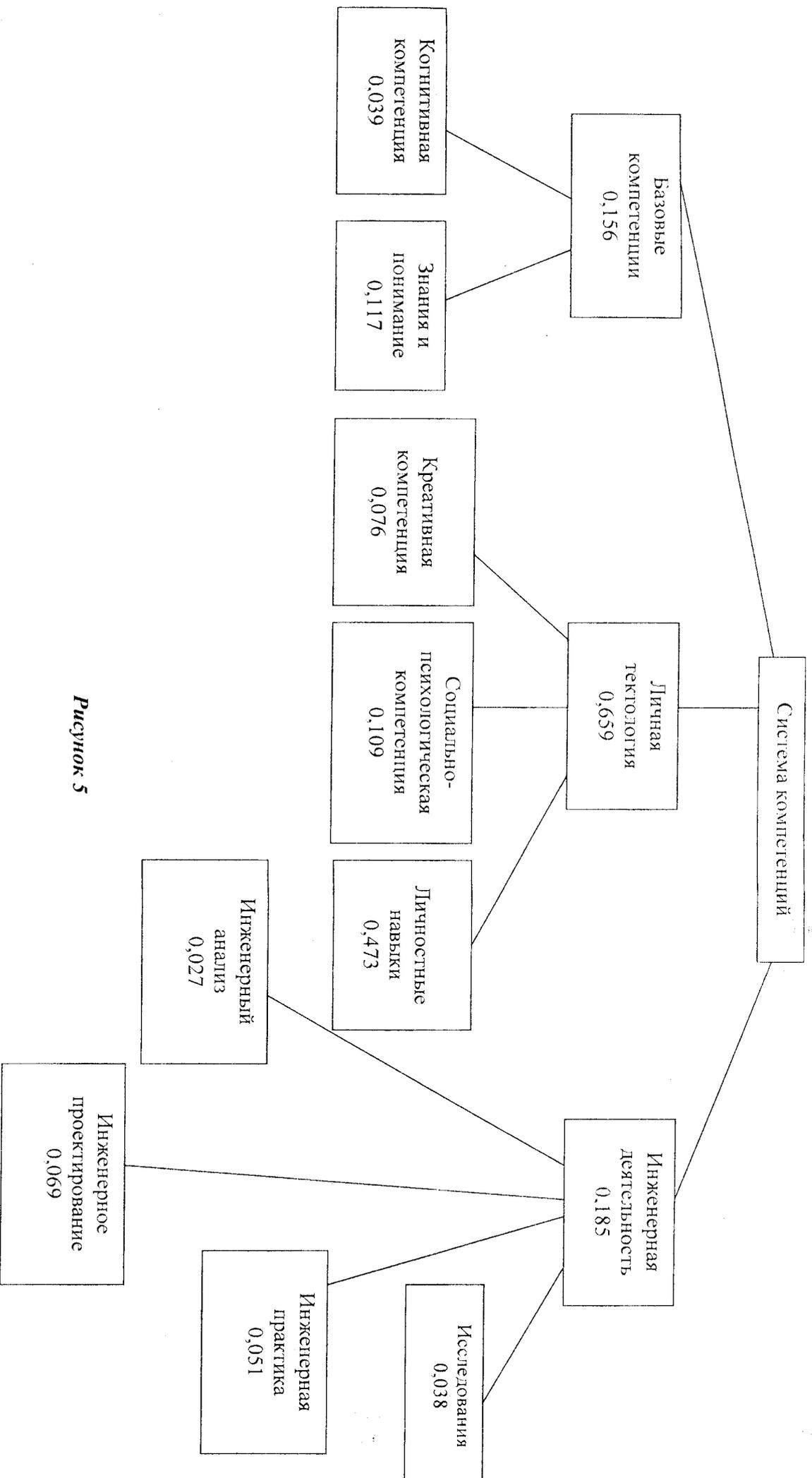


Рисунок 5

Вектор приоритетов
 $\mu_{max} = 5,27$ $\mu_C = 0,05$ $\mu_G = 0,04$

■	0,035 A
▨	0,303 B
■	0,158 C
▨	0,065 D
■	0,032 F
▨	0,408 G

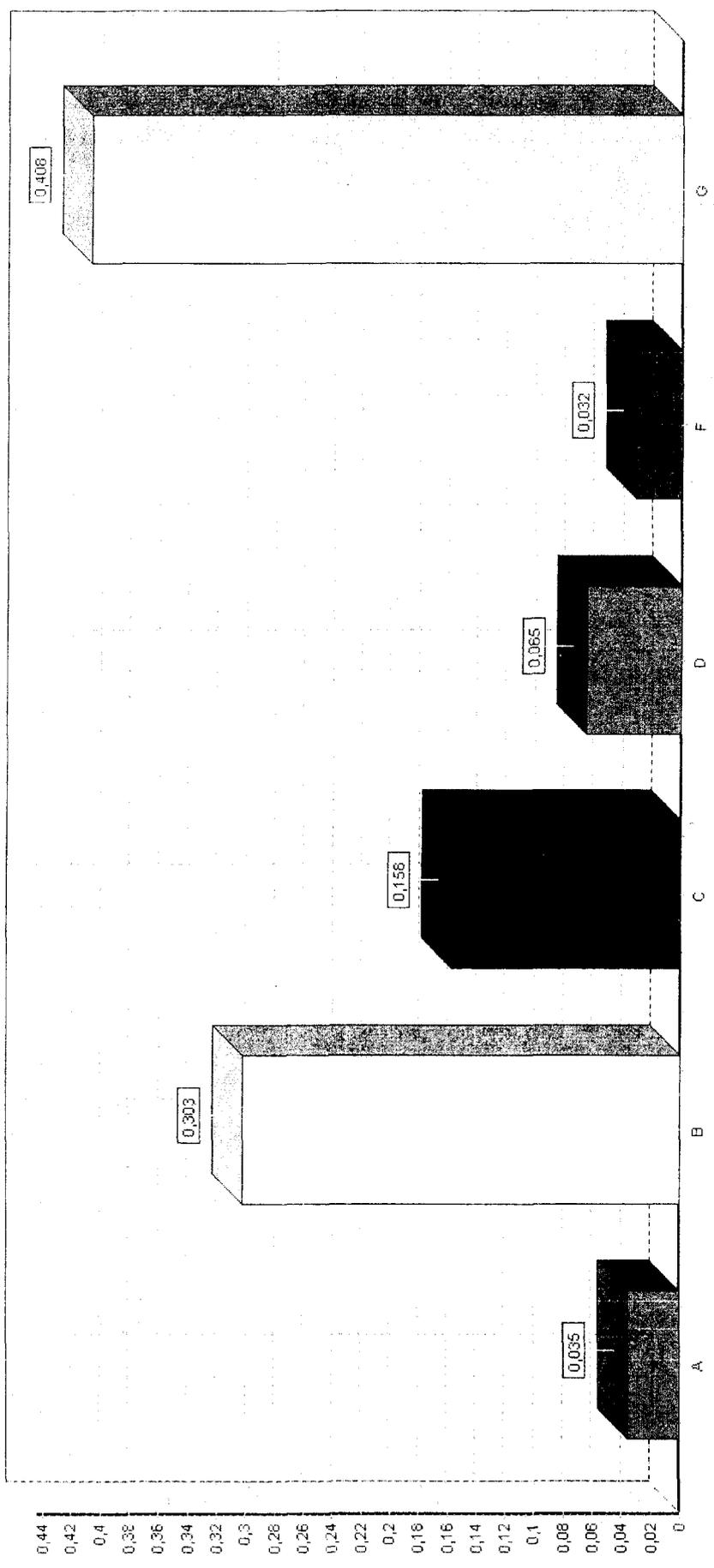


Рисунок 6

VII этап. Формирование матрицы парных сравнений третьего уровня по обобщенной группе ИНЖЕНЕРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ (таблица 4).

Таблица 4

	Инженерный анализ	Инженерное проектирование	Инженерная практика	Исследования
Инженерный анализ	1,000	0,333	0,500	1,000
Инженерное проектирование	3,000	1,000	3,000	1,000
Инженерная практика	2,000	0,500	1,000	2,000
Исследования	1,000	1,000	0,500	1,000

VIII этап. Формирование вектора приоритетов третьего уровня по обобщенной группе ИНЖЕНЕРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ (рисунок 5).

IX этап. Формирование системы матриц парных сравнений четвертого уровня по выбору приоритетной сферы профессиональной деятельности (таблица 5).

Таблица 5

	A	B	C	D	F	G
A	1,000	0,343	0,200	0,500	1,000	0,111
B	7,000	1,000	3,000	7,000	9,000	0,333
C	5,000	0,333	1,000	3,000	5,000	0,500
D	2,000	0,143	0,333	1,000	3,000	0,200
F	1,000	0,111	0,200	0,333	1,000	0,111
G	9,000	3,000	2,000	5,000	9,000	1,000

X этап. Формирование вектора приоритетов четвертого уровня по выбору приоритетной сферы профессиональной деятельности (рисунок 6).

Рекомендации: Специалисту (выпускнику системы ВПО инженерно-технического профиля), имеющему в структуре системы социально-профессиональных компетенций приоритет личной технологии с долей - 0,659 и малозначительным уровнем сформированности других техникоориентированных компонент целесообразно по окончании учебного заведения избрать рабочую профессию.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ассоциация инженерного образования в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://itonline.ru/news/?id=4723>
- 2 Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

Киричек Андрей Викторович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

директор Технологического института ОрелГТУ

Морозова Анна Валентиновна

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат социологических наук, заместитель директора по НИР Технологического
института ОрелГТУ

Тел. (4862) 54-15-19

E-mail: niotostu@gmail.com

УДК 371.49

А.В. МОРОЗОВА

ПЕРВИЧНАЯ ЭКСПЕРТИЗА БАЗ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО МАТЕМАТИКЕ

В статье анализируется опыт проведения первичной экспертизы баз тестовых заданий на примере репетиционных тестов по учебной дисциплине «Математика»

In article experience of carrying out of primary examination of bases of test tasks is analyzed by the example of rehearsal tests on a subject matter "Mathematics"

Первичную экспертизу баз тестовых заданий целесообразно организовывать после получения результатов апробационного эксперимента на базе кафедр, сотрудники которых участвуют в разработке этих продуктов. Эта работа, к проведению которой необходимо привлечь специалистов, владеющих математико-статистическими методами анализа баз данных, имеет смысл только в случае, когда при проведении апробационного эксперимента сами разработчики базы тестовых заданий пришли к выводу о том, что она пригодна к внедрению в образовательный процесс.

Анализ научной литературы [1], посвященной проблемам математико-статистических исследований в области тестологии, позволяет сформировать перечень основных процедур, которые должны быть включены в такую экспертизу:

- анализ спецификации базы тестовых заданий на предмет соответствия перечню учебной дисциплины, включенной в содержательное поле базы, и системе дидактических единиц этой учебной дисциплины;
- определение теоретической трудности тестовых заданий и ее сопоставление с фактической, полученной при проведении апробационного эксперимента;
- расчет шкалы уровня трудности каждого задания в тестовой форме;
- формирование балльной оценочной шкалы;
- формирование четырехбалльной шкалы отметок по результатам тестирования;
- оценка качества тестовых материалов;
- оценка согласованности мнений экспертов при оценке качества тестовых заданий;
- определение ошибки выборочной совокупности базы тестовых заданий;
- определение объема выборки тестовых заданий;
- определение объема выборочной совокупности студентов при тестировании;
- определение уровня надежности теста и погрешности измерения тестового балла;
- определение критериального балла (минимальное количество баллов, которое необходимо набрать испытуемому, для успешного прохождения теста);

- определение уровня валидности теста.

