

Редакционный совет

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

Редколлегия

Главный редактор
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки Российской Федерации

Заместители главного редактора

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.

Члены редколлегии

Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Бухач А. д-р техн. наук, проф. (Польша)
Вловин С.И. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Дмитриев А.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Зубанов В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)
Иванов Б.Р. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Клименко С.А. д-р техн. наук, проф. (Украина)
Колесников К.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Малинин В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия)
Мирсалимов В.М. д-р физ.-мат. наук, проф. (Азербайджан)
Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Панин В.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Старовойтов Э.И. д-р физ.-мат. наук, проф. (Беларусь)
Хейфец М.Л. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Ответственный за выпуск

Григорьева О.Ю.

Адрес редакции

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03,
89066639898
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-47351 от 03 ноября 2011 года

Подписной индекс 29504

по объединенному каталогу «Пресса России»

© Госуниверситет – УНПК, 2014

Содержание

Естественные науки

<i>Мусихина Е.А., Верхотуров В.В., Михайлова О.С.</i> Моделирование эволюции урбанизированных территорий на основе синергетического подхода.....	3
<i>Качанов А.Н., Худокормов И.Н.</i> Исследование дисперсионных характеристик акустических форсунок распыливания для котлов малой и средней мощности.....	11
<i>Калантарлы Н.М.</i> Влияние объемных сил на зарождение трещины в круговом диске.....	17
<i>Мир-Салим-Заде М.В.</i> Контактная задача для стрингерной пластины, ослабленной щелью переменной ширины.....	23
<i>Морозова А.В., Ткаченко А.Н., Тюхта А.В.</i> Формирование полной и кластерной параметрограмм многопараметрического социального объекта.....	30
<i>Старовойтов Э.И., Тарлаковский Д.В.</i> Деформирование трехслойной ортотропной пластины ступенчато-переменной толщины.....	38

Моделирование технологических процессов

<i>Бородина М.Б., Мироненко С.В., Шевченко Б.А.</i> Моделирование динамики работы гидромеханической муфты с планетарным дифференциальным передаточным механизмом.....	44
<i>Королькова Л.Н., Петрова Л.П., Малахова О.И.</i> К вопросу возможности использования горячего воздуха из зоны охлаждения туннельной печи обжига для сушки и обжига санитарно-керамических изделий.....	51
<i>Цуканов М.А., Невзоров А.А.</i> Применение технологии n-моделей для задачи составления расписания сложноструктурированного производства.....	56
<i>Фёдоров Т.В., Волобуев К.А.</i> Моделирование потребной силы кривошипного прессы при изготовлении деталей методом гибки.....	63

Конструирование, расчеты, материалы

<i>Бойко Н.И., Санамян Г.В., Санамян В.Г.</i> Расчет температуры наплавленного металла в зоне обработки резанием металлоемких деталей с подогревом.....	68
<i>Вдовин С.И., Маркин Н.И., Лунин К.С., Татарченков Н.В.</i> К расчету пружинения при гибке труб.....	77
<i>Корнеев Ю.С., Корнеева Е.Н., Играскина Н.А.</i> Анализ работы пускозащитной муфты.....	82

Машиностроительные технологии и инструменты

<i>Комаров В.А., Плешаков В.В.</i> Повышение эффективности механической обработки закаленных железнодорожных колес.....	86
<i>Копылов Ю.Р., Ачкасов В.А.</i> Оптимизация процесса виброабразивной обработки на основе критерия удельной плотности кинетической энергии.....	90
<i>Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Кисловский А.А.</i> Методика исследования влияния геометрии формообразующего инструмента на упрочнение деталей машин методами комплексного локального деформирования.....	97
<i>Сергиев А.П., Проскурин Д.А., Макаров А.В., Еременко А.Ю., Секирин Р.Ю.</i> Поиск эффективных решений при обработке в центробежно-планетарных устройствах.....	105
<i>Чуприков А.О., Ямников А.С.</i> Деформации элементов технологической системы при нарезании внутренней резьбы на сварных корпусах под действием радиальной составляющей силы резания.....	110

Машины, аппараты, технологии пищевой и легкой промышленности

<i>Проколова Е.В., Моськина Е.Л., Моськин А.А.</i> Влияние процесса настрачивания декоративных элементов на изменение конфигурации срезов в плечевых изделиях.....	116
--	-----

Инновации и кадры в машиностроении

<i>Степанова Е.Ю.</i> Научоемкие отрасли и высокие технологии - основа технологической безопасности и независимости страны.....	122
---	-----

Приборостроение и биотехнические системы

<i>Гуляйкин Д.А., Тарусов В.А., Васечкин Е.А.</i> Автоматизация измерений напряженности электромагнитного поля при решении задач обеспечения электромагнитной совместимости.....	133
--	-----

Испытания, контроль, диагностика и управление качеством

<i>Коробко В.И., Калашикова О.В.</i> Экспериментальное определение «эффективного» числа нагелей при контроле двухслойных деревянных балок.....	140
<i>Бондарева Л.А., Уткина В.В.</i> Функциональная диагностика растений с использованием отраженной от листьев мощности излучения.....	144
<i>Флеров А.В., Шалобаев Е.В.</i> Совершенствование программы испытаний опытного образца сложной технической системы.....	151



The journal is published since 1995
The journal is published 6 times a year

№ 2 (304) 2014
March-April

Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology

The founder – The Federal State Higher Education Professional Institution
«State University - Education-Scientific-Production Complex»
(State University – ESPC)

Editorial council

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president
Pilipenko O.V. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president
Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president
Borzenkov M.I. Candidate Sc. Tech.,
Assistant Prof., secretary
Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.
Ivanova T.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.
Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Popova L.V. Doc. Sc. Ec., Prof.
Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial Committee

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

Member of editorial board

Babichev A.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Buchach A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)
Vdovin S.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Dmitriev A.M. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Zubarev Y.M. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Subchaninov V.G. Doc. Sc. Ph. - Math., Prof.
(Russia)
Ivanov B.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Klimenko S.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)
Kolesnikov K.S. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Kopylov Y.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Malinin V.G. Doc. Sc. Ph.-Math., Prof. (Russia)
Mirsalimov V.M. Doc. Sc. Ph. - Math., Prof.
(Azerbaijan)
Mulyukin O.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Panin V.E. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Smolenzev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Starovoitov A.I. Doc. Sc. Ph.- Math., Prof.
(Belarus)
Heifets M.L. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belarus)

Responsible for edition
Grigorieva O.Yu.

Address

302020 Orel,
Naugorskoe Chossee, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03,
89066639898
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Journal is registered in Federal Agency
of supervision in sphere of communica-
tion, information technology and mass
communications. The certificate of registra-
tion PI № FS77-47351 from
03.11.2011

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

© State University – ESPC, 2014

Contents

Natural science

<i>Musikhina E.A., Verkhoturov V.V., Mikhailova O.S.</i> Simulation of evolution of urban of territories on the basis of synergetic approach.....	3
<i>Kachanov A.N., Hudokormov N.N.</i> Research of dispersive characteristics of acoustic atomizing nozzles for coppers of low and average power.....	11
<i>Kalantarly N.M.</i> Influence of volume forces on crack nucleation in circular disk.....	17
<i>Mir-Salim-Zada Minavar Vagif Qizi</i> Contact problem for stringer plate weakened by variable width slit..	23
<i>Morozova A.V., Tkachenko A.N., Tyukhta A.V.</i> Formation of complete and cluster parametergrams for multiparameter social object.....	30
<i>Starovoitov E.I., Tarlavovsky D.V.</i> Stress-strain condition of a three-layer orthotropic plate with the strengthening onlay.....	38

Process modeling

<i>Borodina M.B., Mironenko S.V., Shevchenko B.A.</i> Modeling of dynamics of the hydromechanical coupling with a planetary differential mechanism.....	44
<i>Korolkova L.N., Petrova L.P., Malakhova O.I.</i> About possibility of usage hot air from cooling zone of tunnel furnace for drying and sintering of ceramics.....	51
<i>Tsoukanov M.A., Nevzorov A.A.</i> Using of h-models technology for complexstructure manufactory scheduling.....	56
<i>Fedorov T.V., Volobuev K.A.</i> Simulation power needs of crank presses to produce parts means of bending...	63

Construction, calculation, material

<i>Boyko N.I., Sanamyan G.V., Sanamyan V.G.</i> The temperature calculation of welding metal in a zone of processing by cutting of metal-consuming details with heating.....	68
<i>Vdovin S.I., Markin N.I., Lunin K.S., Tatarchenkov N.V.</i> To springing calculation at are flexible pipes.....	77
<i>Korneev YU.S., Korneeva E.N., Igrashkina N.A.</i> Analysis of work of a start-protective clutch.....	82

Machine building technology and toolware

<i>Komarov V.A., Pleshakov V.V.</i> Improving the efficiency of machining hardened railway wheels.....	86
<i>Kopylov Yu.R., Achkasov V.A.</i> Optimization of process of vibroabrasive treatment based on criteria of specific density kinetic energy.....	90
<i>Golenkov V.A., Radchenko S.Y., Dorokhov D.O., Kislovsky A.A.</i> Technique of research of influence of geometry the form-building tool on hardening details of cars methods of the complex local deformation	97
<i>Sergiev A.P., Proskurin D.A., Makarov A.V., Eremenko A.Ju., Dolgih A.S.</i> The search for effective solutions for processing in a centrifugal planetary devices.....	105
<i>Chuprikov A.O., Yamnikov A.S.</i> Deformations of elements of technological system when cutting the female thread on welded cases under the influence of the radial the making force of cutting.....	110

Machine, apparatus, technology light and food industry

<i>Prokopova E.V., Moskina E.L., Moskin A.A.</i> The influence of process of stitching of decorative elements on the change in cuts configuration in humeral products.....	116
--	-----

Innovation and frame in machine building

<i>Stepanova E.Yu.</i> The high technology branches and high technologies are the basis of technological security and independence of the country.....	122
--	-----

Instrument making and biotechnological system

<i>Gulyaikin D.A., Tarusov V.A., Vasechkin E.A.</i> Automation of measuring of electromagnetic field strength when solving the problems of electromagnetic compatibility.....	133
---	-----

Tests, control, diagnostics and quality control

<i>Korobko V.I., Kalashnikova O.V.</i> Experimental definition of "effective" the number of pins in the control dual layer wooden beams.....	140
<i>Bondareva L.A., Utkina V.V.</i> Functional diagnostics of plants using reflected from the leaves radiation power.....	144
<i>Flerov A.V., Shalobaev E.V.</i> Improvement of the program of tests of the prototype of difficult technical system.....	151

The journal is on the List of the peer-reviewed journals and editions stated by the High Attestation Commission at the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the publication of the main scientific results of the thesis for the academic degree.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 504.062.2

Е.А. МУСИХИНА, В.В. ВЕРХОТУРОВ, О.С. МИХАЙЛОВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В статье рассматриваются вопросы применения различных методов моделирования развития урбанизированных территорий. Особое внимание уделено синергетическому подходу к моделированию природных систем к изучению и организации урбогеосистем как в естественном виде, так и в условиях антропогенной нагрузки. Приводиться пространственно-временная модель для исследования и прогнозирования состояния таких систем.

Ключевые слова: *методы моделирования, развитие урбанизированных территорий, синергетический подход, пространственно-временная модель.*

Современная государственная и региональная экологическая деятельность проводится таким образом, что на решение задач экологической безопасности выделяется недостаточное количество средств, несмотря на необходимость эффективной природоохранной деятельности. Кроме того, существует проблема экологического воспитания населения, которая пока носит эпизодический характер. Важнейшая сторона воспитания – это развитие острого восприятия природы и тонкого с ней общения. Притупление внимания к природе – это остановка развития человека, поскольку разучившись наблюдать, человек теряет способность обобщать. Понимание мира через законы диалектики помогает воспитать нового человека, а это очень тонкая работа с индивидуальным анализом и очень тонким подходом. Однако пути назад – к первобытной природе нет, поскольку природа беспощадно жестока и неизбежно уничтожит все, не подчиняющееся ее законам. Изучение законов природы и общества, его экономики приведет к осмыслению знания и как следствие к правильному выбору. Неумение человека взвесить реальную ценность своих дел и сопоставить ее с вредной оборотной стороной, которой неизбежно обладает каждое действие, каждое мероприятие приводит к неверному пути принятия решения. Существующая определенная непреложность развития предполагает мудрость своевременно осознать высшую для настоящего момента ступень и вовремя остановиться, подождать или изменить свой путь развития. Любые пути развития территорий должны рассматриваться на основе сценарного моделирования, позволяющего спрогнозировать эколого-экономическую ситуацию до принятия управленческого решения любого уровня [1, 2].

Прогнозирование эколого-экономического развития урбанизированных территорий должно осуществляться на основе системного анализа, центральным моментом которого является построение единой модели развития территорий, отражающей важнейшие факторы и взаимосвязи реальной системы. Технологический подход к построению моделей городских систем основан на представлении моделей ресурсного типа. При таком подходе состояние городской экономической системы описывается переменными. Внешние воздействия и управленческие решения, определяющие динамику моделируемой системы являются константами. Основной целевой задачей при этом будет установление баланса использования ресурсов в системе.

По мнению специалистов, работающих в области системного анализа, существует слишком много объектов-систем, но мало собственных методов исследования, инструментария, разработанного в рамках системного подхода, а не заимствованного вместе с конкретными приложениями из более старых областей науки. Основное противоречие теории систем заключается в том, что ключевые понятия классического системного анализа ориентированы на изучение систем в статическом состоянии. При наблюдении за динамической системой легко убедиться, что четкость и ясность основных системных понятий исчезает. Поэтому

ключевым понятием теории открытых систем должна стать организация, характеризующая главные отношения, конструирующие систему как целое и определяющие ее суть. Система осуществляет процессы самовоспроизводства своих компонентов, составляющих ее организацию, осуществляя, таким образом, свою самоидентичность. Природная система, как и урбанизированная является динамической, самоорганизующейся, нестабильной и плохо прогнозируемой и требует совершенно отличного от классического системного анализа инструментария для исследования процессов жизнедеятельности и эволюционирования открытых сложных систем [3].

Работы последних лет по моделированию сложных систем различной природы позволили сформулировать концепцию иерархии упрощенных моделей. В основе такой концепции лежит набор базовых математических моделей, позволяющих эффективно строить и изучать весьма значительный спектр моделей различных явлений. Данный процесс осуществляется путем построения из базовых моделей, выступающих в роли кубиков, с помощью которых конструируют, детальное описание конкретного явления. Следует подчеркнуть два принципиальных факта, выявленных в последнее время. Во-первых, базовых математических моделей немного, причем даже предельно простые нелинейные математические модели могут оказаться глубокими и содержательными. Во-вторых, с их помощью, не проходя все ступени иерархии, связанные с детализацией и усложнением математического описания, оказалось возможным прогнозировать некоторые явления природы [4]. Модели в одних случаях основаны на точно известных законах, в других – на наблюдаемых фактах или аналогиях, либо на правдоподобных представлениях о характере объекта. Но все характеризуются важнейшим свойством, объединяющим базовые математические модели – их универсальностью.

Примеры возможности применения базовых математических моделей [4-7] :

Модель Мальтуса, названная по имени Т. Мальтуса (XVIII век), представляющая рост населения планеты с течением времени: $\frac{dx}{dt} = kx$, скорость роста населения пропорциональна численности населения. В общем случае может быть функцией, как самой численности, так и времени, или зависеть от других внешних и внутренних факторов.

Математически это дифференциальное уравнение не учитывает системный характер развития. При определенных условиях данную модель можно преобразовать для применения при исследовании производительности труда, объема инвестиций, уровня образования и т.д.

Логистическая модель, представляющая собой S-образную кривую, хорошо описывающую замещение одного вида техники другим, смену технологий, различные эволюционные процессы в экономической и социокультурной сферах:

$$\frac{dx}{dt} = k(x)x, \text{ допускающую выбор различных функций } k(x).$$

Простейшим примером является $k(x) = a - bx \Rightarrow$ логистическая модель $\frac{dx}{dt} = ax - bx^2$

Логистическая модель диффузии инноваций использовалась американскими политологами Дж. Модельски и Г. Пери (1991 год) при прогнозировании процесса демократизации.

Экспоненциальная модель с отловом, не учитывает конкуренции, зато предполагает, что в результате промысла из популяции с постоянной скоростью изымается некоторое количество особей в единицу времени: $x_{n+1} = ax_n - c$

x_n - может означать доход фирмы в некоторый период времени,

a - коэффициент, демонстрирующий способность работников фирмы увеличивать доход за один период времени ($a > 1$)

c - квота отлова, в экономической интерпретации c - постоянные платежи, не зависящие от n и x_n .

Логистическая модель с отловом является, по сути, синтезом двух предыдущих моделей (учитывает конкуренцию и предполагает регулярный отлов): $x_{n+1} = (a - bx_n)x_n - c$.

Экономическая интерпретация рассматриваемой модели состоит в том, что она описывает поведение фирмы в условиях возможного насыщения рынка и при наличии платежей, не зависящих от времени, дохода или капитала фирмы.

Модель Лотки-Вольтерра – модель взаимодействия двух популяций (хищник-жертва):

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = (a-by)x \\ \frac{dy}{dt} = (-c + dx)y \end{cases}, \text{ где}$$

x — количество жертв;

y — количество хищников;

t — время;

a, b, c, d — коэффициенты, отражающие взаимодействия между видами и принимающие значения больше нуля. Модель описывает поведение конкурирующих фирм, рост народонаселения, изменение численности воюющих армий, экологической обстановки, развитие науки и некоторые другие явления.

На основе концептуально сформировавшейся иерархии упрощенных моделей, позволяющих эффективно строить и изучать весьма значительный спектр моделей различных явлений, возможен совершенно новый подход к описанию конкретного явления или процесса. Используя за основу набор базовых математических моделей, с помощью которых конструируют, соблюдая иерархический порядок, детальное описание конкретного явления или процесса.

Однако задача получения точных моделей и оптимальных решений при изучении и прогнозировании открытых самоорганизующихся систем крайне сложна. Погоня за все более точной моделью приведет к иерархии все более сложных и громоздких математических построений, реальная ценность которых вряд ли будет ценнее обыкновенных выводов, полученных эмпирическим путем. Кроме того, существует проблема измерения: надежные методы измерения переменных при анализе и прогнозе состояний природной среды попросту отсутствуют. Таким образом, исследование природной системы методами «жесткого» моделирования не представляется возможным, поскольку она, как любая открытая самоорганизующаяся система, обладает свойствами трех «н»: нелинейности, нестабильности и непредсказуемости. Использование теории «мягкого» моделирования также не позволяет получить конкретных данных, поскольку является искусством получать относительно надежные выводы из анализа малонадежных моделей. В данном случае акцент ставится не на количественные, а на качественные показатели. Хотя безусловное достоинство такого моделирования – возможность охватить всю проблемную ситуацию, определить «узкие места» и разработать комплекс мер по улучшению ситуации на основе системных представлений. Однако при исследовании сложных систем, в частности, природной среды с использованием структурно-функционального вида концептуальной модели возникают определенные трудности, связанные с формализацией и большим количеством переменных.

Возможно, синергетика как наука об универсальных законах эволюции в природе и обществе, о неустойчивых состояниях, предшествующих катастрофе, о самоорганизации систем позволит выявить определенные закономерности в процессе коэволюции природных и урбанизированных систем и, соответственно, поможет определиться с прогнозом их поведения. Именно синергетика изучает взаимодействия элементов системы, приводящие к возникновению пространственно-временных структур в макроскопических масштабах, уделяя особое внимание их самоорганизации [8].

Синергетический подход к моделированию природных систем, имеющих много степеней свободы, даст возможность создать адекватную, работоспособную модель для изучения и прогнозирования состояния таких систем, как в естественном виде, так и в условиях антропогенной нагрузки. Изначально необходимо определиться с параметрами порядка – базовыми понятиями синергетики. В процессе развития природных систем выделяется несколько главных переменных, к которым подстраиваются все остальные. Такие главные переменные и будут называться параметрами порядка, что значительно упрощает процесс исследования системы. В таком случае, закономерности поведения очень сложных систем могут быть изучены при помощи относительно простых моделей, включающих относительно небольшое

число переменных, что позволит построить иерархию базовых моделей для исследования динамики природных систем.

Параметрами порядка при исследовании природной среды как системы можно считать почвы, воду и воздух. При комплексном исследовании почв территории таким параметром будет рельеф, при исследовании поверхностных водных источников – геометрия русел, при исследовании атмосферного воздуха – роза ветров [9 - 10].

Предполагая возведение новых урбопоселений или расширение границ сложившихся, предварительно следует провести геоэкологический анализ территорий. Рассчитав воздействия от различных антропогенных факторов и применив принцип аддитивности, произведем их суммирование по площадям наложения (по плотности воздействия), поскольку лишь после такого анализа можно принять грамотное и обоснованное решение о допустимости или наоборот недопустимости увеличения нагрузки на природную систему любого района. Подобные расчеты необходимы для адекватности оценки антропогенных воздействий на систему и прогнозирования ее состояний после такого воздействия, так как позволяют определить порог устойчивости системы, ту самую точку перехода количественных изменений в качественные (точку бифуркации). Необходимо помнить город это тоже система, образованная из построек и пространства между ними в их сочетаниях и соотношениях. Создание города как системы это сочетание умения и искусства одновременно. Город – это когда вертикали и горизонталы построек и пространства между ними являются в совокупности тем целым, чем не является простая сумма, простое расположение домов и кварталов, это определенная цельность, единый организм, определенная самооценность.

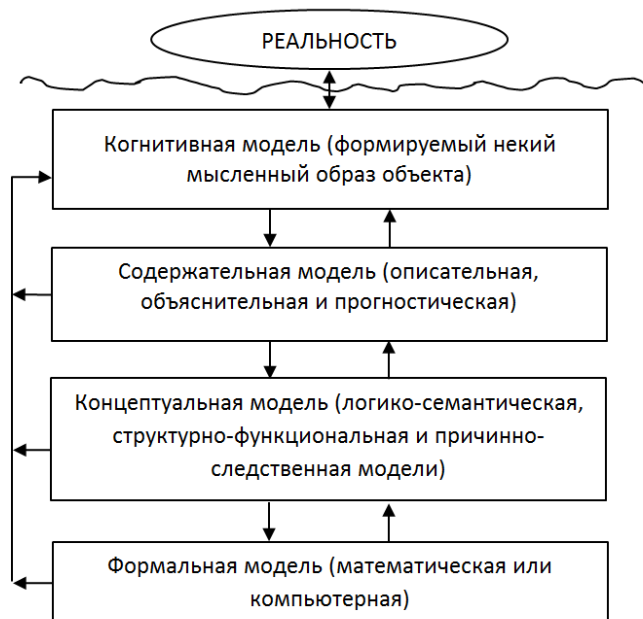


Рисунок 1 – Типология моделей и схема их взаимосвязи

Под когнитивным подходом, имеющим множество ракурсов, понимается решение традиционных проблем методами, включающими процессы восприятия, мышления, познания, объяснения и понимания.

Последующее построение содержательной модели позволяет получить новую информацию о поведении системы, выявить взаимосвязи и закономерности и будет являться, по сути, постановкой задачи.

Концептуальная модель позволит достичь определенного уровня абстрагирования на переходе от описательной модели к формальной, основывается на теоретических концепциях и конструктивных элементах данной предметной области знания.

Построение модели лишь первая часть процесса моделирования, вторая – это экспериментирование с моделью. Поскольку хорошая работоспособная модель своего рода ин-

струмент, предназначенный для упорядочения и структурирования опытных данных и служащий для решения конкретных задач.

Рассмотрим суть пространственно-временной модели [11] оценки риска ущерба комплексной оценки природной среды территории Иркутской области, которая состоит из конкретных, тесно взаимосвязанных в пространстве и времени подсистем: почвы, водные ресурсы, атмосферный воздух. Каждая из перечисленных подсистем иерархична (состоит из последовательно «вложенных» один в другой элементов), и фрактальна, а значит, обладает свойствами самоподобия в структурной организации пространственных элементов независимо от масштабного уровня в последовательном (ранжированном) ряду их размерностей [10].

Учитывая иерархическую структурированность окружающей среды и адекватную ей структурированность времени, соответствующую различным уровням природной системы, перейдем к обоснованию концептуальной (теоретической) модели оценки состояния природной среды территории Иркутской области.

Известно, что все фрактальные системы обладают свойством *нелинейности*. Это одно из фундаментальных свойств, характеризующих природные системы, формирование которых происходило в режиме самоорганизации. Фрактальное расширение области воздействия на окружающую среду предопределяет также нелинейный характер затухания степени локального воздействия (от отдельно взятого города) при распространении его на постепенно увеличивающийся размер окружающего пространства.

Интенсивность локального воздействия будет нелинейно уменьшаться с увеличением радиуса исследуемого пространства. Так, на локальных объектах степень воздействия чрезвычайно высока и носит дискретный (импульсный) характер. Далее, она сначала резко, а затем постепенно, нелинейно снижается, плавно переходя к значению, близкому к нулевому, на уровне области. Аккумуляция же энергии (жизненной силы) окружающей среды, обусловленная свойствами времени, будет максимальной именно на уровне области в целом и минимальной на уровне локального объекта (города). Таким образом, плотность воздействия находится в обратной зависимости от размеров пространственных элементов системы с соответствующим ходом времени, а аккумуляция энергии – в прямой зависимости.

В качестве формальной модели для расчета риска ущерба антропогенного воздействия, наносимого почвам служит выражение:

$$Y = \frac{ПДК \cdot S_{нар}}{S_{общ}^n} * K_{св} * T_{max} * \left(\frac{1}{Ck}\right)^{n-1},$$

где ПДК - уровень предельно допустимой концентрации химического элемента – токсиканта;

$S_{нар}$ – площадь загрязненных токсикантами земель;

$S_{общ}$ – это площадь территории Иркутской области.

Ck – скейлинговый коэффициент – масштабный коэффициент подобия, принимаемый равным 2,95 (согласно расчетам);

T_{max} – время жизни компонента, принимаемое за 100 лет (время формирования 1 см плодородного слоя);

n – количество уровней системы, для которых производится расчет, в данном случае от 1 до 3;

$K_{св}$ – коэффициент связи, принимаемый равным 3 (почвы, вода и воздух).

Осуществляя экспериментирование с моделью - подставляя в формулу принятые значения, а также данные по площадям и данные мониторинга окружающей среды исследуемого района, можно получить комплексную оценку ущерба, наносимого природной среде этого района, т.е. определить время, необходимое для восстановления почвенного покрова. Таким образом, время рассматривается как показатель дисконтирования затрат на восстановление природной среды, с возможностью расчета риска ущерба в виде условных временных единиц.

Преобразовав формулу путем замены на обратную величину (загрязнения изначально имеют локальный характер) $1/ПДК$, заменив площади объемами, и приняв $T_{max}=100$ (максимальное время жизни подводных жителей озера Байкал), получим формулу для оценки ущерба водным ресурсам:

$$Y = \frac{1/ПДК * V_{нсп}}{V_{общ}^n} * K_{св} * T_{max} * \left(\frac{1}{Ck}\right)^n$$

Осуществив аналогичную замену площади нарушенных земель на количество выбросов в атмосферу и приняв T_{max} равным 300 лет (время жизни коренных пород деревьев), получаем формулу для оценки ущерба атмосферному воздуху:

$$Y = \frac{1/ПДК * Q_{нсп}}{S_{общ}^n} * K_{св} * T_{max} * \left(\frac{1}{Ck}\right)^n$$

Таким образом, общая базовая пространственно-временная модель риска ущерба природной системе от антропогенного воздействия примет вид

$$Y = \frac{ПДК * S_{нар}}{S_{общ}^n} * K_{св} * T_{max} * \left(\frac{1}{Ck}\right)^{n-1}$$

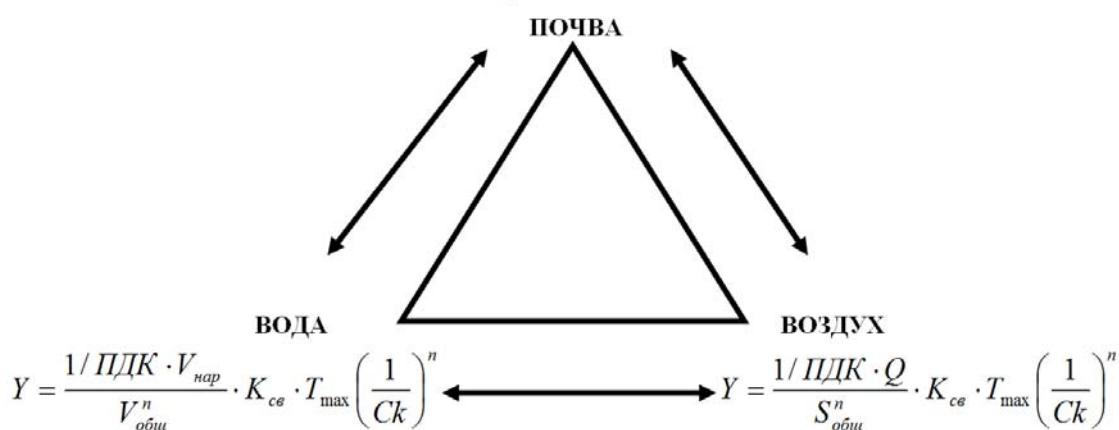


Рисунок 2 – Пространственно-временная модель взаимодействия подсистем природной среды (причем каждая из подсистем в свою очередь также будет являться системой, только другого уровня)

Таким образом, общим временем восстановления системы следует полагать максимальное время восстановления любого элемента природной среды. Ведь именно динамическое равновесие природной системы в естественных условиях обуславливается работой обратных связей, обеспечивающих устойчивость системы. Понятно, что устойчивость любой системы не безгранична. Если давление на систему становится выше определенного уровня или будет очень резким (импульсным), защитные механизмы не выдерживают, начинают разрушаться и система гибнет. Антропогенное воздействие ведет к снижению энергетического потенциала экосистемы и уровня ее организации. Учитывая скромное видовое разнообразие природных систем умеренного пояса, логично предположить, что экосистема Иркутской области, особенно ее северных территорий (вследствие скудости видового разнообразия), крайне уязвима, а антропогенное воздействие со стороны городов и поселений различного типа повторяется с нарастанием, и слишком мал промежуток времени для релаксации природной среды.