Остановимся на методике реализации отдельных процедур, проводимых в ходе экспертизы.

Определение фактической (апостериорной) трудности тестового задания. Из банка данных рассмотрим два задания, для которых разработчики определили следующие уровни трудности:

задание А – теоретически интерпретируется как трудное;

задание Б – теоретически интерпретируется как задание средней трудности.

Рассматривается выборка из шести подгрупп студентов, которые тестировались по учебной дисциплине и в ходе работы с тестом отвечали, в том числе, и на задания А и Б. За правильное выполнение каждого задания студенту начислялось 100 баллов. По этим подгруппам сформирована матрица средних баллов по каждому выполненному заданию, в которой задания А и Б имеют следующие показатели:

Таблица 1

Условное обозначение подгруппы	Значение среднего балла по заданию А	Значение среднего балла по заданию Б
1	20	34
2	56	58
3	48	46
4	40	52
5	34	40
6	42	38

Для оценивания трудности тестового задания выбираются различные шкалы для каждого из них. Априорно введем следующую шкалу теоретической трудности тестового задания.

Таблица 2

Результат тестирования, W, балл	Оценка (отметка) уровня знаний	Уровень теоретической трудности
$0 \leq W < 25$	«2» – «неудовлетворительно»	Трудный
$25 < W \leq 50$	«3» – «удовлетворительно»	
$50 < W \leq 75$	«4» – «хорошо»	Средней трудности
$75 < W < 100$	«5» – «отлично»	
		Легкий

Произведем расчет средних значений, полученных по тестовому заданию А среди всех шести подгрупп:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{20 + 56 + 48 + 40 + 34 + 42}{6} = 40$$

Этот уровень соответствует средней трудности по эталонной (априорной) шкале.

Изначально это задание составителем интерпретировалось как трудное.

Следовательно, априорное значение трудности в данном случае не будет совпадать с апостериорным (фактическим) значением, которое будем считать верным для данной выборки. Для повышения объективности результатов оценивания можно рассчитать апостериорную (фактическую) шкалу для данной выборки, учитывая самый высокий и

самый низкие баллы для этого тестового задания. В этом случае $B_{\min} = 20$ и $B_{\max} = 56$, тогда интервал оценок для апостериорной шкалы имеет следующую величину:

$$\Lambda = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{n}$$

где Λ - разница между уровнями шкалы, n - количество оценочных групп по выборочной совокупности. Таким образом, разница между оценками по тестовому заданию А равна

$$\Lambda = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{n} = \frac{56 - 20}{4} = 9$$

Тогда шкалы для этой выборки будут выглядеть следующим образом:

$$Sh_2 = B_{\min} + 9 = 20 + 9 = 29;$$

$$Sh_3 = Sh_2 + 9 = 29 + 9 = 38;$$

$$Sh_4 = Sh_3 + 9 = 38 + 9 = 47;$$

$$Sh_5 = Sh_4 + 9 = 47 + 9 = 56 = B_{\max}.$$

Отсюда следует, что для тестового задания А получается следующая схема распределения баллов:

Таблица 3

Результат тестирования, W, балл	Оценка (отметка) уровня знаний	Уровень теоретической трудности
$X < Sh_2$ $X < 29$	«2» -- «неудовлетворительно»	Трудный
$Sh_2 \leq X \leq Sh_3$ $29 < X < 38$	«3» - «удовлетворительно»	Средней трудности
$Sh_3 \leq X \leq Sh_4$ $38 < X < 47$	«4» -- «хорошо»	
$X \geq Sh_4$ $X > 47$	«5» -- «отлично»	Легкий

Аналогично проведем анализ уровня апостериорной трудности задания Б.

Произведем расчет средних значений, полученных по тестовому заданию Б среди всех шести подгрупп:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{34 + 58 + 46 + 52 + 40 + 38}{6} = 44,7$$

Этот уровень соответствует средней трудности по эталонной (априорной) шкале.

Изначально это задание составителем также интерпретировалось как задание среднего уровня трудности. Следовательно, априорное значение трудности в данном случае будет совпадать с апостериорным значением, которое будем считать верным для данной выборки. Как и в предшествующем случае, для повышения объективности результатов оценивания можно рассчитать апостериорную (фактическую) шкалу для данной выборки, учитывая

самый высокий и самый низкие баллы для этого тестового задания. В этом случае $B_{\min} = 34$ и $B_{\max} = 58$, тогда интервал оценок для апостериорной шкалы имеет следующую величину:

$$\Delta = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{n}$$

где Δ - разница между уровнями шкалы, n - количество оценочных групп по выборочной совокупности. Таким образом, разница между оценками по тестовому заданию Б равна

$$\Delta = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{n} = \frac{58 - 34}{4} = 6$$

Тогда шкалы для этой выборки будут выглядеть следующим образом:

$$Sh_2 = B_{\min} + 9 = 34 + 6 = 40;$$

$$Sh_3 = Sh_2 + 6 = 40 + 6 = 46;$$

$$Sh_4 = Sh_3 + 6 = 46 + 6 = 52;$$

$$Sh_5 = Sh_4 + 6 = 52 + 6 = 58 = B_{\max}.$$

Отсюда следует, что для тестового задания Б получается следующая схема распределения баллов:

Таблица 4

Результат тестирования, W. балл	Оценка (отметка) уровня знаний	Уровень теоретической трудности
$X < Sh_2$ $X < 40$	«2» – «неудовлетворительно»	Трудный
$Sh_2 \leq X \leq Sh_3$ $40 < X < 46$	«3» – «удовлетворительно»	Средней трудности
$Sh_3 \leq X \leq Sh_4$ $46 < X < 52$	«4» – «хорошо»	
$X \geq Sh_4$ $X > 52$	«5» – «отлично»	Легкий

Основываясь на расчетных нормах, проведем итоговый подсчет баллов, в результате которого получаем следующее.

Уровень трудности тестовых заданий среди испытуемых распределился следующим образом:

Таблица 5

Условное обозначение подгруппы	Уровень трудности по заданию А	Уровень трудности по заданию Б
1	«Трудный»	«Трудный»
2	«Средней трудности»	«Легкий»
3	«Легкий»	«Средней трудности»
4	«Средней трудности»	«Средней трудности»
5	«Средней трудности»	«Средней трудности»
6	«Средней трудности»	«Средней трудности»

Тогда распределение студентов в соответствии с уровнями трудности заданий имеет следующий вид:

Таблица 6

Уровень трудности	Задание А	Задание Б
«Трудный»	16,7 %	16,7 %
«Средней трудности»	66,6 %	66,6 %
«Легкий»	16,7 %	16,7 %

Оценка качества тестовых материалов проводится с учетом следующих обобщенных характеристик тестового задания: логичность, однозначность и ясность смысла, содержательность, полнота и достаточность, компактность и свернутость, сложность и трудность.

Опыт российских тестологов по разработке и оценке качества тестовых заданий позволяет определить основные факторы, влияющие на качество тестовых материалов [1]:

1 Задание должно быть сформулировано кратко, его максимальная физическая длина не может превышать 250 символов (12 слов или словосочетаний). Должно соблюдаться правило – лучше длинная формулировка, чем длинные заключения, а не наоборот. Повторяющиеся фразы в заключениях переносятся в тестовое суждение. Название фактора «ФизД» – «Физическая длина». Возможные качественные значения: 0 – недопустимая; 1 – превышенная; 2 – допустимая; 3 – оптимальная.

2 Задание формулируется в форме повествовательного предложения, не может содержать никаких форм отрицаний, не может быть представлено в форме вопроса, задачи, загадки, пословицы, поговорки, определения. Обозначение фактора – «ФормулТЗ» – «Формулировка тестового задания». Возможные качественные значения: 0 – недопустимая; 1 – слабая; 2 – допустимая; 3 – оптимальная.

3 Следует избегать обобщающих слов: «всегда», «никогда», «иногда», «все» и т.д. желательно начинать тестовое задание с определяющего символа, а не с предлога, союза или частицы, исключаются неоднозначные слова: «когда-нибудь», «или», «либо» и т.д. Название фактора – «ЛишС» – «Лишние слова». Возможные качественные значения: 0 – лишние слова присутствуют; 1 – отсутствие лишних слов.

4 Должно быть предусмотрено достаточное количество вариантов заключений (в закрытой форме – 4-6, последовательность 4-8, соответствие – 3-5, в открытой форме должны быть предусмотрены все возможные образцы выводов). Название фактора – «КолЗ» – «Количество заключений». Возможные качественные значения: 0 – вариантов слишком мало; 1 – вариантов слишком много; 2 – оптимальное количество вариантов.

5 Тестовое задание должно соответствовать ФГОС или учебной программе. Название фактора – «СоотвГОС» - «Соответствие ГОС». Возможные качественные значения: 0 – не соответствует; 1 – слабо соответствует; 2 – соответствует.

6 Уровень значимости содержания тестового задания в процессе тестирования. Название фактора – «УрЗнач» - «Уровень значимости». Возможные качественные значения: 0 – сомнительный; 1 – приемлемый; 2 – важный; 3 – самый важный.

7 Максимально допустимое время для формирования правильного заключения минимально подготовленным испытуемым не должно быть слишком большим. Название фактора – «Вр» - «Время». Возможные качественные значения: 0 – более двух минут, 1 – одна-две минуты и менее.

8 Тестовое задание должно быть однозначным. Название фактора – «Однозн» - «Однозначность». Возможные качественные значения: 0 – не однозначно; 1 – слабо однозначно; 2 – однозначно.

9 Свернутость тестового задания – шкала показывает насколько наглядно, компактно сформулировано данное тестовое задание, и насколько оно приведено к форме, облегчающей тестируемому целостное восприятие содержания тестового суждения. Название фактора – «Сверн» - «Свернутость». Возможные качественные значения: 0 – низкая; 1 – средняя; 2 – высокая.

10 Тестовое задание должно быть ясным и понятным по смыслу. Ясность смысла тестовой ситуации и представления тестового задания свидетельствует о том, что при конструировании тестовой ситуации ничего существенного не упущено, а исходные предпосылки и требование проблемной ситуации понятны для тестируемых с определенным уровнем обученности. Название фактора – «Смысл» - «Смысловое содержание». Возможные качественные значения: 0 – не ясно; 1 – ясно.

Для удобства проведения первичной экспертизы баз тестовых заданий целесообразно эти характеристики занести в таблицу:

Таблица 7

№ задания	Признаки	Обозначение фактора												
		«ФизД»	«ФормулЗ»	«ЛишС»	«КолЗ»	«СоотвГОС»	«УрЗнач»	«Вр»	«Однозн»	«Сверн»	«Смысл»			
1
2
...

Идеальным по качеству тестовым заданием, с точки зрения предложенных методологических правил, могут быть тестовые суждения, в которых соблюдены и присутствуют выше перечисленные факторы, содержащие признак с самым высоким приоритетом. Отсюда получают:

$$q = \sum_{i=1}^n r_{\max_i}$$

где q - показатель максимального качества, r_{\max_i} - наивысшие значения показателей признаков. Для используемой методики оценки качества тестовых заданий

$$q = \sum_{i=1}^n r_{\max_i} = 3 + 3 + 1 + 2 + 2 + 3 + 1 + 2 + 2 + 1 = 20$$

Рассмотрим опыт применения методики оценки качества тестовых заданий на следующем примере. Пусть задан фрагмент базы тестовых заданий, для которых эксперты заполнили таблицу факторов оценки качества тестовых заданий (таблица 8).