Прогнозирование состояний урбанизированных территории под антропогенной нагрузкой крайне сложно, особенно на длительном временном интервале, поскольку все фрактальные системы обладают свойствами нелинейности, нестабильности и непредсказуемости. Синергетический подход к моделированию урбанизированных территорий позволяет создать адекватную, работоспособную пространственно-временную модель для исследования и прогнозирования состояния таких сложных систем. Определение областей риска позволит вычислить площади, требующие восстановительного воздействия, для вывода системы из хаотического состояния иногда даже с помощью малых, но точных и своевременных мер.

Научиться осторожному, разумному управлению планетой – одна из важнейших задач, стоящих перед человечеством, вступившим в следующий век. Глобальные изменения, обусловленные взаимозависимостью между дальнейшим развитием урбанизированных тер-

риторий и состоянием природной среды, требуют тщательного изучения. Требуется также разработка стратегии рационального развития, чтобы огромное потенциальное воздействие на природную среду оставалось в допустимых пределах, которые также необходимо определить. Поскольку природа, по словам О. Шпенглера «..образ, посредством которого человек, принадлежащий к высшей культуре, придает единство и смысл непосредственным впечатлениям своих чувств».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусихина, Е.А. Развитие урбанизированных территорий сценарное моделирование / Е.А. Мусихина, Е.В. Хохрин, О.М. Сунатори. – Издательство LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co, Германия, 2012. – 95 с.
2. Постановление коллегии Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 02 апреля 2008 г.
3. Плотинский, Ю.М. Модели социальных процессов: учебное пособие для вузов / Ю.М. Плотинский. – М.: Логос, 2001. – 296 с.
4. Пугачева, Е.Г. Самоорганизация социально-экономических систем / Е.Г. Пугачева, К.Н. Соловьевко. – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2003. – 172 с.
5. Арнольд, В.И. "Жесткие" и "мягкие" модели / В.И. Арнольд. – М.: МЦНМО, 2004. – 32 с.
6. Вольтерра, В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтерра. – М.: Наука, 1976. – 288 с.
7. Робертс, Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным и экологическим задачам / Ф.С. Робертс. – М.: Наука, 1986. – 497 с.
8. Пригожин, И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 312 с.
9. Мусихина, Е.А. Методика комплексной оценки экологической емкости территорий / Е.А. Мусихина // Вестник МГОУ. 2008. №3. Серия «Естественные науки». С.18-25.
10. Кроновер, Р.Н. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории / Р.Н. Кроновер. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
11. Мусихина, Е.А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической емкости территорий / Е.А. Мусихина. – М.: Издательство «Академия Естествознания», 2009. – 137 с.

Мусихина Елена Алексеевна

ФГБОУ ВПО Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск
Кандидат технических наук, профессор кафедры архитектурного проектирования
664074, г.Иркутск, ул. Лермонтова, 83,Иркутский государственный технический университет
89500507424
e-mail: elena.science@yandex.ru

Верхотуров Василий Владимирович

ФГБОУ ВПО Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск
доктор биологических наук, профессор кафедры органической химии и пищевой технологии
664074, г.Иркутск, ул. Лермонтова, 83,Иркутский государственный технический университет
8-(3952)-405-123
e-mail: vervv@mail.ru

Михайлова Ольга Сергеевна

ФГБОУ ВПО Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск
аспирант кафедры архитектурного проектирования
664074, г.Иркутск, ул. Лермонтова, 83,Иркутский государственный технический университет
89501004675
e-mail: mikhaylova.istu@gmail.com

E.A. MUSIKHINA, V.V. VERKHOTUROV, O.S MIKHAILOVA

SIMULATION OF EVOLUTION OF URBAN OF TERRITORIES ON THE BASIS OF SYNERGETIC APPROACH

The article examines the use of different methods of modeling development of urban areas. Particular attention is paid to the synergistic approach to the modeling of natural systems to the study of urban geosystems and organizations in the form of natural and anthropogenic stress conditions. Driven spatial-temporal model for the study and forecasting of such systems.

Keywords: modeling techniques, development of urban areas, synergistic approach, spatio-temporal model.

BIBLIOGRAPHY

1. Musihina, E.A. Razvitie urbanizirovannyh territorij scenarnoe modelirovanie / E.A. Musihi-na, E.V. Hohrin, O.M. Sunatori. – Izdatel'stvo LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co, Germanija, 2012. – 95 s.
2. Postanovlenie kollegii Federal'noj sluzhby po jekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 02 aprelja 2008 g.
3. Plotinskij, Ju.M. Modeli social'nyh processov: uchebnoe posobie dlja vuzov / Ju.M. Plotinskij. - M.: Logos, 2001. – 296 s.
4. Pugacheva, E.G. Samoorganizacija social'no-jekonomicheskikh sistem / E.G. Pugacheva, K.N. Solov'en-ko. – Irkutsk: Izd-vo BGUJeP, 2003. – 172 s.
5. Arnol'd, V.I. "Zhestkie" i "mjagkie" modeli / V.I. Arnol'd. – M.: MCNMO, 2004. – 32 s.
6. Vol'terra, V. Matematicheskaja teorija bor'by za sushhestvovanie / V. Vol'terra. – M.: Nauka, 1976. – 288 c.
7. Roberts, F.S. Diskretnye matematicheskie modeli s prilozhenijami k social'nym i jekologicheskim zadacham / F.S. Roberts. – M.: Nauka, 1986. – 497 c.
8. Prigozhin, I. Porjadok iz haosa: novyj dialog cheloveka s prirodoy / I. Prigozhin, I. Stengers. - M.: Editorial URSS, 2003. – 312 s.
9. Musihina, E.A. Metodika kompleksnoj ocenki jekologicheskoj emkosti territorij / E.A. Musihina // Vestnik MGOU. 2008. №3. Serija «Estestvennye nauki». S.18-25.
10. Kronover, R.N. Fraktaly i haos v dinamiceskikh sistemah. Osnovy teorii / R.N. Kronover. – M.: Postmarket, 2000. – 352 s.
11. Musihina, E.A. Metodologicheskij aspekt tehnologii kompleksnoj ocenki jekologicheskoj emkosti territorij / E.A. Musihina. – M.: Izdatel'stvo «Akademija Estestvoznaniya», 2009. – 137 s.

Musikhina Elena Alekseevna

FGBOU VPO Irkutsky state technical university, Irkutsk
Candidate of Technical Sciences, professor of chair of architectural design
664074, Irkutsk, Lermontov St., 83, Irkutsk state technical university
89500507424
e-mail: elena.science@yandex.ru

Verkhoturov Vasily Vladimirovich

FGBOU VPO Irkutsky state technical university, Irkutsk
Dr.Sci.Biol., professor of chair of organic chemistry and food technology
664074, Irkutsk, Lermontov St., 83, Irkutsk state technical university
8-(3952)-405-123
e-mail: vervv@mail.ru

Mikhaylova Olga Sergeevna

FGBOU VPO Irkutsky state technical university, Irkutsk
graduate student of chair of architectural design
664074, Irkutsk, Lermontov St., 83, Irkutsk state technical university
89501004675
e-mail: mikhaylova.istu@gmail.com

УДК 621.181.7.001.8:534

А.Н. КАЧАНОВ, Н.Н. ХУДОКОРМОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКИХ ФОРСУНОК РАСПЫЛИВАНИЯ ДЛЯ КОТЛОВ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

В статье приведены результаты исследования качества распыливания жидкого топлива в зависимости от типа применяемых форсунок и режимов их работы. Максимальный эффект получен при использовании акустических форсунок. Установлено, что лучшие показатели по степени однородности и дисперсности капель имеют акустические форсунки с предварительным газонасыщением. Приведены результаты экспериментальных исследований акустических форсунок на изотермическом стенде.

Ключевые слова: мазут тяжелой марки, дисперсность, акустические форсунки, акустический способ распыливания, предварительное газонасыщение жидкости, изотермический стенд.

Для сжигания жидкого топлива в топках котлов и печей в качестве основного энергетического топлива или резервного используется мазут марки М 100. В качестве основных горелочных устройств в котлах типа ДКВр и ДЕ используются горелочные устройства типа ГМГм и ГМ с паромеханическими форсунками.

Одним из основных факторов влияющим на экономичность сжигания жидкого топлива является его дисперсность и однородность распыливания [1, 2, 3, 4, 5].

С учетом сделанного замечания была поставлена задача, установить на экспериментальном изотермическом стенде [3] зависимость качества распыливания жидкого топлива от типа применяемых форсунок и метода распыливания топлива. Технические возможности стенда позволяют исследовать дисперсионные характеристики топлива с учетом акустических характеристик работы форсунок. В качестве моделирующих веществ были использованы сжатый воздух под давлением 0,8 мПа и смесь воды с глицерином.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны следующие типы форсунок:

- форсунка с механическим распылом;
- форсунка с паровым распылом;
- форсунка с подводом акустических колебаний через распылитель;
- форсунка акустическая, смесительно-кавитационная типа ПФ.
- форсунка акустическая, смесительно-кавитационная типа ПФ многосопловая с предварительным газонасыщением.

Конструкции двух последних типов форсунок обеспечивают смешение распыливающего агента и моделирующего вещества на стержне резонатора и заканчивается в резонирующей камере. Описание и устройство испытанных форсунок приведено в литературных источниках [4].

Капли распыливаемой жидкости улавливались на предварительно подготовленные стеклянные пластины, устанавливаемые в специальный щелевой затвор, расположенный на выходном канале стенда.

Основная задача экспериментальных исследований – изучение распределения капель по сечению вихревого потока, а так же измерения размера основной массы распыленной жидкости с учетом крутки воздушных потоков:

- от метода распыливания моделирующего вещества;
- предварительного газонасыщения.

Горелки типа ГМГм, ГМ с паровым распылом предназначены для подготовки и сжигания жидкого топлива в топках котлов и печей. При проведении опытов жидкая среда подавалась в форсунку по центральному каналу, а далее в закручивающее сопло, предварительно пройдя сетку-рассекатель. Распыливающий агент (пар или сжатый воздух) подавался по наружному трубопроводу. Распыливание жидкого топлива (моделирующего вещества) происходило распыливание на выходе из форсунки.

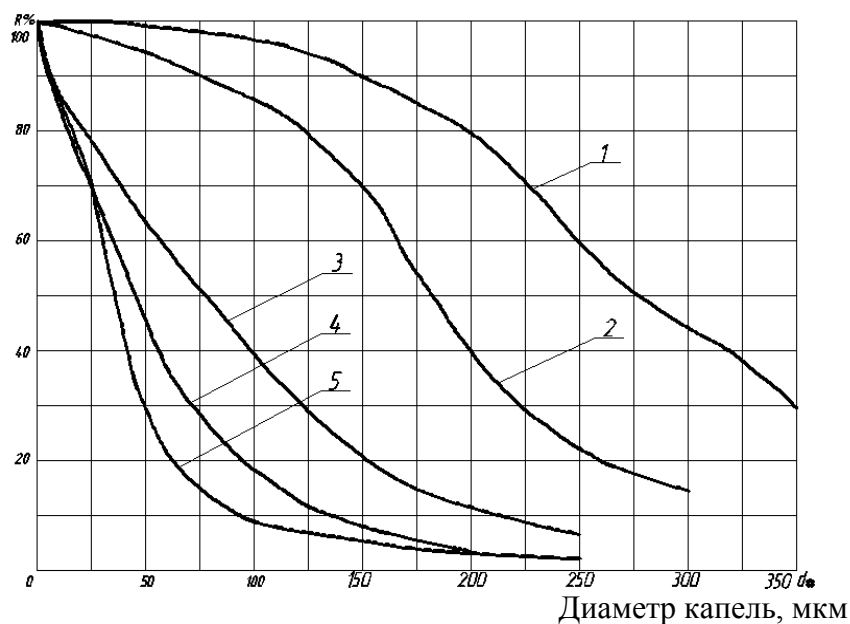


Рисунок 1 - Качество распыливания жидкости в зависимости от применяемого технологии распыливания.

Программа испытаний состояли из следующей серии опытов:

1. Выявление качества распыливания жидкости в зависимости от применяемого метода распыливания – механический, паромеханический, акустический с подводом акустических колебаний через распыливающий агент, акустический с кавитационными эффектами и подводом акустических колебаний через жидкость.

2. Выявление режимных характеристик работы акустической форсунки с кавитационными эффектами и подводом акустических колебаний через жидкость.

3. Выявление режимных характеристик работы акустической форсунки с кавитационными эффектами и подводом акустических колебаний через жидкость с предварительным газонасыщением.