В соответствии с отраслевым стандартом «Качества продукции» вычислим значения показателей качества для каждого тестового задания по формуле:

$$Q_i = \frac{q_i}{q_{ib}}$$

где q_{ib} - значение базового показателя, равное в используемой методике 20, а q_i - индивидуальное значение качества i -го показателя.

Таблица 8

№ задания	Обозначение фактора										Показатель качества q_i	Базовый показатель
	«ФизД»	«ФормуЛПЗ»	«ЛишС»	«КолЗ»	«СоотвГОС»	«УрЗнач»	«Вр»	«Однозн»	«Сверн»	«Смысл»		
1	1	1	1	2	0	3	2	1	0	1	12	20
2	2	2	2	3	1	2	1	2	1	1	17	20
3	0	0	1	0	0	2	2	1	0	0	6	20
4	1	1	1	1	0	2	0	2	0	0	8	20
5	1	2	3	3	1	3	2	2	1	1	19	20

Получим следующие показатели качества:

Таблица 9

	Номер задания				
	1	2	3	4	5
Значение показателя качества	0,6	0,85	0,3	0,4	0,95

Исходя из того, что базовый показатель качества принимает максимальное значение 1, используем следующую шкалу оценивания качества тестовых заданий [80].

Таблица 10

Уровень качества тестового задания	Значение показателя Q_i
Высокий уровень качества	$0,9 \leq Q_i < 1$
Средний уровень качества	$0,7 \leq Q_i < 0,9$
Низкий уровень качества	$0,5 \leq Q_i < 0,7$

Непресмлемый уровень качества	$Q_i > 0,5$
-------------------------------	-------------

Тогда результаты по анализируемому перечню тестовых заданий имеют вид:

Таблица 11

Номер задания	1	2	3	4	5
Уровень качества	Низкий	Средний	Непресмлемый	Непресмлемый	Высокий

По итогам проведенной на кафедре первичной экспертизы группе разработчиков было рекомендовано:

- задания № 1, № 3 и № 4 - из базы тестовых заданий удалить;
- задания № 2 и № 5 - рекомендовать к использованию при составлении тестов.

Определение объема выборки студентов при организации пробного тестирования сводится к расчету объема выборки при оценке доли. В этом случае:

$$n = \frac{N \cdot t_{\alpha}^2 \cdot w \cdot (1 - w)}{d^2 \cdot N + t_{\alpha}^2 \cdot w \cdot (1 - w)}$$

где w обозначает ожидаемую долю используемых при тестировании тестовых заданий;

n - размер выборки студентов;

N - размер генеральной совокупности студентов;

t_{α} - показатель кратности ошибки выборки при заданном уровне надежности $(1 - \alpha)$ (где уровень погрешности α обычно принимают равным 10%, 5% или 1%), при этом значение

t_{α} находят с использованием статистических таблиц:

Таблица 12 Значение показателя кратности ошибки выборки t_{α} при заданном уровне погрешности α [2]:

$(1 - \alpha)$ (%)	80	85	90	95	99
t_{α}	1,28	1,44	1,64	1,96	2,57

Так, например, при проведении апробационного тестирования по учебной дисциплине выборка была сформирована в количестве

$$n = \frac{N \cdot t_{\alpha}^2 \cdot w \cdot (1 - w)}{d^2 \cdot N + t_{\alpha}^2 \cdot w \cdot (1 - w)} = \frac{24 \cdot 1,96^2 \cdot 0,02 \cdot (1 - 0,02)}{0,2^2 \cdot 24 + 1,96^2 \cdot 0,02 \cdot (1 - 0,02)} = 23$$

Это значит, что при обучении в учебной группе 24 студентов, среди которых 5% (т.е. – один студент, или $(5 + 2)\%$) окажется «неуспевающим», то прогноз оправдывается для всей учебной группы с уровнем надежности 95 %.

Рассмотренный опыт первичной выборки тестовых заданий при экспертизе программно-педагогических материалов позволяет значительно сократить время проведения экспертизы тестовых материалов, а, следовательно, оптимизировать по экономическим

параметрам стоимость проведения экспертизы тестовых заданий на соответствие критериям качества.

Кроме того, дополнительно при проведении первичной экспертизы баз тестовых заданий могут быть определены следующие показатели:

- индивидуальные баллы тестируемых;
- средний результат суммарных баллов тестируемых;
- средние результаты тестируемых по каждому заданию;
- статистическая мера трудности;
- дисперсия и стандартное отклонение суммарных результатов баллов тестируемых по всем видам заданий;
- дисперсия и стандартное отклонение суммарных результатов баллов тестируемых по каждому заданию;
- парная корреляция заданий между собой и др.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Попов, Д.И. Экспертиза качества тестовых заданий [Текст] / Д.И. Попов, Е.Д. Попова. М.: МГУИТ, 2008. – 84 с.
- 2 Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

Морозова Анна Валентиновна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат социологических наук, заместитель директора по НИР
Технологического института ОрелГТУ
Тел. (4862) 54-15-19
E-mail: niorostu@gmail.com

УДК 378 : 377.5 : 006.015.5

Т.А. НОЗДРАЧЕВА, Ю.К. СОТНИКОВ, А.В. МОРОЗОВА

НИРС КАК ФАКТОР ПРОФЕССИОНАЛЬНО-РОЛЕВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СТУДЕНТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО КОЛЛЕДЖА

В статье анализируется опыт вовлечения студентов профессионального колледжа в научно-исследовательскую работу на ранних этапах их обучения, следствием чего является оптимизация их позиции в структуре профессионально-ролевого дифференциала, а также изменение параметров внутриорганизационных социальных норм в коллективах учебных заведений.

In article experience of involving of students of professional college in research work at early stages of their training is analyzed, investigation of that is optimization of their position in structure of professional - role differential, and also change of parameters of intraorganizational social norms in collectives of educational institutions.

Современное общество заинтересовано в эффективности социальных структур, возникающих в процессе материального и духовного воспроизводства кадров. Поэтому поиски путей повышения эффективности процесса профессиональной социализации выпускников в условиях модернизации института среднего профессионального образования приобретают не только социальную, но и стратегическую значимость. Последнее обстоятельство связано с тем, что эффективность профессиональной социализации в целом

определяет, по нашему мнению, социальное качество народонаселения страны, а основой динамики всех социальных систем, обеспечивающих функционирование и развитие общественного производства, служит интеграция ценностных стандартов со структурой усвоенных выпускниками вузов профессиональных потребностей и установок.

По мнению А.И. Ковалевой, проблема социализации личности есть проблема изучения установленных и действующих в обществе механизмов передачи социального опыта от поколения к поколению, соотношения процессов и институтов социализации [1]. Отечественный социолог С.Г. Спасибенко для понимания сущности социализационных процессов считает необходимым использование, во-первых, антропосферного подхода, согласно которому человек рассматривается как объект и субъект труда, общения, познания; во-вторых, анализа внутренних социально-духовно-энергетических сил человека как основных источников его индивидуализации, способности к адаптации, идентификации, самопониманию, самореализации [3].

При изучении проблемы социализации можно выделить две главные линии: 1) социализации сознания; 2) социализации деятельности [4], что имеет особое значение для социальной практики в профессионально-образовательной среде. Социализация сознания - это процесс усвоения индивидом социальных норм, ценностей и последующее преобразование социального опыта в установки, потребности, ценностные ориентации и стремления личности.

«Социализация деятельности» применительно к процессам профессиональной социализации в условиях профессионально-образовательной среды позволяет выделить несколько уровней дифференциации студентов (индивидуальный профессионально-ролевой дифференциал) [2].

Молодого человека можно охарактеризовать как не социализированного в рамках конкретной профессии, если данная профессия в силу сложившихся социальных, психологических, географических и других факторов не была включена в информационное поле начальной стадии профессиональной социализации.

Первичный социальный уровень профессиональной социализации достигается студентом, который имеет начальные представления о конкретной профессии. Такой студент или осуществляет попытку освоения первичных профессиональных навыков на уровне самообразования (через непосредственное или опосредованное взаимодействие с представителями определенной профессиональной группы социума), или полностью (иногда даже частично) прошел первичную стадию профессиональной социализации, но в силу каких-либо социально-психологических факторов не стал представителем данной профессии, т.е. не интегрирован в социальную среду данной профессии. По мнению представителей социально-профессиональной группы, такие индивиды оцениваются как «дизетанты» и, как правило, с точки зрения профессиональной мобильности, либо никогда не испытывают желания войти в социальную группу носителей конкретной профессии, осваивая на более высоком уровне другую профессию, либо, имея очень высокий уровень горизонтальной составляющей профессиональной мобильности, в течение всей жизни варьируют свои интересы в рамках целого спектра профессий разного профиля.

Низкий социальный уровень профессиональной социализации определенного профиля устанавливается у студентов, которые прошли начальную стадию профессиональной социализации, но в дальнейшем не испытывают интереса к избранной профессии, хотя и являются ее носителями, т.е. уровень интегрированности в определенную профессиональную среду можно характеризовать как частичный (неполный). Как правило, индивиды с низким уровнем профессиональной социализации имеют высокий уровень потенции горизонтальной составляющей профессиональной мобильности в рамках профессии одного направления.

Средний социальный уровень профессиональной социализации студента означает, что человек в ходе профессиональной социализации успешно проходит начальную стадию профессиональной социализации, а при переходе к зрелой стадии социализации у него

формируется индивидуальный стиль профессиональной деятельности, появляются элементы интегративного взаимодействия с представителями социальной группы носителей данной профессии. Однако в силу, как правило, сложной комбинации психологических и социальных факторов, в ходе профессиональной социализации у человека не происходит формирование профессиональной самости, т.е. в рамках конкретной социальной группы представителей данной профессии его оценивают только как «носителя» данной профессии.

Высокий и максимальный социальный уровень профессиональной социализации молодой человек может достигнуть только по окончании учебного заведения, после приобретения опыта работы в производственном коллективе, при условии формирования у него как профессиональной самости, так и профессиональной Я-концепции личности, следствием чего является достижение им уровня самоактуализации; в этом случае его оценивают как специалиста высокой квалификации и профессионала.

Профессиональная социализация является многофакторным и многоуровневым процессом усвоения индивидом профессиональной культуры общества, его интеграции в профессиональную систему путем передачи профессиональных ценностей, традиций, норм профессионального поведения.

Одним из важнейших факторов, способствующих дифференциации студентов по уровню идентификации с социально-профессиональной группой, соответствующей профилю их подготовки, является вовлечение студентов в научно-исследовательскую работу (учебно-исследовательскую, изобретательскую, рационализаторскую, моделирование приборов и устройств и т.д.) еще на ранних этапах обучения в профессиональном колледже. Такая работа является одним из ведущих факторов интенсификации процесса профессиональной социализации студентов и оптимизации их позиции в системе индивидуальной профессионально-ролевой дифференциации. Так, например, преподавательский состав кафедры «Электротехнических дисциплин» факультета среднего профессионального образования Технологического института Орловского государственного технического университета видит в развитии исследовательской работы студентов один из эффективных путей повышения качества подготовки молодых специалистов. Эта работа способствует более глубокому закреплению теоретических знаний, получаемых студентами при изучении дисциплин учебного плана, развивает повышенную требовательность к себе, аккуратность, точность в выполнении заданий и научную активность, расширяя тем самым возможность получения конкретных навыков исследовательского характера уже в стенах факультета.

На кафедре ведется целенаправленная работа по вовлечению студентов к научно-исследовательской деятельности. Такая работа проводится преподавателями специальных электротехнических дисциплин с первого года обучения. Учебно-исследовательская работа студентов выполняется как в учебное, так и во вне учебное время по специальному заданию преподавателя и определяется спецификой специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Для более раннего привлечения студентов к участию в научно-исследовательской работе ежегодно проводится анкетирование студентов первого курса, выявляется круг их потенциальных возможностей и интересов, а затем в течение учебного года проводится индивидуальная работа с каждым студентом, изъявившим желание заниматься посильным ему видом технического творчества.

На первом этапе учащиеся знакомятся с особенностями будущей специальности. Для этого на первом курсе реализуется дисциплина «Введение в специальность», которая отражает задачи общего ознакомления с трудовой деятельностью и ее процессами, а также вопросами овладения начальными трудовыми знаниями и умениями, вокруг которых строится весь процесс формирования личности. По данной дисциплине имеются методические разработки по проведению открытых мероприятий, на которых студенты старших курсов демонстрируют результаты своей научно-практической работы, выполненной ими под руководством преподавателей кафедры (рисунок 1 и 2).



Рисунок 1-2 – Демонстрационные эксперименты студентов III и IV курса по итогам проведенной научно-практической работы на студенческой конференции «Студент и наука»

На начальном этапе обучения в коллеже также превалирует одна из форм учебно-исследовательской работы студентов — рефераты и мини-исследования. Они становятся важным средством организации самостоятельной работы студентов, углубленного изучения дополнительной информации по изучаемым дисциплинам.

Другая эффективная форма НИРС — проведение научно-практической конференции студентов факультета «Студент и наука», к участию в которой кафедрой рекомендуются наиболее результативные работы студентов.

При подготовке таких работ происходит углубление теоретических знаний изучаемых явлений и процессов с учетом специфики всей системы учебных дисциплин, реализуемых кафедрой. Такая работа помогает решать задачи формирования умения работать с различными источниками информации (в том числе сеть региональных библиотек, поисковые системы Internet, электронные библиотеки и каталоги и т.д.) и развития коммуникативных навыков и логического мышления студентов.

Третьей формой организации НИР для студентов первого и второго курсов является активное участие студентов в ежегодной выставке технического творчества в Технологическом институте ОрелГУ, в рамках которой проводится конкурс студенческих работ: обязательным условием участия в таком конкурсе является изготовление действующей модели или устройства.

В процессе выполнения учебно-исследовательских и научно-практических работ будущие техники адаптируются в профессионально ориентированной среде специалистов-исследователей, учатся самостоятельно добывать их и применять при решении конкретных профессионально ориентированных исследовательских задач. Приобщение к исследовательской работе студентов на начальном этапе обучения позволяет к завершающему этапу решать более сложные рационализаторские и исследовательские задачи, формировать элементы профессиональной самости.

Это способствует тому, что по окончании профессионального колледжа большинство выпускников, обучающихся по специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств» поступает в вуз, сохраняя профиль полученной в колледже специальности, т.е. полностью идентифицируются со своей социально-профессиональной группой, формируя новый уровень социальной нормы — нормы «студент-исследователь», «студент-изобретатель», «студент- рационализатор».

Таким образом, в профессионально-образовательной среде формируется социальный прецедент отраженных в современных научных изданиях понятий социальной нормы и социальной траектории (А.И. Ковалева). В широком смысле слова социализационная норма определяется А.И. Ковалевой как «результат успешной социализации, позволяющей

индивидам и обществу воспроизводить социальные связи, общественные отношения и культурные ценности и обеспечивать их дальнейшее развитие» [1]. Социализационная норма может рассматриваться на индивидуальном уровне как многомерный эталон социализированности человека с учетом его возрастных и индивидуально-психологических характеристик, а также на уровне общества, где она представляет собой устоявшуюся совокупность правил передачи социальных норм и культурных ценностей от поколения к поколению. Кроме того, социализационная норма, которая имеет индивидуальный и общественный уровни, может быть представлена тремя ее основными типами: идеальным (определяется общественными идеалами и строящимися на их основе ориентирами личностного развития), нормативным (основывается на формализованных положениях о том, каким должен стать человек, что могут и должны сделать соответствующие институты социализации для обеспечения интеграции индивидов в общество) и реальным (проявляется в широкой вариативности, базирующейся на автономии формирующейся личности).

Отсюда следует, что вовлечение студентов в НИР на ранних этапах их обучения в профессиональном колледже способствуют изменению социализационной нормы с конструкции «студент обучающихся» на «студент исследующий», расширяет вариативность сложившихся реальных социально-профессиональных норм и приближает их к уровню идеальной нормы, которая определяется общим движением вуза (в частности) и общества (в целом) в сторону инновационной экономики знаний.

ЛИТЕРАТУРА

- 3 Ковалева А.И. Концепция социализации молодежи: нормы, отклонения, социализационная траектория // Социологические исследования. - 2003. - №1. - С.109-114.
- 4 Морозова, А.В. Управление процессом профессиональной социализации студентов вузов в условиях модернизации институтов образования: Монография. [Текст] / А.В. Морозова. - Орел: Издательство ОРАГС, 2005. - 200 с.
- 5 Спасибенко, С.Г. Социализация человека [Текст] / С.Г. Спасибенко // Социально-гуманитарные знания. - 2002. - №5. - С.101-122.
- 6 Татенко, В.А. Анализ процесса социализации личности [Текст] / В.А. Татенко. - Киев: Знание, 1976. - 17 с.

Ноздрачева Татьяна Алексеевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Преподаватель кафедры электротехнических дисциплин ФСПО Технологического института ОрелГТУ
Тел. (4862) 55-51-45
E-mail: tt@ostu.ru

Сотников Юрий Кузьмич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Орловский государственный технический университет, г. Орел
Преподаватель кафедры электротехнических дисциплин ФСПО Технологического института ОрелГТУ
Тел. (4862) 55-51-45
E-mail: tt@ostu.ru

Морозова Анна Валентиновна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат социологических наук, заместитель директора по НИР Технологического института ОрелГТУ
Тел. (4862) 54-15-19
E-mail: niotioostu@gmail.com

А.В. МОРОЗОВА

ДЕЛОВАЯ ИГРА КАК ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ ПО МАТЕМАТИКЕ В ВУЗЕ

В статье анализируется опыт разработки и внедрения в учебный процесс методики организации и проведения внеаудиторного мероприятия по математике в форме деловой игры по теме «Линейное программирование»

In article experience of development and introduction in educational process of a technique of the organization and carrying out of out-of-class action on mathematics in the form of business game on a theme « Linear programming » is analyzed

ВВЕДЕНИЕ. Ранняя проработка профессиональной деятельности будущих специалистов имеет большое значение для своевременной коррекции приемов организации их мыслительной деятельности и поведенческих навыков, адаптируемых к определенным условиям реальной управленческой деятельности и входящих в единую систему качественных характеристик и установок личности специалиста. Формирование этой системы осуществляется в процессе первичной социализации и направляется на адаптационную интервальную идентификацию с определенной профессиональной стратегией современного общества.

Традиционные формы обучения, кроме, пожалуй, производственной практики, лишь отчасти обеспечивают приобретение студентами уже в стенах вуза освоение навыков предстоящей профессиональной деятельности, причем особое значение в этом плане имеет формирование коммуникативных и поведенческих навыков, указывающих на идентификационную принадлежность к конкретному профессионально обусловленному слою общества.

Имитация коллективной профессиональной деятельности может осуществляться на основе полной самостоятельности молодых людей как в вопросах отбора используемых в конкретной работе знаний, так и в вопросах организации индивидуального труда студентов при оптимальном его сочетании с коллективными формами на уровне самоорганизации. Одним из методов, предоставляющих максимальные возможности для активного включения студента в познавательный процесс, базовой целью которого является ранняя профессиональная идентификация профильной направленности, может являться деловая игра как форма имитационной социально-психологической адаптации студентов.

Чем раньше студенты знакомятся с такой формой организации их внеаудиторной работы, тем раньше начинается целенаправленный процесс трансформации индивидуальных характеристик личности. Конечной целью этого процесса является развитие и оптимизация таких ее качеств, которые являются базовыми для профессионала высокого уровня. Отбор и качественно-количественные параметры таких характеристик личности специалиста обусловлены всем ходом эмпирических поисков оптимизации и рационализации развития современного общества.

С этой целью преподавателями кафедры математики была разработана методика организации и проведения деловой игры «Оптим», которая может реализовываться как в аудиторных, так и во внеаудиторных условиях, причем последний вариант предпочтительнее.

Основные этапы деловой игры и система построения «защиты» проекта микрогруппы были сформированы таким образом, что они соответствовали схеме разработки и защиты дипломной работы выпускника образовательного учреждения. Фактически при подготовке к проведению деловой игры студенты, участники игры, впервые подробно информируются об этапах работы над любым исследовательским проектом по своей специальности. Следствием

этого, как правило, является серьезный, инициированный самими студентами разговор и об их будущей профессии, и об особенностях ее освоения, и о математике как об одном из базовых предметов для фундаментальной подготовки специалистов. Поэтому предложение «поиграть всерьез», с использованием элементов такой сложной работы, вызывает у студентов не столько любопытство (как в случае с предложением к участию в познавательной игре), сколько принципиальную заинтересованность в качественном результате своей конкретной практической деятельности и обязательном преодолении абсолютно всех, новых для них трудностей.

Кроме того, присутствие на деловой игре в качестве жюри ведущих специалистов вуза, у которых со временем «играющие» будут проходить теоретический и практический курсы по специальности, предоставляет студентам возможность заблаговременно «показаться» перед своими будущими руководителями курсовых и дипломных работ, что придаст дополнительную остроту конкуренции и создаст эмоциональный подъем среди студентов.

ПОДГОТОВКА К ДЕЛОВОЙ ИГРЕ. Подготовка к предстоящей деловой игре осуществляется в течение одного занятия, и начинается она с информационной беседы о реальных управленческих проблемах, решение которых лежит в плоскости поиска оптимального варианта, об использовании элементов оптимизации при разработке исследовательских проектов, что сопровождается демонстрацией работ выпускников вуза последних лет. С использованием полученной информации методом «мозгового штурма» студенты коллективно формируют план решения оптимизационных задач:

- 1 анализ условия задачи;
- 2 постановка проблемы оптимизации;
- 3 выбор параметров оптимизации;
- 4 математическая модель задачи и ее геометрическая (графическая) интерпретация;
- 5 формирование целевой функции оптимизации;
- 6 поиск точек оптимальных решений выбранных параметров;
- 7 расчет значений целевой функции в точках оптимизации параметров;
- 8 вывод.

После подробного рассмотрения решения трех задач на основании коллективного обсуждения результатов совместной работы студентов и преподавателя формируются основные критерии анализа качества разработки и защиты индивидуального проекта (данные критерии аналогичны критериям оценки качества работы дипломника – выпускника вуза):

- 1 отзыв о работе микрогруппы консультанта-преподавателя;
- 2 уровень качества графической части работы (проекта);
- 3 уровень качества расчетной части работы (проекта);
- 4 обоснованность и степень аргументированности защиты проекта;
- 5 уровень ролевой самоорганизации команды.