Опытное подтверждение преимущества акустического способа распыливания жидкости (Рис.1) по сравнению с другими способами (механический, паромеханический, акустический с подводом акустических колебаний через распыливающий агент, акустический при подводом акустических колебаний через парожидкостную смесь) следует из рассмотрения кривых дисперсности распыливания жидкости, приведенные на рисунке.

Первая серия опытов позволила установить (Рис.1):

Кривая 1 соответствует дисперсным характеристикам работы механической форсунки при расходе топлива 250 кг/час и давлении 2 МПа.

Кривая 2 соответствует дисперсным характеристикам распыливания топлива форсунки с паровым распыливанием с расходом 300 кг/час и давлении 0,9 МПа.

Кривые 3 и 4 соответствуют дисперсным характеристикам распыливания жидкости с подводом акустических колебаний через распыливающий агент с частотами колебаний соответственно $f = 5,7$ кГц и $f = 13,7$ кГц, с соотношением газ/жидкость 0,45 и расходе топлива 250 кг/час.

Кривая 5 соответствует дисперсным характеристикам распыливания жидкости с подводом акустических колебаний через газожидкостную смесь при частоте колебаний $f = 4,0$ кГц с соотношением газ/жидкость 0,07 и расходе топлива 250 кг/час.

Анализ результатов дисперсности распыливания топлива разными способами позволил установить следующие зависимости распределения:

количество капель диаметром более 100 мкм: по кривой 1 более 95%, по кривой 2 более 85 %, по кривой 3 более 40 %, по кривой 4 более 18 % и по кривой 5 более 8 %;

количество капель диаметром более 25 мкм: по кривой 1 более 100%, по кривой 2 более 98 %, по кривой 3 более 78 %, по кривой 4 более 70 %, по кривой 5 более 68 %.

Кривая 5 ограничивает меньшую площадь по сравнению с площадями, ограниченными кривыми 2 и 1. Это экспериментально доказывает более качественное распыливание топлива с подводом акустических колебаний через газожидкостную смесь по сравнению с другими методами распыливания. При этом следует отметить, что кривая 5 максимально сдвинута в область капель малого диаметра. Аналогичные данные получены другими авторами [4]. Таким образом, акустические колебания интенсифицируют процесс распыления топлива, что было подтверждено на действующих котельных агрегатах с акустическими форсунками при оптимальных режимах их работы.

Другая важная задача исследований – выявление качества дисперсных характеристик форсунок с паровым распыливанием и акустическим распыливанием с предварительным газонасыщением.

На рисунке 2 приведены результаты исследования форсунки с паровым распыливанием.

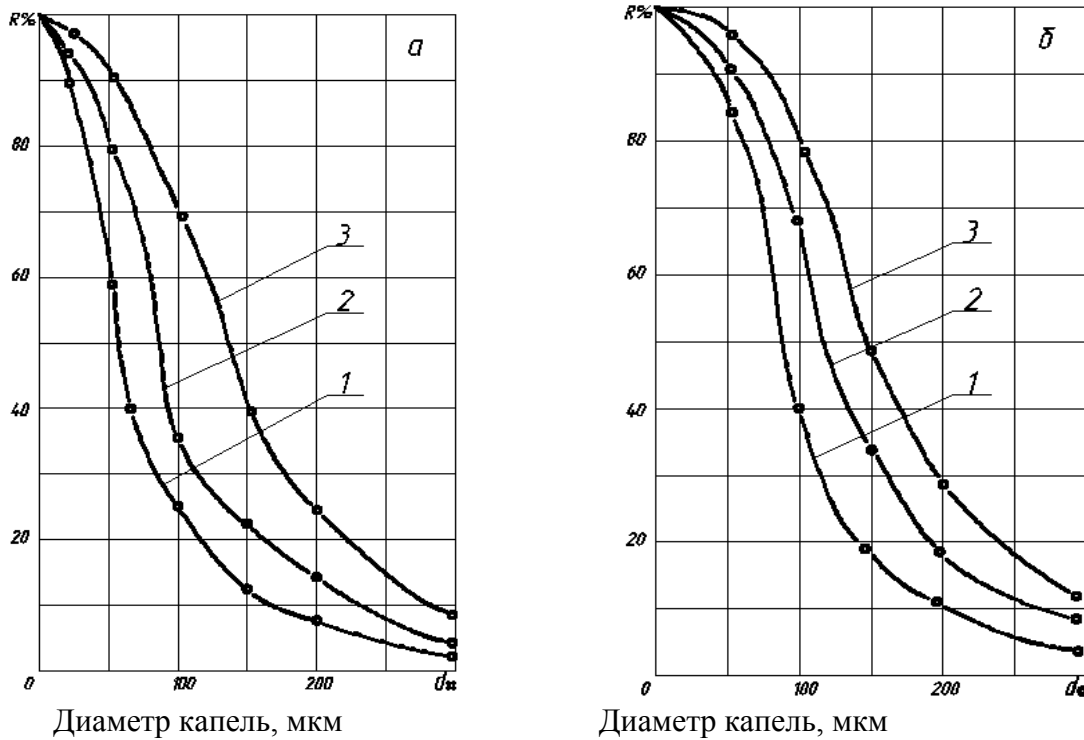


Рисунок 2 – Дисперсные характеристики распыливания топлива форсунки с паровым распылом
 а – расход распыливающего агента $G_v = 0,039$ кг/сек; б – расход распыливающего агента $G_v = 0,028$ кг/сек.
 Кривая 1 – расход жидкости – 0,02 кг/сек. Кривая 2 – расход жидкости – 0,041 кг/сек.
 Кривая 3 – расход жидкости – 0,07 кг/сек

Анализ кривых, приведенных на рисунке 2 показывает, что с увеличением соотношения жидкость – распылитель качество распыливания улучшается. Капли диаметром 50 мкм в первом случае составляет 60 % и более, на втором графике капли диаметром 50 мкм составляет 85 % и более.

Аналогичные данные получены другими исследователями [4]. Для выявления влияния на качество распыливания соотношения жидкость – распылитель, были проведена серия экспериментальных исследований.

На рисунке 3 приведены результаты экспериментальных исследований по выявлению качества распыливания акустической форсунки в зависимости от количества распыливаемого топлива. Анализ результатов дисперсности распыливания топлива показал, что при рас-

ходе жидкости 0,04 кг/сек, 0,082 кг/сек, 0,142 кг/сек. и расходе воздуха 0,039 кг/сек получены следующие зависимости:

1. Относительное содержание капель размером более 100 мкм меньше всего при расходе жидкости 0,04 кг/сек – 3 %, при расходе жидкости 0,082 кг/сек – 10 % и при расходе жидкости 0,142 кг/сек – 16 %.

2. Относительное содержание капель размером более 50 мкм меньше всего при расходе жидкости 0,04 кг/сек – 12 %, при расходе жидкости 0,082 кг/сек – 23 % и при расходе жидкости 0,142 кг/сек – 40 %.

3. С увеличением расхода жидкости при одном и том же расходе распыливающего агента происходит ухудшение качества распыливания и относительное содержание капель с большим диаметром увеличивается. При горении это будет сказываться на длине факела и на увеличение избытка воздуха.

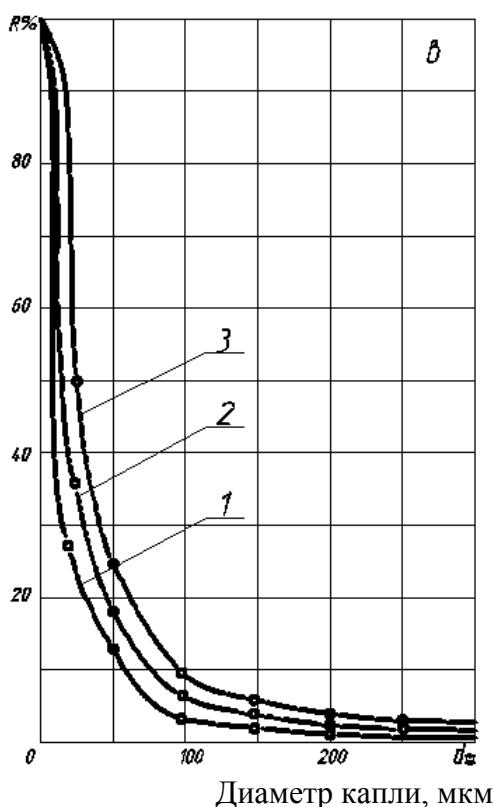


Рисунок 3– Дисперсные характеристики акустической форсунки без режима насыщения

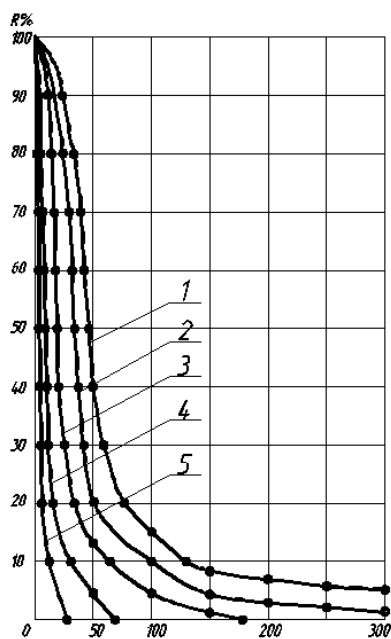
Кривая 1 – расход жидкости – 0,02 кг/сек; кривая 2 – расход жидкости – 0,041 кг/сек;

кривая 3 – расход жидкости - 0,07 кг/сек.

Важным фактором, влияющим на разрушение жидкости и дальнейший процесс ее распыливания, является наличие в топливе включений меньшей плотности. Данное явление должно быть учтено при разработке конструкций акустических форсунок.

Дальнейшее исследование по совершенствованию процесса распыливания топлива связаны с уменьшением диаметра капель. Данное решение позволит приблизить сжигание жидкого топлива по характеристикам к газообразному топливу.

Для выявления качества распыливания акустической форсунки были проведены исследования по определению качества распыливания в зависимости от степени предварительного насыщения распыливаемого топлива менее плотным веществом (рис.4).



Диаметр капли, мкм

Рисунок 4 - Дисперсные характеристики распыливания акустической форсунки с предварительным газонасыщением при давлении распыливающего агента 0,25 МПа, $G_{ж} = 0,14$ кг/с
 Кривая 1 – давление газонасыщения 0; кривая 2 – давление газонасыщения 0,01 МПа;
 кривая 3 – давление газонасыщения 0,02 МПа; кривая 4 – давление газонасыщения 0,03 МПа;
 кривая 5 – давление газонасыщения 0,04 МПа.

Опыты проводились при расходе топлива 0,14 кг/сек и давлении насыщения среды малой плотности от 0 до 0,04 МПа с шагом 0,01 МПа. Давление распыливающего агента поддерживалось на уровне 0,25 МПа, которое было определено как оптимальное.

Установлено:

Относительный диаметр капель с увеличением степени насыщения снижается. Так при давлении насыщения от 0 до 0,04 МПа четко прослеживалось снижения относительного диаметра капель, причем при давлении 0 МПа количество капель с диаметром 50 мкм более 40%, а при давлении 0,04 МПа – 0 %. При давлении газонасыщения 0,04 МПа диаметр капель 5 мкм и менее 0,04 МПа более 80 %. Кривая, соответствующая давлению газонасыщения 0,04 МПа показывает, что размер капель минимален и однороден. .

Выводы:

Проведенные исследования позволили установить:

1. Преимущества акустического метода распыливания с подводом акустических колебаний через жидкость по сравнению с другими известными методами (механический, паромеханический, акустический с подводом акустических колебаний через распылитель).
2. Целесообразно совмещать акустическое распыливание с одновременным газонасыщением.
3. Одновременное газонасыщение позволяет получить количество капель с диаметром 5 мкм и менее до 80% от общего количества распыливаемых капель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Худокормов, Н.Н. Использование бесконтактной вибрационной техники ультразвуковой частоты для интегрально-комплексного подхода в тепловой энергетике (надежность, энергоэффективность, экологичность) [Текст] / Н.Н. Худокормов, Е.В. Мищенко, Б.М. Кривоногов, Н.К. Веретимус // Сб. Ударно-вибрационные системы, машины и технологии. Материалы V Международного научного симпозиума. – Орёл.: ФГБОУ ВПО «ГОСУНИВЕРСИТЕТ-УНПК», 2013. – С. 34-38.
2. Худокормов, Н.Н. Экспериментальные исследования работы акустических форсунок для сжигания жидких производственных отходов [Текст] / Н.Н. Худокормов, Б.М.Кривоногов, Н.С. Кобелев, Н.Д.Тутов,

Е.В.Артеменко // Сб. Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия. 2-ой Международный симпозиум. – Орёл, 2003. – С. 51-55.

3. Худокормов, Н.Н. Разработка и исследование акустических форсунок для сжигания жидких производственных отходов [Текст] / Н.Н. Худокормов / Сб. Медико-экологические информационные технологии 2001. Четвертая международная научно-техническая конференция. – Курск, 2001. – С. 62-67.

4. Батуев, С.П. Снижение вредных выбросов при сжигании газа и мазута в производственно – отопительных котлах типа ДКВр [Текст] : Автореф. дис. канд. техн. наук / С.П. Батуев. – Ленинград, 1987.

5. Качанов, А.Н. К вопросу о новом способе повышения эффективности и качества сжигания топлива [Текст] / А.Н. Качанов, Н.Н. Худокормов, Б.М. Кривоногов, А.В. Тиньков // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: Сборник материалов V-ой международной научно-практической интернет-конференции / Под. ред. В.А. Голенкова, А.Н. Качанова, Ю.С. Степанова. – Орёл: ООО «Издательский дом «Орлик» и К», 2007. – С. 60-65.

Качанов Александр Николаевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», г. Орёл

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение»,

Худокормов Николай Николаевич

ЗАО «РЭС», г. Курск

Ведущий специалист ЗАО «РЭС»

A.N. KACHANOV, N.N. HUDOKORMOV

**RESEARCH OF DISPERSIVE CHARACTERISTICS OF ACOUSTIC
ATOMIZING NOZZLES FOR COPPERS OF LOW AND AVERAGE POWER**

The article presents the results of a study of liquid fuel atomization quality depending on the type of nozzles and their modes of operation. Maximum effect obtained by using acoustic nozzles. Found that the best indicators of the degree of homogeneity and dispersion of droplets have sonic nozzles with pre-gassing. The experimental results on the isothermal acoustic nozzles stand.

Keywords: heavy fuel oil brand, dispersion, sonic nozzles, acoustic a method of atomization, preliminary gassing liquid isothermal stand.

BIBLIOGRAPHY

1. Hudokormov, N.N. Ispol'zovanie beskontaktnoj vibracionnoj tehniki ul'trazvukovoj chastoty dlja integral'no-kompleksnogo podhoda v teplovoj jenergetike (nadezhnost', jenergojeffektivnost', jekologichnost') [Tekst] / N.N. Hudokormov, E.V. Mishhenko, B.M. Krivonogov, N.K. Veretimus // Sb. Udarno-vibracionnyye sistemy, mashiny i tehnologii. Materialy V Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma. – Orjol.: FGBOU VPO «GOSUNIVERSITET-UNPK», 2013.

2. Hudokormov, N.N. Jeksperimental'nye issledovaniya raboty akusticheskikh forsunok dlja szhiganija zhidkikh proizvodstvennyh othodov [Tekst] / N.N. Hudokormov, B.M. Krivonogov, N.S. Kobelev, N.D. Tutov, E.V. Artemenko // Sb. Mehanizmy i mashiny udarnogo, periodicheskogo i vibracionnogo dejstvija. 2-oj Mezhdunarodnyj simpozium. – Orjol, 2003.

3. Hudokormov, N.N. Razrabotka i issledovanie akusticheskikh forsunok dlja szhiganija zhidkikh proizvodstvennyh othodov [Tekst] / N.N. Hudokormov / Sb. Mediko-jekologicheskie informacionnyye tehnologii 2001. Chevertaja mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija. – Kursk, 2001.

4. Batuev, S.P. Snizhenie vrednyh vybrosov pri szhigani gaza i mazuta v proizvodstvenno – otopitel'nyh kotlah tipa DKVr [Tekst] : Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / S.P. Batuev. – Leningrad, 1987.

5. Качанов, А.Н. К вопросу о новом способе повышенija jeffektivnosti i kachestva szhiganija topliva [Tekst] / A.N. Kachanov, N.N. Hudokormov, B.M. Krivonogov, A.V. Tin'kov // Jenergo- i resursosberezenie – XXI vek.: Sbornik materialov V-oj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii / Pod. red. V.A. Golenkova, A.N. Kachanova, Ju.S. Stepanova. – Orjol: ООО «Izdatel'skij dom «Orlik» i K», 2007. – S. 60-65.

Kachanov Aleksandr Nikolaevich

«State university – education science production complex for scientific work» (Oryol)

Doctor of Engineering, professor, head of the department "Electric equipment and energy saving"

Hudokormov Nikolaj Nikolaevich

CJSC "RES" (Kursk)

Leading specialist of CJSC "RES"

Н.М. КАЛАНТАРЛЫ

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНЫХ СИЛ НА ЗАРОЖДЕНИЕ ТРЕЩИНЫ В КРУГОВОМ ДИСКЕ

Дается решение задачи механики разрушения о зарождении трещины в круговом диске под действием объемных сил. Используется модель зоны предразрушения в состоянии пластического течения при постоянном напряжении.

Ключевые слова: круговой диск, объемные силы, зарождение трещины, зона предразрушения.

Моделирование условий зарождения трещин, поиск решений задач механики разрушения о трещинообразовании и эффективных схем расчета трещинообразования в различных материалах, телах и деталях при различных видах нагружения и эксплуатации является весьма актуальной задачей, имеющей как фундаментальное, так и прикладное значение, и привлекающей внимание многих исследователей [1-5].

Рассмотрим металлический круговой диск в процессе работы. Считается, что на частицы среды действуют объемные силы $F = X + iY$, где $X(x, y)$ и $Y(x, y)$ заданные функции; $i = \sqrt{-1}$. В процессе деформации в некоторых точках диска могут появляться зоны, в которых закон Гука не выполняется, т.е. в этих областях напряжения превосходят предел упругости. Поскольку указанные зоны (прослойки перенапряженного материала) малы по сравнению с остальной упругой частью диска, их можно мысленно удалить, заменив разрезами, поверхности которых взаимодействуют между собой по некоторому закону, соответствующему действию удаленного материала. По мере нагружения металлического кругового диска в нем будут возникать зоны предразрушения (области ослабленных межчастичных связей материала), где материал диска деформируется за пределом упругости. В исследуемом случае возникновение зародышевой трещины представляет собой процесс перехода зоны предразрушения в область разорванных связей между поверхностями диска. При этом размер зоны ослабленных межчастичных связей материала заранее неизвестен и должен быть определен в процессе решения задачи механики разрушения. Зона предразрушения ориентирована в направлении максимальных растягивающих напряжений в диске. В центре зоны предразрушения разместим начало локальной системы координат $x_1O_1y_1$, ось x_1 которой совпадает с линией скольжения и образует угол α_1 с осью x ($\theta = 0$) (рисунок 1). Полагаем, что в зоне предразрушения имеет место пластическое течение при постоянном напряжении.

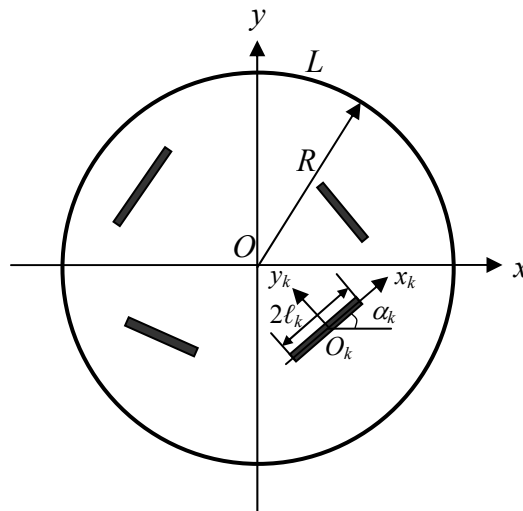


Рисунок 1 - Расчетная схема задачи о зарождении трещины в круговом диске

Отнесем диск к полярной системе координат $r\theta$, выбрав начало координат в центре окружности L с радиусом R (рис. 1).

Граничные условия рассматриваемой задачи механики разрушения о зарождении трещины в круговом диске имеют вид:

$$\sigma_r = 0; \quad \tau_{r\theta} = 0 \quad \text{при } r = R \quad (1)$$

на берегах зоны предразрушения

$$\sigma_{y_1} = \sigma_s; \quad \tau_{x_1y_1} = \tau_s, \quad |x_1| \leq \ell_1, \quad (2)$$

где σ_s – предел текучести материала диска на растяжение; τ_s – предел текучести материала диска на сдвиг; $\sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{r\theta}$ – компоненты тензора напряжений в полярных координатах; ℓ_1 – полудлина зоны предразрушения.

Для определения значений внешней нагрузки, при которой происходит появление трещины, нужно постановку рассматриваемой задачи дополнить условием появления трещины. В качестве такого условия принимаем критерий критического раскрытия берегов зоны предразрушения [1]

$$|(v^+ - v^-) - i(u^+ - u^-)| = \delta_c, \quad (3)$$

где $(v^+ - v^-)$ – нормальная составляющая раскрытия берегов зоны предразрушения; $(u^+ - u^-)$ – касательная составляющая раскрытия берегов зоны предразрушения; δ_c – характеристика сопротивления материала диска трещинообразованию, определяемая опытным путем [6].

При наличии объемных сил решение задачи представим в виде суммы

$$\sigma_x = \sigma_x^0 + \sigma_x^1; \quad \sigma_y = \sigma_y^0 + \sigma_y^1; \quad \tau_{xy} = \tau_{xy}^0 + \tau_{xy}^1 \quad (4)$$

где $\sigma_x^0, \sigma_y^0, \tau_{xy}^0$ – любое частное решение уравнений плоской теории упругости при наличии объемных сил; $\sigma_x^1, \sigma_y^1, \tau_{xy}^1$ – решение уравнений плоской теории упругости при отсутствии объемных сил. Для напряжений $\sigma_x^0, \sigma_y^0, \tau_{xy}^0$ имеем формулы [7]

$$\begin{aligned} \sigma_x^0 + \sigma_y^0 &= -\frac{2}{1+\kappa} \operatorname{Re} \frac{\partial Q}{\partial z} \\ \sigma_y^0 - \sigma_x^0 + 2i\tau_{xy}^0 &= \frac{1}{1+\kappa} \frac{\partial}{\partial z} (\kappa \bar{Q} - \bar{F}_1) \end{aligned} \quad (5)$$

в которые входят две функции $Q(z, \bar{z})$ и $F_1(z, \bar{z})$, представляющие собой любые частные решения уравнений

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial z \partial \bar{z}} = F(z, \bar{z}), \quad \frac{\partial^2 F_1}{\partial z^2} = \overline{F(z, \bar{z})} \quad (6)$$

Здесь κ – постоянная Мусхелишвили для плоского напряженного состояния.

Используя формулы Колосова-Мусхелишвили [8]

$$\begin{aligned} \sigma_x^1 + \sigma_y^1 &= 4 \operatorname{Re} \Phi(z) \\ \sigma_y^1 - \sigma_x^1 + 2i\tau_{xy}^1 &= 2[\bar{z} \Phi'(z) + \Psi(z)] \end{aligned}$$

граничные условия (1) – (2) с учетом (4) запишем в виде краевой задачи для отыскания комплексных потенциалов $\Phi(z)$ и $\Psi(z)$ в виде

$$\begin{aligned} \Phi(\tau) + \overline{\Phi(\tau)} - e^{2i\theta} [\bar{\tau} \Phi'(\tau) + \Psi(\tau)] &= -(\sigma_r^0 - i\tau_{r\theta}^0) \\ \Phi(t_1) + \overline{\Phi(t_1)} + \bar{t}_1 \Phi'(t_1) + \Psi(t_1) &= \sigma_s + i\tau_s - (\sigma_{y_1}^0 + i\tau_{x_1y_1}^0) \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь $\tau = R \exp(i\theta)$; t_1 – аффикс точек берегов зоны предразрушения.

Комплексные потенциалы, дающие решение краевой задачи (7) ищем в виде

$$\Phi(z) = \Phi_0(z) + \Phi_1(z); \quad \Psi(z) = \Psi_0(z) + \Psi_1(z), \quad (8)$$

где потенциалы $\Phi_1(z)$ и $\Psi_1(z)$ ищем в виде

$$\Phi_1(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \frac{g_1(t) dt}{t - z_1}; \quad (9)$$

$$\Psi_1(z) = \frac{e^{-2i\alpha_1}}{2\pi} \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \left[\frac{\overline{g_1(t)}}{t - z_1} - \frac{\overline{T_1} e^{i\alpha_1}}{(t - z_1)^2} g_1(t) \right] dt,$$

где $T_1 = te^{i\alpha_1} + z_1^0$; $z_1 = e^{-i\alpha_1}(z - z_1^0)$; $g_1(t)$ – искомая функция, характеризующая раскрытие берегов зоны предразрушения.

Неизвестная функция $g_1(t)$ и комплексные потенциалы $\Phi_0(z)$ и $\Psi_0(z)$ должны быть определены из краевых условий на контуре L ($r = R$) и берегах зоны предразрушения. Используя (8) – (9), для отыскания комплексных потенциалов $\Phi_0(z)$ и $\Psi_0(z)$ краевое условие (7) на границе диска представим в виде

$$\Phi_0(\tau) + \overline{\Phi_0(\tau)} - e^{-2i\theta} [\tau \overline{\Phi_0'(\tau)} + \overline{\Psi_0(\tau)}] = -(\sigma_r^0 + i\tau_{r\theta}^0) - (f_1(\theta) + if_2(\theta)), \quad (10)$$

где $f_1(\theta) + if_2(\theta) = \Phi_1(\tau) + \overline{\Phi_1(\tau)} - e^{-2i\theta} [\tau \overline{\Phi_1'(\tau)} + \overline{\Psi_1(\tau)}]$

Для решения краевой задачи (10) использовали метод Н.И. Мухелишвили [8]:

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_L N_*(\tau) \left(\frac{1}{\tau - z} - \frac{1}{2\tau} \right) d\tau; \quad (11)$$

$$\Psi_0(z) = \frac{1}{z^2} \Phi_0(z) + \frac{1}{z^2} \overline{\Phi_0} \left(\frac{1}{z} \right) - \frac{1}{z} \Phi_0'(z);$$

$$N_*(\tau) = -(\sigma_r^0 + i\tau_{r\theta}^0) - (f_1(\theta) + if_2(\theta))$$

После интегрирования и некоторых преобразований получаем

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \left\{ \left(\frac{1}{z\overline{T_1} - 1} + \frac{1}{2} \right) \overline{T_1} e^{i\alpha_1} g_1(t) + \left[\frac{T_1}{2} - \frac{z^2 \overline{T_1} - 2z + T_1}{(z\overline{T_1} - 1)^2} \right] e^{-i\alpha_1} \overline{g_1(t)} \right\} dt + \Phi_{00}(z),$$

$$\Psi_0(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\ell_1}^{\ell_1} \left[\frac{e^{i\alpha_1} \overline{T_1}^3}{(z\overline{T_1} - 1)^2} g_1(t) + (z^2 \overline{T_1}^2 + 4 - 3z\overline{T_1} + zT_1 \overline{T_1}^2 - 3T_1 \overline{T_1}) \frac{\overline{T_1} e^{-i\alpha_1}}{(z\overline{T_1} - 1)^3} \overline{g_1(t)} \right] dt + \frac{1}{z^2} \Phi_{00}(z) + \frac{1}{z^2} \overline{\Phi_{00}} \left(\frac{1}{z} \right) - \frac{1}{z} \Phi_{00}'(z);$$

$$\Phi_{00}(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_L [-(\sigma_r^0 + i\tau_{r\theta}^0)] \left(\frac{1}{\tau - z} - \frac{1}{2\tau} \right) d\tau.$$

Удовлетворяя функциями (8) – (9) граничным условиям (7) на берегах зоны предразрушения, после некоторых преобразований, получим комплексное сингулярное интегральное уравнение относительно неизвестной функции $g_1(x_1)$:

$$\int_{-\ell_1}^{\ell_1} [R(t, x_1) g_1(t) + S(t, x_1) \overline{g_1(t)}] dt = \pi [\sigma_s - i\tau_s - (\sigma_{y_1}^0 - i\tau_{x_1 y_1}^0) + f_0(x_1)] \quad (12)$$