УСЛОВИЯ АНАЛИЗИРУЕМЫХ ЗАДАЧ И ИХ РЕШЕНИЕ.

Задача №1. На станках модели А и Б, имеющих разную производительность труда, изготавливают детали № 1, № 2, № 3. Всего нужно обработать деталей № 1 – 200 шт., деталей № 2 – 140 шт., деталей № 3 – 110 шт. На станке модели А можно обработать за смену 300 деталей, а на станке модели Б – 150 деталей за смену. Стоимость электроэнергии (в рублях), затрачиваемой одним станком на обработку одной детали, задается таблицей 1.

Составьте такой план выпуска станков, при котором затраты электроэнергии будут наименьшими.

Таблица 1

Станки	Детали		
	№ 1	№ 2	№ 3
А	4	6	8
В	4	5	6

Решение:

Постановка проблемы оптимизации: данное условие представляет собой задачу оптимизации затрат электроэнергии при выпуске определенных видов деталей с учетом реального плана их выпуска.

Выбор параметров: пусть станок модели А выпускает x деталей № 1 и y деталей № 2. Тогда план работы станков имеет вид:

Модель станка	номер детали			всего
	№ 1	№ 2	№ 3	
А	x	y	$300-x-y$	300
В	$200-x$	$140-y$	$x+y-190$	150
Итого	200	140	110	

Математическая модель задачи описывается системой линейных уравнений:

$$\begin{cases} x \geq 0; \\ y \geq 0; \\ 200 - x \geq 0; \\ 140 - y \geq 0; \\ 300 - x - y \geq 0; \\ x + y - 190 \geq 0; \end{cases}$$

Целевая функция затрат электроэнергии на выпуск всех деталей:

$$S = 4x + 6y + 8(300-x-y) + 4(200-x) + 5(140-y) + 6(x+y-190) = 2760 - 2x - y;$$

Графический поиск точек оптимизации целевой функции (см. график).

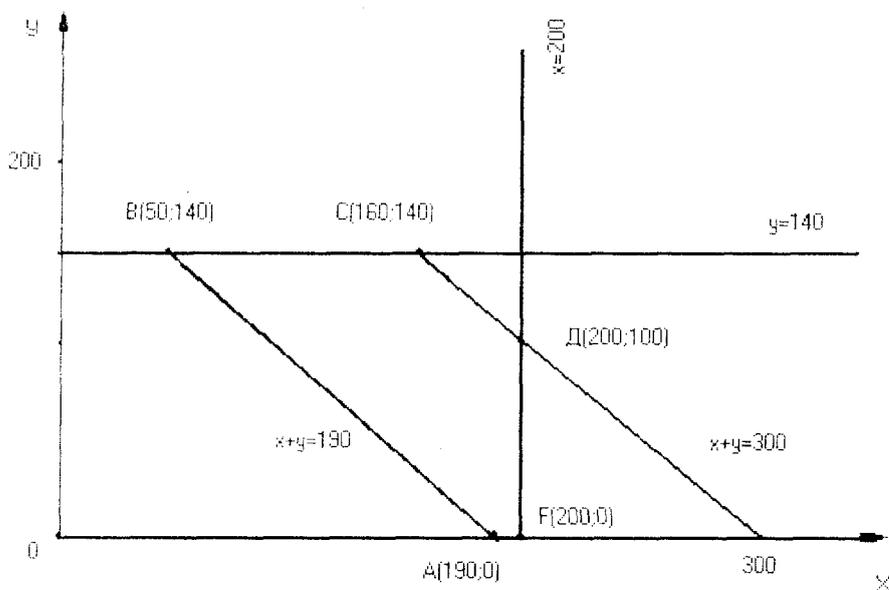
$$S(A) = 2380;$$

$$S(B) = 2520;$$

$$S(C) = 2300;$$

$$S(D) = 2260; \text{ - минимальное значение}$$

$$S(F) = 2360;$$



Вывод: оптимальный расход электроэнергии в данных условиях цех будет иметь, если запланирует выпуск деталей в соответствии с таблицей:

Модель станка	Номер детали		
	№ 1	№ 2	№ 3
А	200	100	0
В	0	40	110

Аналогично рассматривается решение следующих задач.

Задача № 2. Для изготовления единицы сплава № 1 требуется цинка – 6 единиц, олова – 8 единиц и меди – 1 единица. Для изготовления единицы сплава № 2 требуется цинка – 9 единиц, олова – 5 единиц и меди – 1 единица. На складе литейного цеха имеется цинка, олова и меди всего соответственно: 96; 78 и 12 условных единиц. Масса единицы сплава № 1 равна 2,5 кг, а единицы сплава № 2 – 3 кг. Какое количество единиц сплава № 1 и № 2 нужно изготовить цеху, чтобы расход исходных металлов был максимальным?

Ответ: оптимальный расход имеющихся на складе литейного цеха металлов возможен при планировании производства 4 единиц сплава № 1 и 8 единиц сплава № 2.

Задача № 3. С железнодорожных станций А и В нужно перевезти пиломатериалы на склады цехов № 1, № 2 и № 3 мебельной фабрики. На станции А весь груз можно прогрузить на 12 машин, а на станции В – на 16 машин. Склады цехов должны принять № 1 – 8 машин, № 2 – 10 машин, № 3 – 10 машин. Количество дизельного топлива (в литрах), которое расходует одна машина на пробег от станции до соответствующего склада, задается таблицей:

Станции	Склады цехов		
	№ 1	№ 2	№ 3
А	3	5	6

В	8	5	4
---	---	---	---

Требуется составить план перевозок, при котором общий расход дизельного топлива будет наименьшим.

Ответ: оптимальный расход дизельного топлива в конкретных условиях данной задачи возможен при следующем распределении перевозок между станциями и складами цехов:

Станции	Склады цехов		
	№ 1	№ 2	№ 3
А	8	4	0
В	0	6	10

ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВНЕАУДИТОРНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ К ДЕЛОВОЙ ИГРЕ:

Для подготовки к проведению деловой игры студенты самостоятельно организуют шесть игровых микрогрупп. Так как подобная, нетрадиционная форма организации работы студентов для них не является новой (деловая игра «Оптима» организуется в середине учебного года, и ей могут предшествовать уже две-три проведенные по такой технологии познавательные игры), то, как правило, такие микрогруппы уже не только сформированы, но и уже прошли этап «притирки» характеров. Каждая пара микрогрупп получает задание для самостоятельной внеаудиторной подготовки. Если в ходе подготовки к игре студенты испытывают необходимость обратиться к помощи преподавателя (как правило, большинство проблемных ситуаций они разрешают на уровне межгруппового обмена информацией), то проводится консультация по конкретным этапам решения данных задач.

Задача № 4. Малое предприятие выпускает станки марок «СНС-6» и «СНС-6М» (модернизированная конструкция). Каждый из станков изготавливается из четырех видов основных комплектующих А, В, С, Д. Запас комплектующих на складе и расход их на единицу продукции каждой модели задан таблицей:

Вид комплектующих	Расход сырья на единицу продукции		Запас комплектующих
	марка "СНС-6"	марка "СНС-6М"	
А	2	2	80
В	2	1	76
С	5	4	180
Д	5	2	170

Прибыль предприятия от единицы выпущенной продукции марки «СНС-6» равна 800 рублей, а марки «СНС-6М» – 600 рублей. Как следует спланировать выпуск продукции, чтобы прибыль предприятия была наибольшей?

Ответ: 32 станка марки «СНС-6» и 5 станков марки «СНС-6М»

Задача № 5. Цех выпускает изделия двух видов. На одно изделие первого вида расходуется 8 кг стали и 2 кг алюминия, а на одно изделие второго вида – 3 кг стали и 3 кг алюминия. От реализации одного изделия первого вида цеху начисляется прибыль 500 рублей, а от реализации одного изделия второго вида – 700 рублей. Сколько изделий каждого вида должен выпустить цех. Чтобы получить наибольшую сумму прибыли, если в цехе имеется 48 кг стали и 30 кг алюминия?

Ответ: 3 изделия первого вида и 8 изделий второго вида.

Задача № 6. Из цеха на склад возят готовую продукцию на автопогрузчиках грузоподъемностью 0,5 т и 0,8 т. За один час склад может принять не более 26 погрузчиков, при этом не более 18 погрузчиков грузоподъемностью 0,5т и не более 20 погрузчиков грузоподъемностью 0,8 т. Сколько погрузчиков по 0,5 т и 0,8 т нужно отправить из цеха на склад за один час, чтобы перевозить наибольшее количество готовой продукции?

Ответ: 6 погрузчиков грузоподъемностью 0,5т и 20 погрузчиков грузоподъемностью 0,8т.

ПРОВЕДЕНИЕ ДЕЛОВОЙ ИГРЫ «ОПТИМА».

Для организации этапного и итогового контроля за работой студенческих микрогрупп формируется жюри из числа приглашаемых на занятие преподавателей специальных и общепрофессиональных дисциплин. Члены жюри по окончании деловой игры не только анализируют работу студентов в рамках конкретной учебной дисциплины, но и демонстрируют перспективы применения студентами приобретенных на занятии практических навыков в процессе их дальнейшего освоения профессии.

Микрогруппы выполняют предложенные им задания в течение 45 минут: обоснование проблемы оптимизации, содержащейся в задании, выбора параметров оптимизации, составление и анализ (графический и расчетный) математической модели процесса, формирование и анализ значений целевой функции в найденных графическим или аналитическим путем точках оптимизации, подготовка на чертежном формате А1 материала с компактным изложением результатов своей работы для защиты проекта. Оставшиеся 45 минут занятия предназначены для проведения защиты исследовательских проектов студентов и подведения итогов.

В качестве консультанта в игровом поле работает преподаватель математики, который совместно с членами жюри анализирует текущую работу каждой микрогруппы по следующей схеме (подобная схема используется при анализе качества защиты курсовых и дипломных проектов студентов колледжа):

№ команды	1	2	3	4	5	6
Отзыв консультанта						
Уровень качества исполнения графической части работы						
Уровень качества исполнения расчетной части работы						
Уровень обоснованности и терминологической грамотности работы						
Уровень организации работы в команде						
ОБЩИЙ БАЛЛ						

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ МИКРОГРУПП.

Команда № 1. Предприятие выпускает продукцию двух видов: П1 и П2. Изготавливается она из четырех видов сырья: А1, А2, А3 и А4. Запас сырья и расход его на единицу каждого вида продукции дан в таблице:

Вид сырья	Расход сырья на единицу вида продукции		Запас сырья
	П 1	П 2	
S 1	2	3	19

S 2	2	1	13
S 3	0	3	15
S 4	3	0	18

Прибыль производства от единицы продукции вида П1 равна 700 рублей, а от единицы продукции вида П2 – 500 рублей. Как следует спланировать выпуск продукции, чтобы прибыль предприятия была наибольшей?

Ответ: П1 – 5 штук; П2 – 3 штуки.

Команда № 2. Участок цеха выпускает изделия двух видов. На одно изделие первого вида расходуется 5 кг меди и 1 кг алюминия, а на одно изделие второго вида – 3 кг меди и 2 кг алюминия. От реализации одного изделия первого вида участку начисляется прибыль 200 рублей, а от реализации одного изделия второго вида – 300 рублей. Сколько изделий каждого вида должен выпустить участок, чтобы получить наибольшую сумму прибыли, если на участке имеется 45 кг меди и 16 кг алюминия?