Здесь $f_0(x_1) = -[\Phi_{00}(x_1) + \overline{\Phi_{00}(x_1)} + x_1 \overline{\Phi_{00}'(x_1)} + \overline{\Psi_{00}(x_1)}],$

$$\Psi_{00}(z) = \frac{1}{z^2} \Phi_{00}(z) + \frac{1}{z^2} \overline{\Phi_{00}} \left(\frac{1}{z} \right) - \frac{1}{z} \Phi_{00}'(z);$$

$$R(t, x_1) = \frac{e^{i\alpha_1}}{2} \left(\frac{1}{T_1 - X_1} + \frac{e^{-2i\alpha_1}}{\overline{T_1} - \overline{X_1}} \right) - \frac{e^{i\alpha_1}}{2} \left[\frac{X_1 \overline{T_1}^2}{1 - X_1 \overline{T_1}} + \right.$$

$$+ \frac{\bar{X}_1^2 T_1 - 2\bar{X}_1 + \bar{T}_1}{(1 - T_1 \bar{X}_1)^2} + e^{-2i\alpha_1} \frac{2X_1(T_1 \bar{T}_1 - 1) + \bar{T}_1^2(\bar{X}_1 + \bar{T}_1)(\bar{X}_1 T_1 - 3) + 4T_1}{(1 - T_1 \bar{X}_1)^3} \Big];$$

$$S(t, x_1) = \frac{e^{-i\alpha_1}}{2} \left[\frac{1}{T_1 - X_1} - \frac{T_1 - X_1}{(T_1 - X_1)^2} e^{-2i\alpha_1} \right] -$$

$$- \frac{e^{-i\alpha_1}}{2} \left[\frac{T_1^2 X_1}{1 - T_1 \bar{X}_1} + \frac{X_1^2 \bar{T}_1 - 2X_1 + T_1}{(1 - X_1 \bar{T}_1)^2} + \frac{T_1^2 (X_1 - T_1) e^{-2i\alpha_1}}{(1 - T_1 \bar{X}_1)^2} \right];$$

$$X_1 = x_1 e^{i\alpha_1} + z_1^0.$$

Для внутренней зоны предразрушения к сингулярному интегральному уравнению необходимо добавить дополнительное равенство

$$\int_{-\ell_1}^{\ell_1} g_1(t) dt = 0, \tag{13}$$

обеспечивающее однозначность перемещений при обходе контура зоны предразрушения.

Если представить неизвестную функцию $g_1(x_1)$, а также нагрузочную функцию $f_0(x_1)$ в виде

$$g_1(x_1) = v_1(x_1) - iu_1(x_1); \quad f_0(x_1) = \sigma_0(x_1) - i\tau_0(x_1),$$

то из одного комплексного интегрального уравнения после отделения действительных и мнимых частей получим для определения $v_1(x_1)$ и $u_1(x_1)$ два действительных интегральных уравнений. Аналогичные действия можно проделать с дополнительным условием (13), в результате находим

$$\int_{-\ell_1}^{\ell_1} v_1(t) dt = 0; \quad \int_{-\ell_1}^{\ell_1} u_1(t) dt = 0 \tag{14}$$

Так как напряжения в диске всюду ограничены, то решение каждого интегрального уравнения ищется в классе всюду ограниченных функций (напряжений). Используя замену переменных и квадратурные формулы [9, 10], вместо каждого сингулярного интегрального уравнения при дополнительных условиях (14) получаем конечную алгебраическую систему, состоящую из M уравнений, относительно приближенных значений искомых функций $v_1(t_m)$ и $u_1(t_m)$ ($m = 1, 2, \dots, M$) в узловых точках, соответственно.

Полученные алгебраические системы уравнений не являются пока замкнутыми. Для замкнутости полученных алгебраических уравнений не хватает двух уравнений, выражающих условия разрешимости интегрального уравнения. Записывая эти условия

$$\sum_{m=1}^M (-1)^{M+m} v_1(t_m) \operatorname{tg} \frac{2m-1}{4M} \pi = 0; \quad \sum_{m=1}^M (-1)^m v_1(t_m) \operatorname{ctg} \frac{2m-1}{4M} \pi = 0; \tag{15}$$

$$\sum_{m=1}^M (-1)^{M+m} u_1(t_m) \operatorname{tg} \frac{2m-1}{4M} \pi = 0; \quad \sum_{m=1}^M (-1)^m u_1(t_m) \operatorname{ctg} \frac{2m-1}{4M} \pi = 0,$$

получим две замкнутые конечные алгебраические системы. Из-за неизвестного размера зоны предразрушения системы алгебраических уравнений оказались нелинейными. При заданной внешней нагрузке полученные системы позволяют найти напряженно-деформированное состояние кругового диска при наличии повреждения в виде зоны ослабленных межчастичных связей материала.

Для решения нелинейных алгебраических систем использовали метод последовательных приближений. Используя решение задачи о зоне пластического течения в диске, вычислим смещения на берегах зоны предразрушения

$$-\frac{1+\kappa}{2\mu} \int_{-\ell_1}^{x_1} g_1(x_1) dx_1 = v_1(x_1, 0) - iu_1(x_1, 0),$$

где принято $v_1(x_1, 0) = v^+(x_1, 0) - v^-(x_1, 0)$; $u_1(x_1, 0) = u^+(x_1, 0) - u^-(x_1, 0)$; μ – модуль сдвига материала диска.

Смещения на берегах зоны предразрушения при $x_1 = x_0$ будут

$$-\frac{1+\kappa}{2\mu} \int_{-\ell_1}^{x_0} g_1(x_1) dx_1 = v_1(x_0, 0) - iu_1(x_0, 0)$$

Используя замену переменной интегрирования и заменяя интеграл с помощью квадратурной формулы Гаусса суммой, найдем

$$-\frac{1+\kappa}{2\mu} \frac{\pi \ell_1}{M} \sum_{m=1}^{M_1} g_1(t_m) = v_1(x_0, 0) - iu_1(x_0, 0),$$

где M_1 – число узловых точек в отрезке $(-\ell_1, x_0)$.

Из последнего соотношения находим

$$v_1(x_0, 0) = -\frac{1+\kappa}{2\mu} \cdot \frac{\pi \ell_1}{M} \sum_{m=1}^{M_1} v_1(t_m); \quad u_1(x_0, 0) = -\frac{1+\kappa}{2\mu} \cdot \frac{\pi \ell_1}{M} \sum_{m=1}^{M_1} u_1(t_m)$$

Тогда, для модуля вектора перемещений на берегах зоны предразрушения при $x_1 = x_0$ получим

$$V_0 = \sqrt{(v^+ - v^-)^2 + (u^+ - u^-)^2} = \frac{1+\kappa}{2\mu} \frac{\pi \ell_1}{M} \sqrt{A^2 + B^2},$$

где $A = \sum_{m=1}^{M_1} v_1(t_m)$; $B = \sum_{m=1}^{M_1} u_1(t_m)$.

Следовательно, условием, определяющим критическое значение объемных сил, при котором происходит появление трещины, будет

$$\frac{1+\kappa}{2\mu} \frac{\pi \ell_1}{M} \sqrt{A^2 + B^2} = \delta_c. \tag{16}$$

Совместное решение нелинейной системы уравнений, состоящей из алгебраических систем, заменяющих интегральные уравнения с условиями разрешимости задачи и критерия (16) позволяет определить размер зоны предразрушения, значения искомых функций $v_1(x_1)$ и $u_1(x_1)$ в узловых точках, величину внешней нагрузки, при которой происходит появление трещины в диске.

Для упрощения вычислений функции $X(x, y)$ и $Y(x, y)$ разлагались в ряды Тейлора, причем ограничивались несколькими первыми членами разложения. С помощью интегрирования уравнений (6) находим

$$Q(z, \bar{z}) = \int^z \int^{\bar{z}} F(z, \bar{z}) d\bar{z}; \quad F_1(z, \bar{z}) = \int^z \int^{\bar{z}} F(z, \bar{z}) dz$$

По найденным функциям $Q(z, \bar{z})$ и $F_1(z, \bar{z})$ согласно (5) находим $\sigma_r^0, \tau_{r\theta}^0, \sigma_{y_1}^0, \tau_{x_1 y_1}^0$.

Предложена эффективная схема расчета трещинообразования в круговом диске внешними объемными силами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирсалимов, В.М. Зарождение дефекта типа трещины во втулке контактной пары / В.М. Мирсалимов // Математическое моделирование. - Т. 17. - №2. - 2005. - С. 35 – 45.
2. Гасанов, Ф.Ф. Периодическая задача о зарождении трещины в волокне линейно армированных композитов при продольном сдвиге / Ф.Ф. Гасанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. - № 1. – С. 18-23.
3. Барсуков, Г.В. Моделирование условий зарождения трещины в хрупкой пластине при сверхзвуковом взаимодействии с абразивной частицей / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Известия Орловского государственного технического университета. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2007. - № 3. - С. 86 - 91.
4. Зульфугаров, Э.И. Моделирование зарождения искривленной трещины в тормозном барабане автомобиля/ Э.И. Зульфугаров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – С. 24-30.

5. Гасанов, Ш.Г. Пластические деформации у края трещины, выходящей на границу раздела сред /Ш.Г. Гасанов // Известия Орловского государственного технического университета. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» - № 1/269 (544). – 2008. – С. 29 – 32.
6. Образец для исследования закономерностей зарождения трещин / В.В. Панасюк, М.П. Саврук, А.И. Зборомирский и др. // ФХММ. – 1984. - Т. 20. - №4. -С. 66 – 77.
7. Мирсалимов, В.М. Частичное закрытие трещиновидной полости в изотропной среде / В.М. Мирсалимов // Деформация и разрушение материалов, 2013, №1, С. 16 – 20.
8. Мухелишвили, Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н.И. Мухелишвили. – М.: Наука, 1966. – 707 с.
9. Каландия, А.И. Математические методы двумерной упругости / А.И. Каландия – М.: Наука, 1973. – 304 с.
10. Мирсалимов, В.М. Неоднородные упругопластические задачи / В.М. Мирсалимов – М.: Наука, 1987. – 256 с.

Калантарлы Наиль Мерадж кызы

Институт математики и механики НАН Азербайджана
Кандидат физико-математических наук, доцент, докторант
E-mail: irakon63@hotmail.com

N.M. KALANTARLY

**INFLUENCE OF VOLUME FORCES ON CRACK NUCLEATION
IN CIRCULAR DISK**

The solution of a problem of mechanics of fracture about nucleation of a crack in a circular disk under action of volume forces is given. The model of a zone of prefracture in a condition of plastic current is used at a constant stress.

Keywords: a circular disk, volume forces, nucleation of a crack, a zone of prefracture.

BIBLIOGRAPHY

1. Mirsalimov, V.M. Zarozhdenie defekta tipa treshhiny vo vtulke kontaktnoj pary / V.M. Mirsalimov // Matematicheskoe modelirovanie. - Т. 17. - №2. - 2005. – S. 35 – 45.
2. Gasanov, F.F. Periodicheskaja zadacha o zarozhdenii treshhiny v volokne linejno armirovannyh kompozitov pri prodol'nom sdvige / F.F. Gasanov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2014. - № 1. – S. 18-23.
3. Barsukov, G.V. Modelirovanie uslovij zarozhdenija treshhiny v hrupkoj plastine pri sverhzvuko-vom vzaimodejstvii s abrazivnoj chasticej / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov, A.V. Miheev // Izvestija Orlovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - 2007. - № 3. - S. 86 – 91.
4. Zul'fugarov, Je.I. Modelirovanie zarozhdenija iskrivlennoj treshhiny v tormoznom barabane avto-mobilja/ Je.I. Zul'fugarov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2014. – S. 24-30.
5. Gasanov, Sh.G. Plasticheskie deformacii u kraja treshhiny, vyhodjashhej na granicu razdela sred /Sh.G. Gasanov // Izvestija Orlovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija «Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii» - № 1/269 (544). – 2008. – S. 29 – 32.
6. Образец длia issledovanija zakonornostej zarozhdenija treshhin / V.V. Panasjuk, M.P. Savruk, A.I. Zboromirskij i dr. // FHMM. – 1984. - Т. 20. - №4. -S. 66 – 77.
7. Mirsalimov, V.M. Chastichnoe zakrytie treshhinovidnoj polosti v izotropnoj srede / V.M. Mirsalimov // Deformacija i razrushenie materialov, 2013, №1, S. 16 – 20.
8. Mushelishvili, N.I. Nekotorye osnovnye zadachi matematičeskoj teorii uprugosti / N.I. Mushe-lishvili. – М.: Nauka, 1966. – 707 s.
9. Kalandija, A.I. Matematicheskie metody dvumernoj uprugosti / A.I. Kalandija – М.: Nauka, 1973. – 304 s.
10. Mirsalimov, V.M. Neodnomernye uprugoplastičeskie zadachi / V.M. Mirsalimov – М.: Nauka, 1987. – 256 s.

Kalantarly, Nailya Merach kizi

Doctorant, Institute of Mathematics and Mechanics of NAN of Azerbaijan, Baku
Cand. Fiz.-Math. Sci., Assoc. Professor
e-mail: irakon63@hotmail.com

КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ СТРИНГЕРНОЙ ПЛАСТИНЫ, ОСЛАБЛЕННОЙ ЩЕЛЬЮ ПЕРЕМЕННОЙ ШИРИНЫ

Исследовано влияние подкрепляющих ребер жесткости на напряженно-деформированное состояние пластины с щелью переменной ширины сравнимой с упругими деформациями. Рассмотрен случай частичного контакта берегов щели. Определение неизвестных контактных напряжений сводится к решению сингулярного интегрального уравнения. Сингулярное интегральное уравнение с помощью процедуры алгебраизации сведено к системе нелинейных алгебраических уравнений, которая решается методом последовательных приближений.

Ключевые слова: стрингерная пластина, щель переменной ширины, контактные напряжения, зоны контакта.

Как известно, для достижения необходимой жесткости и прочности тонкие пластины зачастую подкрепляют приклепанными ребрами жесткости. Такие приклепанные ребра жесткости способны препятствовать росту трещины. Уменьшая деформацию растягиваемой пластины в направлении, нормальном трещине (щели) подкрепляющие элементы, снижают коэффициент интенсивности напряжений в окрестности вершины трещины (щели). При некотором соотношении физических и геометрических параметров стрингерной пластины, в пластине возможно появление зоны сжимающих напряжений, в которой берега щели на некотором участке войдут в контакт. Это взаимодействие берегов щели приведет на данном участке берегов щели к появлению контактных напряжений. Решение такой задачи для трещины впервые было получено в работах [1, 2]. В последнее время был опубликован ряд работ, посвященных исследованию тел с контактирующими трещинами [3-8]. Для подкрепленной пластины с щелью переменной ширины подобные задачи до сих пор не были рассмотрены. В работах [9-10] исследуются условия появления трещин при взаимодействии сверхзвуковой гидроабразивной струи с преградой.

В настоящей работе решение контактной задачи для подкрепленной пластины с щелью переменной ширины дается с помощью построения явной формы комплексных потенциалов, соответствующих неизвестным нормальным смещениям вдоль щели.

Постановка задачи. Рассматривается упругая изотропная тонкая пластина с одной прямолинейной щелью переменной ширины $h(x)$ сравнимой с упругими деформациями (рисунок 1). К пластине симметрично относительно ее поверхности приклепаны поперечные ребра жесткости в точках $z = \pm(2m + 1)L \pm iky_0$ ($m=0,1,2,\dots; k=1,2,\dots$). Действие приклепанных подкрепляющих ребер в расчетной схеме заменено сосредоточенными силами, приложенными в местах расположения заклепок (точках соединения). Относительно стрингеров принимается гипотеза об одномерном континууме, т.е. принимается, что при деформации толщина стрингера считается неизменяемой, а напряженное состояние считается одноосным. Стрингеры изгибу не сопротивляются и работают лишь на растяжение. Принимаются следующие допущения: а) в тонкостенном листовом элементе конструкции (пластине) реализуется плоское напряженное состояние; б) подкрепляющая система стрингеров ферменного типа, их ослабление за счет постановки точек крепления не учитывается; в) листовая элемент и подкрепляющие элементы взаимодействуют друг с другом в одной плоскости и только в точках крепления; г) все точки крепления одинаковы, их радиус (площадка сцепления) мал по сравнению с их шагом и другими характерными размерами; д) действие точки крепления моделируется: в стрингере – действием в сплошном ребре сосредоточенной силы, приложенной в точке, соответствующей центру точки крепления; в пластине – действием сосредоточенной силы.

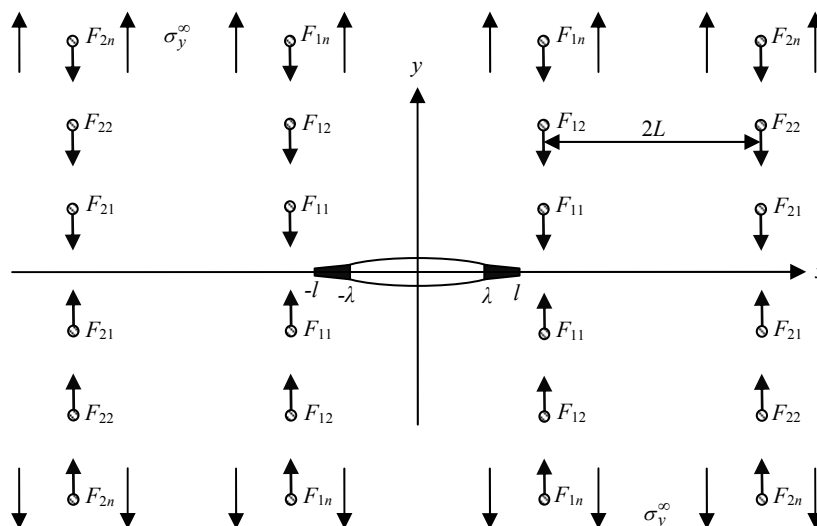


Рисунок 1 – Расчетная схема контактной задачи для подкрепленной пластины с щелью переменной ширины

На бесконечности действует однородное растягивающее напряжение $\sigma_y^\infty = \sigma_0$. Под действием внешней нагрузки σ_0 и сосредоточенных сил P_{mn} в зоне сжимающих напряжений берега щели на некотором участке войдут в контакт, что будет способствовать появлению контактных напряжений на данном участке. Считается, что эти области примыкают к вершинам щели, а их размер заранее неизвестен и может быть сравним с длиной щели. В концевых зонах, где берега щели вошли в контакт, будут возникать нормальные $\sigma_y = q(x)$ напряжения. Величины сосредоточенных сил P_{mn} и контактных напряжений также заранее неизвестны и подлежат определению в процессе решения краевой задачи механики разрушения.

Вне участка контакта берега щели свободны от нагрузки. Граничные условия в рассматриваемой задаче имеют вид:

на неконтактирующих участках берегов щели

$$\sigma_y^+(x,0) = \sigma_y^-(x,0) = 0, \quad \tau_{xy}^+(x,0) = \tau_{xy}^-(x,0) = 0 \quad (1)$$

на участках контакта

$$\sigma_y^+(x,0) = \sigma_y^-(x,0) = q(x), \quad \frac{d}{dt} [v^+(x,0) - v^-(x,0)] = -h'(x) \quad (2)$$

Здесь величины $\sigma_y^+(x)$, $\tau_{xy}^+(x)$, $v^+(x)$ относятся к верхнему берегу щели, а $\sigma_y^-(x)$, $\tau_{xy}^-(x)$, $v^-(x)$ к нижнему берегу щели. Из-за симметричности рассматриваемой задачи $\sigma_y^+ = \sigma_y^-$; $\tau_{xy}^+ = \tau_{xy}^-$; $v^+ = -v^-$; $h(x) = h(-x)$.

На основании формул Колосова-Мусхелишвили [11] и граничных условий (1)-(2) на берегах щели задача сводится к определению двух аналитических функций $\Phi(z)$ и $\Psi(z)$ из краевого условия

$$\Phi(x) + \overline{\Phi(x)} + \bar{x}\Phi'(x) + \Psi(x) = \begin{cases} 0 & |x| \leq \lambda \\ q(x) & -l \leq x \leq -\lambda \text{ и } \lambda \leq x \leq l \end{cases} \quad (3)$$

где x – аффикс точек берегов щели.

Метод и анализ решения. Решение краевой задачи (3) ищем в виде

$$\Phi(z) = \Phi_0(z) + \Phi_1(z), \quad \Psi(z) = \Psi_0(z) + \Psi_1(z) \quad (4)$$

где потенциалы $\Phi_0(z)$ и $\Psi_0(z)$ определяют поле напряжений и деформаций в сплошной

бездефектной подкрепленной пластине

$$\begin{aligned} \Phi_0(z) &= -\frac{i}{2\pi(1+\kappa)h_1} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{mn} \left[\frac{1}{z+iy_0n-m_*L} - \frac{1}{z-iy_0n-m_*L} \right], \\ \Psi_0(z) &= -\frac{i\kappa}{2\pi(1+\kappa)h_1} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{mn} \left[\frac{1}{z+iy_0n-m_*L} - \frac{1}{z-iy_0n-m_*L} \right] + \\ &+ \frac{i}{2\pi(1+\kappa)h_1} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{mn} \left[\frac{m_*L-iy_0n}{(z-iy_0n-m_*L)^2} - \frac{m_*L+iy_0n}{(z+iy_0n-m_*L)^2} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Штрих у знака суммы указывает на то, что при суммировании исключается индекс $n=m=0$, h_1 – толщина пластины; κ – упругая постоянная Мусхелишвили; $m_*=2m+1$.

Комплексные потенциалы $\Phi_1(z)$ и $\Psi_1(z)$ ищем в следующем виде

$$\begin{aligned} \Phi_1(z) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-l}^l \frac{g(t)}{t-z} dt, \\ \Psi_1(z) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-l}^l \left[\frac{g(t)}{t-z} - \frac{tg(t)}{(t-z)^2} \right] dt, \end{aligned} \quad (6)$$

где $g(t)$ – искомая функция

$$g(x) = \frac{2\mu}{1+\kappa} \frac{d}{dx} [v^+(x,0) - v^-(x,0)] \quad -l \leq x \leq l,$$

$\kappa = (3-\nu)/(1+\nu)$; ν , μ – соответственно коэффициент Пуассона и модуль сдвига материала пластины.

Неизвестная функция $g(x)$ должна быть определена из краевого условия (3). Требуя, чтобы функции (4) и (6) удовлетворяли краевому условию (3) на берегах щели, получим сингулярное интегральное уравнение относительно неизвестной функции $g(x)$:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-l}^l \frac{g(t)}{t-x} dt = f(x) + f_*(x); \quad (7)$$

где $f(x) = -[\Phi_0(x) + \overline{\Phi_0(x)} + x\overline{\Phi_0'(x)} + \overline{\Psi_0(x)}]$.

Используя представления для потенциалов $\Phi_0(z)$ и $\Psi_0(z)$, для функции $f(x)$ получаем явное соотношение

$$\begin{aligned} f(x) &= -\sigma_0 + \frac{1}{\pi h_1} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} P_{mn} \frac{ny_0}{n^2 y_0^2 + (x-m_*L)^2} \left[\frac{3+\nu}{2} - (1+\nu) \frac{(x-m_*L)^2}{n^2 y_0^2 + (x-m_*L)^2} \right] + \\ &+ \frac{1}{\pi h_1} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} P_{mn} \frac{ny_0}{n^2 y_0^2 + (x+m_*L)^2} \left[\frac{3+\nu}{2} - (1+\nu) \frac{(x+m_*L)^2}{n^2 y_0^2 + (x+m_*L)^2} \right], \\ f_*(x) &= \begin{cases} 0 & \text{на неконтактирующих берегах щели} \\ q(x) & \text{на участке } -l \leq x \leq -\lambda \text{ и } \lambda \leq x \leq l \end{cases} \end{aligned} \quad (8) \quad (9)$$

К сингулярному интегральному уравнению (7) следует добавить дополнительное условие

$$\int_{-l}^l g(t) dt = 0, \quad (10)$$

которое обеспечивает однозначность смещений.

Сингулярное интегральное уравнение (7) содержит неизвестные сосредоточенные силы P_{mn} и усилия $q(x)$, возникающие в контактирующих концевых зонах щели.

Для определения величины сосредоточенных сил P_{mn} получено уравнение

$$P_{mn} = \frac{E_S F}{2y_0} \Delta v_{mn}, \quad (m=0,1,2, \dots; n = 1, 2, \dots) \quad (11)$$

где Δv_{mn} – взаимное смещение точек соединения, равное удлинению ребра жесткости; E_S – модуль Юнга материала ребра жесткости; $2y_0$ – расстояние между заклепками; F – площадь поперечного сечения ребра.

Обозначим через r – радиус заклепки. Следуя работе [12], принимаем естественное допущение о том, что взаимное смещение точек $z = m_*L + i(ny_0 - a_0)$ и $z = m_*L - i(ny_0 - a_0)$ в рассматриваемой задаче равно взаимному смещению заклепок Δv_{mn} . Это дополнительное условие совместности перемещений позволяет эффективно найти решение поставленной задачи. С помощью функций (4) и формул Колосова-Мухелишвили [11] после выполнения элементарных, хотя и несколько громоздких выкладок, определяем взаимное смещение указанных точек. Ввиду громоздкости выражений их не приводим.

Таким образом, искомые величины сосредоточенных сил P_{mn} определяется из решения уравнения (11).

Полученная система уравнений (11) и сингулярное интегральное уравнение (7) являются связанными и должны решаться совместно.

Сингулярное интегральное уравнение (7) при дополнительном условии (10) с помощью процедуры алгебраизации [13] сводится к системе M алгебраических уравнений для определения неизвестных для определения неизвестных $g_k^0 = g_0(\tau_k)$ ($k=1,2,\dots,M$)

$$\begin{cases} \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \frac{g_0(\tau_k)}{\tau_k - \eta_m} = f(\eta_m) + f_*(\eta_m) & (m = 1,2,\dots,M-1) \\ \frac{\pi}{M} \sum_{k=1}^M g_0(\tau_k) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

В правую часть системы (12) входят неизвестные значения контактных напряжений $q(x)$ в узловых точках, принадлежащих концевым зонам щели. Условием, служащим для определения неизвестного контактного напряжения, возникающего на берегах щели в концевых зонах, является отсутствие раскрытия щели в этой области. Это дополнительное условие удобно записать для производной раскрытия смещения берегов щели

$$g(x) = -\frac{2\mu}{1+\kappa} h'(x), \quad (13)$$

где x – аффикс точек контактных концевых зон щели.

Требую выполнения условия (13) в узловых точках, содержащихся в контактных концевых зонах щели $(-l, -\lambda)$ и (λ, l) , получаем недостающие уравнения для определения приближенных значений контактного напряжения $q(\tau_{m_1})$ в узловых точках

$$g^0(\tau_{m_1}) = -\frac{2\mu}{1+\kappa} h'(\tau_{m_1}) \quad (m_1=1,2,\dots,M_1) \quad (14)$$

где принято, что M_1 – число узловых точек в отрезке (λ, l) .

Для замкнутости системы (12) и (14) не хватает одного уравнения, определяющего размер концевых зон щели. Условием, служащим для определения размера контактных концевых зон, является условие конечности напряжений в окрестности вершин щели. Записывая условие конечности напряжений при $x = \pm l$, находим недостающие уравнения в виде

$$\sum_{m=1}^M (-1)^m g^0(\tau_m) \operatorname{ctg} \frac{2m-1}{4M} \pi = 0 \quad (15)$$

Полученные алгебраические системы (12), (14) и (15) связаны между собой и должны решаться совместно. Решение системы (12), (14) и (15) позволяет определить значения искомой функции $g(x)$ в узловых точках, значения контактного напряжения $q(x)$ в узловых точках, содержащихся в контактных зонах щели, а также размер контактных зон. Из-за неиз-

вестного размера концевых контактных зон λ алгебраическая система (12), (14) и (15) оказалась нелинейной. Поэтому для ее решения использовали метод последовательных приближений, суть которого состоит в следующем.

Решаем систему (12), (14) относительно $M+M_1$ неизвестных $g_1^0, g_2^0, \dots, g_M^0, q_1^0, q_2^0, \dots, q_{M_1}^0$ при некотором определенном λ_* . Значения λ_* и найденные величины $g_1^0, g_2^0, \dots, g_M^0, q_1^0, q_2^0, \dots, q_{M_1}^0$ подставляются в (15), т.е. в неиспользованное уравнение системы (12), (14) и (15). Поскольку взятое значение параметра λ_* и соответствующие ему значения $g_1^0, g_2^0, \dots, g_M^0, q_1^0, q_2^0, \dots, q_{M_1}^0$, вообще говоря, не будут удовлетворять уравнению (15), то подбирая значения параметра λ_* , будем неоднократно повторять вычисления до тех пор, пока уравнение (15) системы не будет удовлетворяться с требуемой точностью.