Ответ: 6 изделий первого вида и
5 изделий второго вида

Команда № 3. Из цеха на склад перевозят готовую продукцию автомашинами грузоподъемностью 5 и 10 тонн. За один час база может принять не более 10 автомашин, при этом не более 8 машин по 5 тонн и не более 6 машин по 10 тонн. Сколько пятитонных и десятитонных машин нужно отправлять из цеха на склад за один час, чтобы перевезти наибольшее количество готовой продукции?

Ответ: 4 машины по 5 тонн и
6 машин по 10 тонн.

Команда № 4. С железнодорожных станций А «370 км» и В «372 км» нужно перевезти металлические заготовки на склады № 1, № 2 и № 3 АО «Орловский сталепрокатный завод». На станции А весь груз можно погрузить на 80 машин, а на станции В – на 100 машин. Склады должны принять № 1 – 50 машин, № 2 – 70 машин, № 3 – 60 машин. Количество бензина (в литрах), которое расходует одна машина на пробег от станции до склада, задается следующей таблицей:

Станции	Склады		
	№ 1	№ 2	№ 3
А	2	4	5
В	4	5	3

Требуется составить план перевозок, при котором общий расход бензина будет наименьшим.

Ответ: со станции А: 50 машин –
на склад № 1 и 30 машин –
на склад № 2; со станции В:
на склад № 2 – 40 машин и
на склад № 3 – 60 машин.

Команда № 5. На станках модели А и В разной производительности обрабатываются детали № 1, № 2 и № 3. Всего нужно обработать деталей № 1 – 100 штук, деталей № 2 – 140 штук и деталей № 3 – 110 штук. На станке модели А можно обработать 160 деталей, а на станке модели В – 190 штук. Стоимость электроэнергии (в рублях), затрачиваемой одним станком на обработку одной детали, дается следующей таблицей:

Станки	Детали		
	№ 1	№ 2	№ 3
А	4	8	12
В	8	10	6

Требуется составить такой план работы станков, при котором затраты электроэнергии будут наименьшими.

Ответ: на станке модели А
изготавливают 100 деталей № 1 и
60 деталей № 2; на станке
модели В изготавливают 80
деталей № 2 и 100 деталей № 3

Команда № 6. Для изготовления единицы сплава № 1 требуется металла А – 2 единицы, металла В – 3 единицы и металла С – 4 единицы. Для единицы сплава № 2 требуется соответственно 2; 5 и 2 единицы металлов А, В и С. Всего имеется металлов А, В и С соответственно 24; 50 и 40 единиц. Масса единицы сплава № 1 равна 3 кг, а единицы сплава № 2 – 4 кг. Сколько единиц сплава № 1 и № 2 нужно изготовить, чтобы их общая масса была наибольшей?

Ответ: 5 единиц сплава № 1 и
7 единиц сплава № 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Деловая игра «Оптима» разрабатывалась как адаптационная методика первичного социально-психологического погружения в социализационное поле конкретного профессионального этоса и основывалась на технологии игрового проектирования, в основе которой – создание в игровых, но максимально приближенных к реальности, условиях оптимального варианта решения конкретной экономическо-управленческой задачи. Абстрактный математический язык позволяет моделировать «любую собственную реальность», представляя ее в математизированной форме графиков, функциональных зависимостей, систем уравнений и неравенств, таблиц и т.д. Работа каждой микрогруппы позволяет создать собственную модель решения конкретной (пусть пока простейшей, в соответствии с уровнем реальных программных требований к знаниям студентов первого курса) производственной задачи, основываясь только на общем для всех участников игры базовом плане исследования проблемы методом поиска ее оптимального решения.

Данный вид совместной деятельности студентов и преподавателей отличается высокой степенью сочетания индивидуальной и коллективной работы. В этой методике важным является не только высокий уровень обучающего эффекта, но и, в первую очередь, ее широкие и разноплановые возможности как элемента оптимизации процесса управления первичной профессионализацией молодых людей. Именно такая активная форма взаимодействия создает несравнимые ни с чем возможности развития «горизонтальной» (общение студентов в микрогруппах и их межгрупповые контакты) и «вертикальной» (взаимодействие студентов и преподавателей, являющихся консультантами и членами жюри) составляющей процесса профессиональной идентификации через знакомство с новыми ролевыми характеристиками, требуемыми качествами личности специалиста, интеллектуальными и творческими потенциями данного вида труда, также ранее неизвестными студентам нормами и законами делового общения, принятыми в среде работников определенного профиля.

В таком взаимодействии не только важен итог как усвоение определенной суммы знаний, приобретение конкретных навыков и умение использовать их в системе, но и сам процесс созидания, творческого поиска, процесс «вхождения» каждого отдельного студента в микрогруппу, его умение привлечь к себе внимание ни через «игру на публику», а посредством своей личной полезности в деле достижения общей исследовательской цели. В процессе такой работы группа приобретает первичные практические навыки самоорганизации и самоуправления «малым» трудовым коллективом. Часто результат работы зависит не столько от интеллектуального потенциала или индивидуального уровня креативности студентов, входящих в состав микрогруппы, сколько от уровня ее кооперативности.

Предлагаемая игра носит универсальный характер, и ее технологические и методические особенности могут быть использованы в качестве контроля знаний по любому предмету технического профиля или прикладным разделам общеобразовательных дисциплин. Такая нетрадиционная, оригинальная форма проведения внеаудиторного мероприятия, безусловно, активизирует деятельность студентов и пробуждает у них дополнительную заинтересованность в результатах своего учебного труда, направленного на приобретение современной, но сложной профессии.

Морозова Анна Валентиновна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат социологических наук, заместитель директора по НИР
Технологического института ОрелГТУ
Тел. (4862) 54-15-19
E-mail: niroastu@gmail.com

В.Б. ПРОТАСЬЕВ, А.В. КОСАРЕВСКАЯ

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

Излагается методика определения вероятности принятия верных решений на основе определения и суммирования рисков, возникающих при оценке единичных показателей, определяющих качество решения.

The method of definition of probability of acceptance of true decisions on the basis of definition and summation of the risks arising at an estimation of single indexes, defining quality of the decision is stated.

Процедура принятия решения связана с определением риска. При выборочном контроле (а это решение о приемке или браковке продукции) принято оценивать как риск производителя (ошибка первого рода α) так и риск потребителя (ошибка второго рода β).

Расчеты выполняются с помощью оперативных характеристик [1], когда значения α и β задаются по таблицам [2], а далее составляются планы контроля.

При оценке качества решения, по мнению авторов, не следует разделять риски производителя и потребителя, - нужно определить общий риск, выражаемый конкретным числом, которое устраивает обе заинтересованные стороны. Причина такого подхода в том, что решения индивидуальны, это не одинаковая продукция, изготавливаемая партиями.

Дефектность технологических процессов [3] оценивается формулой:

$$1 - q_{\Sigma} = (1 - q_1) \cdot (1 - q_2) \cdot \dots \cdot (1 - q_n) \quad (1)$$

где q_{Σ} - общая дефектность техпроцесса;

$q_1 \dots q_n$ - дефектности отдельных операций.

Принятие решений, по сути, тоже технологический процесс и на различных стадиях тоже возможно появление ошибок, но, по мнению авторов, вместо стадий лучше использовать *единичные показатели*, с помощью которых оценивается качество решения.

В качестве единичных показателей согласно [4] с некоторыми корректировками можно использовать:

- Q_1 – научная обоснованность;
- Q_2 – своевременность;
- Q_3 – правильность;
- Q_4 – адаптивность;
- Q_5 – точность.

Обозначим $\alpha_1 \dots \alpha_n$ доли дефектности соответствующие каждому из единичных показателей в соответствии с их индексом.

Например, если $\alpha_1 = 0$, то $Q_1 = 1$ и решение по данному показателю идеально. Такая ситуация маловероятна и нужна методика оценки дефектности, исключающая такие варианты.

Перепишем зависимость (1) с учетом принятых обозначений:

$$1 - \alpha_{\Sigma} = (1 - \alpha_1) \cdot (1 - \alpha_2) \cdot \dots \cdot (1 - \alpha_n) \quad (2)$$

где α_{Σ} – суммарная дефектность решения, выраженная в долях единицы.

Попытаемся найти механизм определения величин α_j для каждого единичного показателя.

Вначале рассчитаем максимально допустимые значения $\alpha_{i \max}$. Эту величину можно определить в ситуации, когда все значения α_j максимальны и равны между собой, т.е.:

$$\alpha_{1 \max} = \alpha_{2 \max} = \alpha_{n \max} = \alpha_{i \max} \quad (3)$$

В этом случае после преобразований зависимость (2) примет вид:

$$1 - \alpha_{\Sigma} = (1 - \alpha_{i \max})^n \quad (4)$$

где n – число единичных показателей, используемых для оценки качества решения.

Преобразуя (4), получаем выражения:

$$\alpha_{i \max} = 1 - \left(1 - \alpha_{\Sigma}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

Если теперь задать значение α_{Σ} , то предельно допустимое значение $\alpha_{i \max}$ для конкретного единичного показателя можно легко определить по формуле (5).

Как определить конкретное значение α_j ?

Вспользуемся логикой построения системы FMEA, где составляющие коэффициенты риска определяются с помощью таблиц [5], в которых значения рисков возрастают по мере степени недоработки решения.

Допустим, что таблица имеет m строк (или градаций) и для каждой строки нужно найти значение α_j

Можно использовать принцип равномерности и определить α_j по формуле:

$$\alpha_N = \frac{\alpha_{\Sigma} \cdot N}{m} \quad (6)$$

где N – номер строки, начиная с первого;

α_N – значение дефектности для строки с номером N ;

α_{Σ} – допустимая суммарная дефектность.

Например, $\alpha_{\Sigma} = 0,1$, $m = 5$, а $N = 3$. Тогда $\alpha_{N=3} = \frac{0,1 \cdot 3}{5} = 0,06$, а строки воображаемой таблицы 1 будут иметь следующие значения (рис.1)

Таблица 1

№ п/п	Условия оценки	α
1		0,02
2		0,04
3		0,06
4		0,08
5		0,10

Рисунок 1 - Вид таблицы для оценки рисков с равномерной шкалой изменения α

Приведенной решение требует доработки:

- необходимо заполнить строки с условиями оценки;
- равномерная шкала изменения α сомнительна, т.к. жизненные процессы редко бывают равномерными, а точнее не бывают таковыми.

По мнению авторов, для определения α подходит квадратное уравнение вида:

$$\alpha_N = p \cdot N^2 \tag{7}$$

где p – параметр нарабобы;

N – номер строки.

Допустим $\alpha_{\Sigma} = 0,1$, $m = N_{\max} = 5$, а $N = 3$.

Тогда:

$$\alpha_{N=3} = p \cdot 3^2 \tag{8}$$

Значение p определим по пятой строке, для которой известно значение $\alpha_{N=5} = \alpha_{\max}$.

$$p = \frac{\alpha_{\max}}{m^2} = \frac{0,1}{5^2} = 0,004$$

В этом случае формула (7) примет окончательный вид:

$$\alpha_N = \frac{\alpha_{\max}}{m^2} \cdot N^2 \tag{9}$$

Шкала для определения α и условия оценки для данного примера показаны в таблице 2.

Проведем расчет для оценки верности решения для ранее приведенных единичных показателей $Q_1 \dots Q_5$ с использованием данных таблицы 2.

Вначале в соответствии с условиями оценки выберем для виртуального решения следующие значения α .

Таблица 2

Определение уровня дефектности при оценке качества решения

№ условия	Условия оценки	α	График $\alpha = f(N)$
1	Полная уверенность в верности решения	0,004	
2	Проведен анализ всех известных аналогов	0,016	
3	Проведен анализ не менее 75% всех известных аналогов	0,036	
4	Проведен анализ не менее 50% всех известных аналогов	0,064	
5	Нет уверенности в верности решения	0,1	
6	Анализ не выполнялся. Штрафное значение α	0,2	

$$\alpha_1 = 0,004; \alpha_2 = 0,036; \alpha_3 = 0,036; \alpha_4 = 0,064; \alpha_5 = 0,016;$$

Решая (2) относительно α_{Σ} , получим:

$$\begin{aligned} \alpha_{\Sigma} &= 1 - (1 - \alpha_1) \cdot (1 - \alpha_2) \cdot \dots \cdot (1 - \alpha_5) = \\ &= 1 - (1 - 0,004) \cdot (1 - 0,036) \cdot (1 - 0,036) \cdot (1 - 0,064) \cdot (1 - 0,016) = 0,1475 \\ &0,1475 > 0,1 \end{aligned}$$

Поскольку расчетное значение α_{Σ} превышает 0,1, решение нуждается в доработке, причем следует более детально исследовать показатель Q_4 , например, доводя до $\alpha = 0,036$.

Предложенная методика расчета рисков достаточно универсальна, поскольку число единичных показателей n , количество градаций оценки m и само допустимое значение α_{Σ} можно изменять в соответствии с мнением заказчика.

Выполнение подобных расчетов заставит исполнителей выполнять самооценку решений до того, как они будут представляться заказчику, например в виде технического предложения.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Шипкин И.В., Станякин В.М. Квалиметрия и управление качеством учебник для вузов. М.: Изд-во ВЗПИ. 1992 г.- 255с.
- 2 ГОСТ Р 50779.75-99 (ИСО 8422-91) Планы последовательного выборочного контроля по альтернативному признаку.
- 3 Розно М.И., Шинко Л.В. Пора заняться техпроцессом./ Методы менеджмента качества №7,2004 с 39...44.
- 4 Незговорова Е.М. Оценка качества корпоративных управленческих решений/Управленческий учет и финансы, 03(11)2007 г.
- 5 ГОСТ Р 51814.2-2001. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. М.: ИПК «Издательство стандартов», 2001.-17 с.

Протасьев В.Б.

Тульский государственный университет, г. Тула

Доктор технических наук, профессор

Тел. (4872) 33-25-38

E-mail: imstulgu@pochta.ru

Косаревская А.В.

ЭОС, г. Москва

Эксперт

Тел. (916) 352-10-67

E-mail: l_anast@mail.ru

УДК 371.49

А.В. МОРОЗОВА

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КАДРОВ

В статье анализируется разработки модели социально-профессиональной конкурентоспособности специалиста с использованием методов математического моделирования

In article it is analyzed development of model of social - professional competitiveness of the expert with use of methods of mathematical modeling

Проведенный анализ научных публикаций по проблеме разработки структуры социально-профессиональных характеристик специалистов для современного машиностроительного производства и анализа конкурентоспособности специалистов на рынке труда позволяет предположить целесообразность рассмотрения этой проблемы в несколько этапов: выбор базовой структуры компетенций; выбор системы метрического оценивания компетентностей специалиста; формирование уровней сформированности компонентов системы компетенций специалиста; определение комплекса информационно-технологического обеспечения их оценивания; определение количественных характеристик, соответствующих различным уровням подготовки специалиста; определение потенциальной зоны расширения компетентностей специалиста.

Для разработки такой комплексной системы, по-нашему мнению, необходимо использовать не только методологическую базу современной педагогики профессионального обучения, опыт ведущих педагогических школ России, результаты исследовательской деятельности педагогов-инноваторов, но и методы квалиметрической оценки социальных объектов, а также методики математико-статистического анализа, экспертные и нейросетевые технологии, основу которых составляют математические знания.

В качестве базовой структуры компетенций, по-нашему мнению, целесообразно принять за основу зарубежный опыт, т.к. значительная часть отечественных аналогов представляет лишь подсистемы предложенной номенклатуры обобщенных компетенций и операционально определяемых требований к компетенциям [1].

Выбор системы метрического оценивания компетентностей специалиста осуществляется в соответствии с предпочтениями использования [2]. При этом «знаниевые» компоненты компетентностей целесообразно определять в метрическом компетентностном формате, а социально-психологические – в неметрическом.

В качестве уровней сформированности компонентов системы компетенций специалиста целесообразно использовать уровневую модель зрелости образовательного знания, дополнив их подуровнями, характеризуемыми в соответствии со шкалой отношений

Т. Сааги [3], т.е. при минимальном уровне, которому условно устанавливается соответствие число «1», значению «3» соответствует понятие «умеренно больше», значению «5» - «существенно больше», значению «7» - «намного больше», значению «9» - «бесспорно больше, чем 1». Кроме того, возможен также вариант, при котором в качестве оценки уровней сформированности компетенций специалиста используется только шкала отношений Т. Сааги, которая идентифицируется с определенными числовыми значениями, что значительно облегчает работу экспертов. Данный подход частично использует опыт применения пятиуровневой шкалы оценки в методике самодиагностики профессиональной компетентности с применением системы психолого-педагогических анкет.

На основе представленных допущений, формируется базовая метрико-уровневая модель структуры компетенций специалиста для машиностроительного производства, представленная в таблице 1.

Информационно-технологическое обеспечение базовой метрико-уровневой модели структуры компетентностей специалиста для машиностроительного производства представляет комплекс прикладных программ для реализации технологических приемов, основанных на различных методологических подходах для измерения уровней компетенций специалистов и определения их соответствия количественным характеристикам, соответствующим различным уровням подготовки специалиста.

Методологическим обеспечением изменения компетенции специалиста, заданной в метрическом компетентностном формате, является комплексная технология, применяемая в статистике качеств [4], [5], [6], [7]. Она реализуется, как правило, путем применения тестовых дидактических материалов, а затем обработка полученных данных осуществляется с применением методов математико-статистического анализа и программных продуктов SPSS или Statistica [8], [9].

Методологическим обеспечением измерения компетенции специалиста, заданной в неметрическом формате, является комплексная технология, основанная на применении как метода анализа иерархий, поддержка которого осуществляется посредством прикладной программы Expert Decide, а также индексного метода, применяемого в аналитической статистике.

Коэффициенты, отражающие результаты измерений компетенций в метрическом и неметрическом компетентностных форматах, позволяют сформировать интегрированный показатель компетентности специалиста, который зависит только от индивидуальных социально-профессиональных качеств специалиста.

Методологическая модель квалиметрического оценивания [10], [11], [4], компетентности и социально-профессиональной конкурентоспособности специалиста на региональном рынке труда представлена на рисунке 1.

Накопленный опыт исследования проблем социально-профессиональной конкурентоспособности специалистов позволяет сделать вывод о том, что в условиях, когда, с одной стороны, отсутствует система совмещения ГОС и тех требований, которые предъявляют работодатели к молодому специалисту, которому предстоит трудиться на современном производстве, а, с другой стороны, действующие стандарты в системе профессионального образования не содержат критериев оценки качества подготовки специалиста, поэтому содержание образования неконкретно, а уровень сформированности практических навыков в период производственной практики не определен, целесообразна идея разработки такой модели конкурентоспособности специалиста, которая, с одной стороны, решала бы вопрос о квалиметрическом многоуровневом многокомпонентном оценивании результативности образовательной деятельности студента по формированию индивидуальной системы социально-профессиональных компетенций в рамках профессии определенного профиля, а, с другой стороны, учитывала бы специфику как вуза,

Таблица 1

Компетенции	Наиболее важные стороны способностей студента	Система метрического оценивания компетенции	Уровни инженерно-технического профессионального образования					
			Рабочий	Техник	Бакалавр	Магистр	Ученый	
Познавательные (когнитивные)	Способность критического подхода к изучаемой дисциплине (включая анализ внутренней логики, способность применения полученных знаний к решению практических задач).	МКФ + НКФ						
	Глубокое знание изучаемой дисциплины (в том числе знаний истории развития, внутридисциплинарных связей, связей со смежными дисциплинами).	МКФ						
	Способность самостоятельно приобрести знания из различных информационных источников, а также самостоятельное определение этих источников.	НКФ						
	Способность к самостоятельному поиску причинно-следственных связей.	НКФ						
	Способность применения новых подходов к решению известных проблем.	МКФ + НКФ						
Творческие (креативные)	Способность выявлять возможности практического применения закономерностей изученных дисциплин в нетрадиционных ситуациях.	МКФ						
	Способность решать нестандартные задачи, в том числе далекие от изучаемой области знаний.	МКФ + НКФ						
	Способность выявлять основные противоречия в изучаемой области, формулировать новые задачи и проблемы.	МКФ + НКФ						

<p>этапы по областям: выделение рамок специализаций)</p>	<p>Способность применять инновационные методы для решения инженерных задач.</p>	<p>МКФ - НКФ</p>			
<p>Инженерно-техническое проектирование (участие в выполнении инженерных проектов, умение работать как в профессиональной, так и в непрофессиональной среде)</p>	<p>Способность использовать знания при решении незнакомых задач, в том числе с применением знаний из других дисциплин.</p>	<p>МКФ - НКФ</p>			
	<p>Способность использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей и методов.</p>	<p>МКФ - НКФ</p>			
	<p>Способность принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации.</p>	<p>МКФ + НКФ</p>			
<p>Инженерно-техническая практика (содержит требования к умению выпускников применять полученные знания в инженерно-технической практике)</p>	<p>Способность выбирать и использовать подходящее оборудование, инструменты и методы, всестороннее понимание применяемых методов и их ограничений.</p>	<p>МКФ + НКФ</p>			
	<p>Способность интегрировать теоретические и практические знания различных областей для решения сложных инженерных задач.</p>	<p>МКФ + НКФ</p>			
	<p>Осведомленность о нетехнических последствиях инженерно-технической деятельности.</p>	<p>МКФ + НКФ</p>			
<p>Исследования (содержит</p>	<p>Способность идентифицировать, находить и получать необходимые данные.</p>	<p>НКФ</p>			

Проблемы инновационного развития и кадрового обеспечения
современного машиностроительного производства

Требования к умениям выпускников проводить исследования, используя различные методы, соответствующие их уровню знаний)	Умение планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования, способность критически оценивать данные и делать выводы.	НКФ							
	Умение оценивать возможность использования новых и новейших технологий в сфере своей специализации.	НКФ							
Личностные навыки (навыки, необходимые для инженерной деятельности)	Способность эффективно работать: индивидуально, в качестве члена команды, в качестве лидера команды, которая может состоять из специалистов различных направлений и квалификаций.	МКФ – НКФ							
	Умение использовать различные методы с целью эффективного взаимодействия с профессиональным сообществом и с обществом в целом.	МКФ – НКФ							
	Умение эффективно взаимодействовать в национальном и международном контекстах.	МКФ – НКФ							
	Понимание вопросов здравоохранения, безопасности, юридических аспектов и ответственности за инженерную деятельность, понимание влияния инженерных решений на социальную и окружающую среду.	НКФ							
	Готовность следовать кодексу профессиональной этики и нормам инженерной практики.	НКФ							

	Осведомленность в сфере проектного менеджмента и бизнеса, знание и понимание рисков в изменяющихся условиях.	НКФ							
	Осознание необходимости самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всей жизни.	НКФ							

Уровни сформированности компонентов системы компетенций специалиста:

- 1 - минимальный уровень
- 3 - умеренно больше
- 5 - существенно больше
- 7 - намного больше
- 9 - беспорно больше

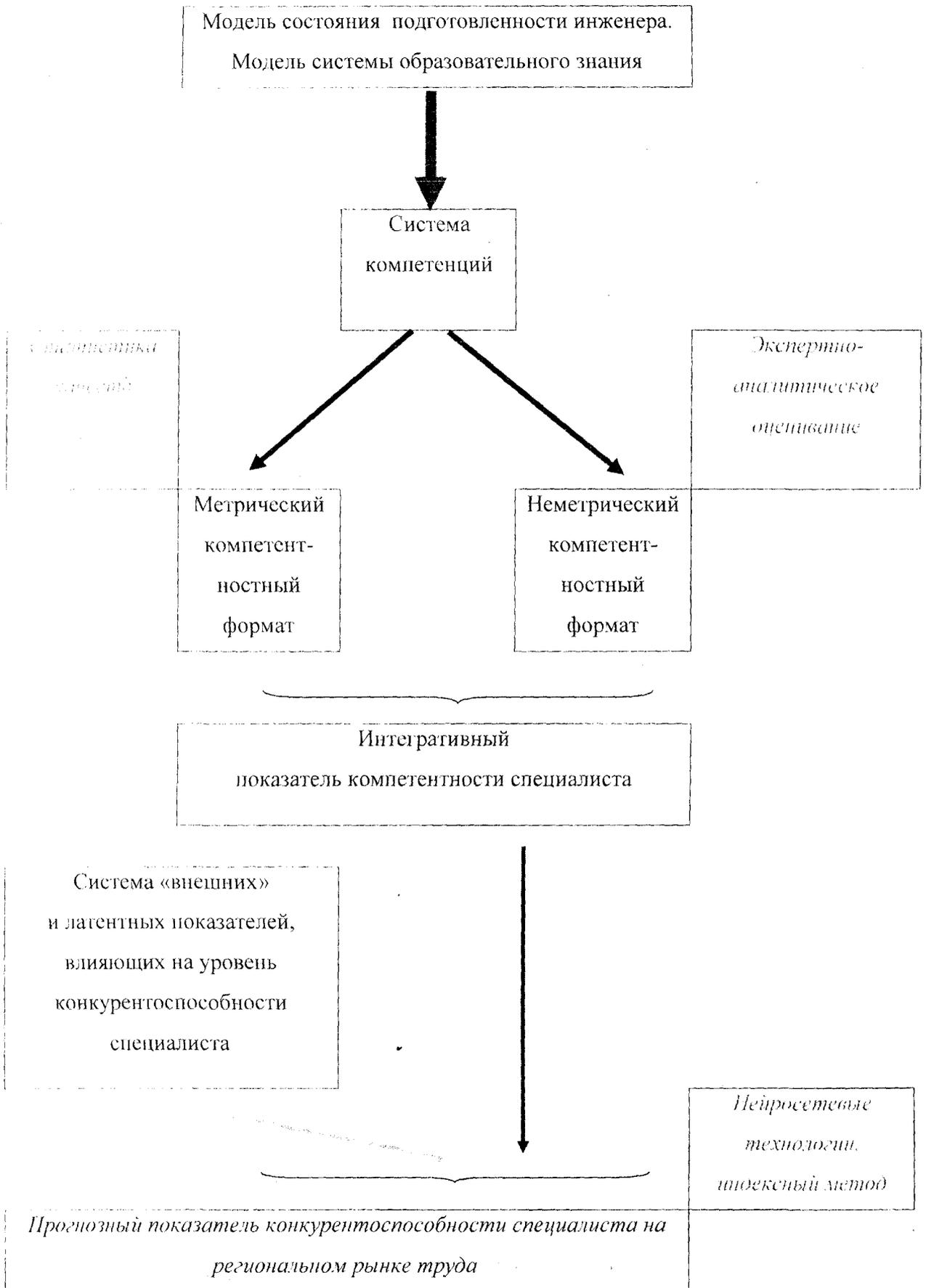


Рисунок 1 – Методологическая модель квалиметрического оценивания конкурентоспособности специалиста на региональном рынке труда

осуществляющего подготовку специалиста, так и конкретного работодателя, участвующего в оценивании уровня конкурентоспособности молодого специалиста [12].

Для специалистов машиностроительного профиля, по нашему мнению, такая модель могла бы представлять показатель вида $I_{md-k} = I_{md} \cdot \frac{1}{R_j} \cdot \frac{1}{R_r}$, формируемый индексным методом, который имел бы следующую структуру.

На первом этапе формируется система социально-профессиональных компетенций специалиста и вводится совокупность метрических и неметрических показателей их оценивания. В этом случае формируется индивидуальный вектор-строка $\overline{X}_i = (x_{i1}; x_{i2}; x_{i3}; x_{i4})$, который характеризует определенную компетенцию специалиста по совокупности входящих в ее состав характеристик. Кроме того, в метрической и неметрической шкалах определяется индивидуальное значение среднего геометрического каждой социально-профессиональной компетенции $x_{ij} = \sqrt[n]{x_{i1} \cdot x_{i2} \cdot x_{i3} \cdot x_{i4} \cdot \dots}$, в результате

чего для каждого j -го специалиста формируется вектор-столбец $\overline{X}_j = \begin{pmatrix} x_{1j} \\ x_{2j} \\ x_{3j} \\ \dots \end{pmatrix}$,

представляющий его индивидуальную компетентностную модель. Кроме того, для всей совокупности анализируемых специалистов определить максимальное значение среднего геометрического для каждой компоненты системы социально-профессиональных

компетенций специалиста $\overline{X}_{max} = \begin{pmatrix} x_{1max} \\ x_{2max} \\ x_{3max} \\ \dots \end{pmatrix}$, затем рассчитать индивидуальный индекс системы

социально-профессиональных компетенций специалиста в виде $I_{md} = \frac{x_{1j}}{x_{1max}} \cdot \frac{x_{2j}}{x_{2max}} \cdot \frac{x_{3j}}{x_{3max}} \cdot \dots$

На следующем этапе целесообразно сформировать компоненты:

а) $\frac{1}{R_j}$, которая является обратной величиной рейтинга образовательного учреждения [10],

которое заканчивал молодой специалист,

б) $\frac{1}{R_r}$, которая является обратной величиной рейтинга промышленного предприятия или

фирмы региона, которое предлагает свои вакансии для работы (расчет рейтинга промышленного предприятия или фирмы целесообразно проводить методом опроса общественного мнения).

Тогда обобщенный агрегатный индекс социально-профессиональной конкурентоспособности специалиста на региональном рынке труда будет иметь вид:

$I_{md-vp} = I_{md} \cdot \frac{1}{R_v} \cdot \frac{1}{R_p}$, где $I_{md-v} = I_{md} \cdot \frac{1}{R_v}$ - индивидуальный агрегатный индекс социально-

профессиональной конкурентоспособности специалиста – выпускника вуза.

В этой связи, по нашему мнению, имеет смысл использовать понятие «конкурентного вуза» как главного поставщика специалистов на рынок труда (для провинциальных вузов, как правило, этот рынок является преимущественно региональным), которое заключается в том, что к категории конкурентных целесообразно относить вуз,

который обеспечивает всем субъектам своего социального пространства возможность и сформировать систему своих индивидуальных социально-профессиональных конкурентных преимуществ и впоследствии оптимально реализовать их на рынке труда.

Вывод:

➤ Усредненное значение индивидуальных агрегатных индексов социально-профессиональной конкурентоспособности специалистов – выпускников вуза может рассматриваться как интегративный показатель оценки качества научно-образовательной деятельности в системе качества вуза.

➤ Обобщенные агрегатные индексы социально-профессиональной конкурентоспособности специалиста на региональном рынке труда, рассчитанные для различных предприятий и фирм региона, могут рассматриваться как целевой показатель оптимизации выбора приоритетного места для дальнейшего трудоустройства выпускника вуза.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ассоциация инженерного образования в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://itonline.ru/news/?id=4723>
- 2 Нуриев, Н. Двухуровневая образовательная система: благо или вред? [Текст] / Н. Нуриев, Л. Журбенко, С. Старыгина // Высшее образование в России. - 2008. - № 2. - С. 84-91.
- 3 Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
- 4 Васильев, В.И. Статистический анализ многомерных объектов производной природы [Текст] / В.И. Васильев, В.В. Красильников, С.И. Плаксий, Т.Н. Тягунова. – М.: Издательство ИКАР, 2004. - 382 с.
- 5 Гамов, А.В. Развитие профессиональных компетенций студентов на основе интеграции электротехнических дисциплин [Текст] : автореферат дис. ... кандидата педагогических наук : 13.00.08 / Гамов А.В. - 2008. - 25 с.
- 6 Голкина, В.А. Управление качеством продукции на основе формирования компетенций персонала в системе дополнительного профессионального образования [Текст] : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.23 / Голкина В.А. - Рыбинск, 2007. - 168 с.
- 7 Гренадерова, С.В. Особенности формирования компетентности личностного самосовершенствования [Текст] / С.В. Гренадерова // Среднее профессиональное образование. - 2009. - № 2. - С. 22-23.
- 8 Ефимов, В.В. Статистические методы в управлении качеством продукции. [Текст] / В.В. Ефимов, Т.В. Барт. – М.: КНОРУС, 2006. – 240 с.
- 9 Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks [Текст]: Пер. с англ. – М.: Горячая линия Телеком, 2001. – 182 с.
- 10 Азгальдов, Г.Г. Квалиметрия жизни [Текст] / Г.Г. Азгальдов, В.Н. Бобков, В.Я. Ельмев, Ю.С. Перевозчиков, В.А. Беляков. – Ижевск: Издательство Института экономики и управления УдГУ, 2006. – 820 с.
- 11 Васильев, В.И. Оценка качества деятельности образовательного учреждения [Текст] / В.И. Васильев, В.В. Красильников, С.И. Плаксий, Т.Н. Тягунова. – М.: Издательство ИКАР, 2005. - 320 с.
- 12 Морозова, А.В. Общая структура комплексной квалиметрической модели социально-профессиональной конкурентоспособности специалистов технического профиля [Текст] / А.В. Морозова // Известия ОрелГТУ. Серия Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – 2008. - № 4-4/272(550) – С. 80-87.

Морозова Анна Валентиновна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат социологических наук, заместитель директора по НИР
Технологического института ОрелГТУ
Тел. (4862) 54-15-19
E-mail: niotostu@gmail.com

Адрес редакции:

Орловский государственный технический университет
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862)43-48-90,40-96-14
www.ostu.ru
E-mail: **nmu@ostu.ru**

Технический редактор А.В. Морозова
Корректор А.В. Морозова
Компьютерная верстка И.Ю. Котова

Сдано в набор 10.04.2009 г.
Подписано в печать 13.04.2009 г.
Формат 60x88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 9,3.
Заказ № 186/09по

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе ОрелГТУ

302030, г.Орел, ул. Московская, 65.