Расчеты проводили в зависимости от геометрических параметров задачи при $\nu = 0,3$, $\varepsilon_1 = a_0/L = 0,01$, $\varepsilon = y_0/L = 0,15; 0,25$; $E = 7,1 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ (сплав В95), $E_S = 11,5 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ (композит А1-сталь), $A_S/y_0h = 1$. Было принято, что поверхность щели имеет синусоидальную форму. Число стрингеров и точек крепления принималось конечным: 6, 10, 14. При расчетах были использованы безразмерные координаты x'

$$x = \frac{l + \lambda}{2} + \frac{l - \lambda}{2} x'$$

Проведен параметрический анализ зависимости контактных напряжений $q(x)$ от размера щели и других геометрических параметров задачи. Наибольшие значения контактных напряжений находятся в средней части контактной зоны, где берега щели смыкаются. Результаты расчетов контактных напряжений q/σ_0 для разных значений длин щели вдоль концевой контактной зоны представлены в виде графика на рисунке 2, для $l/L = 0,5; 0,7$ и $\varepsilon = 0,25$.

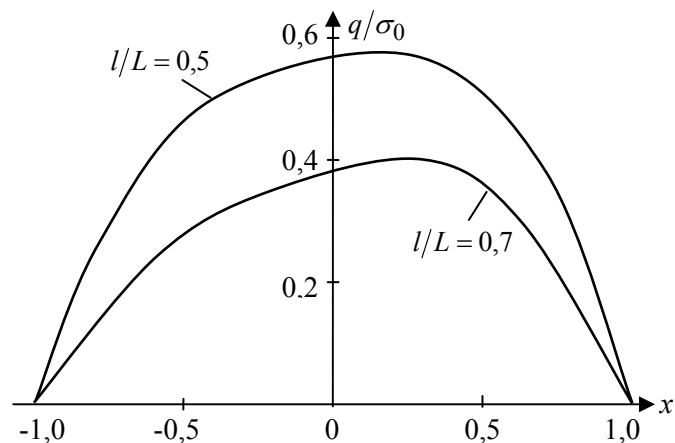


Рисунок 2 – Зависимость распределения контактных напряжений q/σ_0 вдоль концевой контактной зоны для разных значений длин щели

Выводы. Предложена эффективная схема расчета частично закрытой щели переменной ширины в подкрепленной пластине. Полученные соотношения позволяют решать обратную задачу, т.е. определять характеристики подкрепляющих элементов и напряженное состояние стрингерной пластины, при которых достигается заданная область контакта берегов щели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирсалимов, В.М. Контактная задача для пластины с трещиной, усиленной ребрами жесткости / В.М. Мирсалимов, Г.М. Алиева // Изв. АН АзССР. Серия физ.-техн. и мат. наук. - 1985. - № 3. - С. 83-91.
2. Мирсалимов, В.М. Некоторые задачи конструкционного торможения трещины / В.М. Мирсалимов // ФХММ. - 1986. - Т. 22. - № 1. - С. 84-88.
3. Мир-Салим-заде, М.В. Моделирование частичного закрытия трещины в изотропной среде, усиленной регулярной системой стрингеров / М.В. Мир-Салим-заде // Математическое моделирование. - 2007. - №3. - Т.19. - С. 105-115.
4. Мирсалимов, В.М. Моделирование закрытия трещины со связями между берегами во втулке контактной пары / В.М. Мирсалимов // Изв. РАН. Механика твердого тела. - 2009. - №2. - С. 78-92.
5. Мир-Салим-заде, М.В. Моделирование частичного закрытия трещин в перфорированной изотропной среде, усиленной регулярной системой стрингеров / М.В. Мир-Салим-заде // Прикладная механика и техническая физика. - 2010. - Т. 51. - №2. - С. 148-159.
6. Гасанов, Ш.Г. Когезионная трещина с частично контактирующими берегами в сечении дорожного покрытия / Ш.Г. Гасанов // Механика машин, механизмов и материалов. - 2012. - №2 (19). - С. 58-64.
7. Мирсалимов, В.М. Частичное закрытие трещиновидной полости в изотропной среде // В.М. Мирсалимов / Деформация и разрушение материалов. - 2013. - №1. - С. 16-20.
8. Мирсалимов, В.М., Рустамов Б.Э. Моделирование частичного закрытия трещиновидной полости со связями между берегами в изотропной среде / В.М. Мирсалимов, Б.Э. Рустамов // Прикладная механика и техническая физика. - 2013. - № 6. - С. 181-190.
9. Михеев, А.В. Управление процессом гидроабразивного резания неметаллических материалов на основе изучения условий трещинообразования / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Известия Орловского государственного технического университета. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» - № 1/265 (531). - 2007. - С. 98 - 103.
10. Михеев, А.В. Разрушение преграды сверхзвуковым потоком свободных абразивных частиц / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев. - М.: Издательский дом «Спектр», 2010. - 152 с.
11. Мусхелишвили, Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н.И. Мусхелишвили. - М.: Наука, 1966. - 707 с.
12. Черепанов, Г.П. О воздействии ребер жесткости на развитие трещины / Г.П. Черепанов В.М. Мирсалимов // Изв. АН АзССР. Серия физ.-техн. и мат. наук». - 1969. - № 1. - С. 7-11.
13. Мирсалимов В.М. Неоднородные упругопластические задачи / В.М. Мирсалимов. - М.: Наука, 1987. - 256 с.

Мир-Салим-заде Минавар Вагиф гызы

Институт математики и механики НАН Азербайджана,

Азербайджан, г. Баку, ул. Б. Вахабзаде, 9

Кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник

E-mail: mir-salim-zade@mail.ru

MIR-SALIM-ZADA MINAVAR VAGIF QIZI

CONTACT PROBLEM FOR STRINGER PLATE WEAKENED BY VARIABLE WIDTH SLIT

An influence of reinforcing ribs on stress-strain state of plate with variable width comparable to elastic deformation slit is investigated. A case of partial slit faces contact is considered. Determination of unknown contact stresses is reduced to solving of singular integral equation. The singular integral equation using the procedure algebraization is reduced to a nonlinear algebraic equations system which is solved by the method of successive approximations.

Keywords: stringer plate, variable width slit, contact stresses, contact zone.

BIBLIOGRAPHY

1. Mirsalimov, V.M. Kontaktnaja zadacha dlja plastiny s treshhinoj, usilennoj rebrami zhestkosti / V.M. Mirsalimov, G.M. Alieva // Izv. AN AzSSR. Serija fiz.-tehn. i mat. nauk. - 1985. - № 3. - S. 83-91.
2. Mirsalimov, V.M. Some problems of structural arrest of cracks / V.M. Mirsalimov // Soviet materials science. - 1986. - Т. 22. - № 1. - S. 81-85.

3. Mir-Salim-zade, M.V. Modelirovanie chastichnogo zakrytija treshhiny v izotropnoj srede, usilennoj reguljarnoj sistemoj stringerov / M.V. Mir-Salim-zade // *Matematicheskoe modelirovanie*. - 2007. - №3. - T.19. - S. 105-115.
4. Mirsalimov, V.M. Simulation of bridged crack closure in contact pair bushing / V.M. Mirsalimov // *Mechanics of Solids*. - 2009. - №2. - P. 232-243.
5. Mir-Salim-zade, M.V. Modeling of partial closure of cracks in a perforated isotropic medium reinforced by a regular system of stringers / M.V. Mir-Salim-zade // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. - 2010. - T. 51. - №2. - P. 269-279.
6. Gasanov, Sh.G. Kogezionnaja treshhina s chastichno kontaktirujushhimi beregami v sechenii dorozhnogo pokrytija / Sh.G. Gasanov // *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov*. - 2012. - №2 (19). - S. 58-64.
7. Mirsalimov, V.M. Chastichnoe zakrytie treshhinovidnoj polosti v izotropnoj srede // V.M. Mirsalimov / *Deformacija i razrushenie materialov*. - 2013. - №1. - S. 16-20.
8. Mirsalimov, V.M., Rustamov B.E. Simulation of Partial Closure of a Crack-Like Cavity with Cohesion between the Faces in an Isotropic Medium / V.M. Mirsalimov, B.E. Rustamov // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. - 2013. - № 6. - P. 1021-1029.
9. Miheev, A.V. Upravlenie processom gidroabrazivnogo rezanija nemetallicheskih materialov na osnove izuchenija uslovij treshhinoobrazovanija / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov, A.V. Miheev // *Izvestija Orlovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija «Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii»* - № 1/265 (531). - 2007. - S. 98 - 103.
10. Miheev, A.V. Razrushenie pregrady sverhzvukovym potokom svobodnyh abrazivnyh chastic / Ju.S. Stepanov, G.V. Barsukov, A.V. Miheev. - M.: Izdatel'skij dom «Spektr», 2010. - 152 s.
11. Muskhelishvili, N.I. Some Basic Problems of Mathematical Theory of Elasticity / N.I. Muskhelishvili. - Amsterdam: Kluwer, 1977. - 707 p.
12. Cherepanov, G.P., Mirsalimov V.M. O vozdejstvii reber zhestkosti na razvitie treshhiny / G.P. Cherepanov, V.M. Mirsalimov // *Izv. AN AzSSR. Serija fiz.-tehn. i mat. nauk*. - 1969. - № 1. - S. 7-11.
13. Mirsalimov, V.M. Neodnomernye uprugoplasticheskie zadachi / V.M. Mirsalimov. - M.: Nauka, 1987. - 256 s.

Mir-Salim-zada Minavar Vagif qizi

Institute of Mathematics and Mechanics of NAS of Azerbaijan, Baku
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Leading Researcher,
Tel. ^(+99412) 372-20-57
E-mail: mir-salim-zade@mail.ru

А.В. МОРОЗОВА, А.Н. ТКАЧЕНКО, А.В. ТЮХТА

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛНОЙ И КЛАСТЕРНОЙ ПАРАМЕТРОГРАММ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СОЦИАЛЬНОГО ОБЪЕКТА

В статье анализируется впервые поставленная проблема создания комплекса моделей для геометрической интерпретации системы социальных характеристик и кластеров социальных характеристик многопараметрических социальных объектов, которые они приобретают в процессе социализации. С этой целью введены новые понятия «полная параметрограмма» и «кластерная параметрограмма», приведены методики их построения. Рассмотренные геометрические модели потенциально позволят идентифицировать социальные объекты с конкретными типами в рамках анализируемых социальных групп и социализационных подпроцессов.

Ключевые слова: квалиметрия, многопараметрический социальный объект, параметрограмма, социализация.

Введение

Для повышения качества подготовки кадров для машиностроительного комплекса страны, в том числе и ОПК, в последние годы разработано много концепций, теорий и предложений [1-3]. Однако для оценки их эффективности должен быть разработан инструмент квалиметрического оценивания уровня сформированности социально-профессиональных компетенций специалистов для инновационного машиностроительного производства.

Постановка проблемы исследования, ее актуальность и новизна

Математическая модель квалиметрии и типизации многопараметрических социальных объектов (МСО) процесса социализации [4-6] позволяет не только рассчитать уровень сформированности H_{pk} каждой его социальной характеристики B_k , сформировать вектор-строку $\overline{H_p} = (H_{p1}; H_{p2}; \dots; H_{pk}; \dots; H_{pl})$ уровней сформированности системы социальных характеристик $B_{p1}; B_{p2}; \dots; B_{pk}; \dots; B_{pl}$ МСО (рисунок 1) и установить пороговые H_k^{\min} , H_k^v , H_k^w значения уровня сформированности каждого элемента множества социальных характеристик МСО B_k , $k = \overline{1:l}$, но и осуществить геометрическую интерпретацию представленной модели. Такая фундаментальная проблема рассматривается впервые и на данный момент её изучение и решение актуально для последующей идентификации МСО с его определенным типом.

соц. характеристика	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	...
индив. уровень	2,2	1,3	1,1	3,3	1,8	2,6	2,2	4,2	2,8	2,5

Рисунок 1 – Вектор-строка уровней сформированности H_{pk} системы социальных характеристик B_k для анализируемого МСО (пример)

Решение научной проблемы

Рассмотрим основные этапы реализации данной задачи.

Этап 1.

Имея числовую характеристику H_{pk} уровня сформированности социальной характеристики B_k , а также значения порогового H_k^{\min} , продвинутого H_k^v и высокого H_k^w уровней ее сформированности, можно составить геометрическую интерпретацию, представленную на рисунке 2, которая имеет вид линейной модели (для нормированной шкалы) [7].

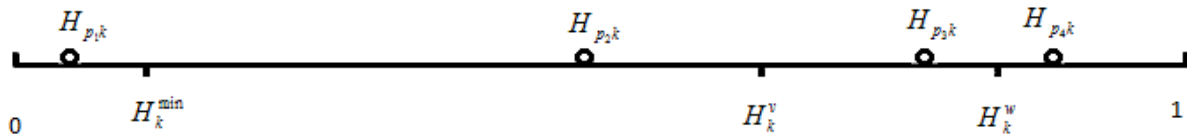


Рисунок 2 – Линейная модель оценки уровня сформированности социальной характеристики B_k

Из рисунка 2 следует:

- $H_{p_1 k}$ – объект P_1 имеет недостаточный уровень сформированности социальной характеристики B_k ;
- $H_{p_2 k}$ – объект P_2 имеет низкий уровень сформированности социальной характеристики B_k ;
- $H_{p_3 k}$ – объект P_3 имеет продвинутый уровень сформированности социальной характеристики B_k ;
- $H_{p_4 k}$ – объект P_4 имеет высокий уровень сформированности социальной характеристики B_k .

Практика показывает, что при использовании нескольких шкал, отображающих уровни сформированности нескольких социальных характеристик, возникает ситуация, при которой каждая из них имеет свой диапазон измерения, а, следовательно, попытка их объединить с целью сравнения приводит к тому, что шкалы, имеющие разный масштаб, затрудняют решение такой задачи. Поэтому целесообразно рассмотреть вопрос о нормировании шкал различных социальных характеристик, чтобы уровни их сформированности $\overline{H}_p = (H_{p1}, H_{p2}, \dots, H_{pk}, \dots, H_{pl})$, а также установленные для них пороговые H_k^{\min} , H_k^v , H_k^w значения отображались в одинаковом диапазоне $[0; 1]$. При этом целесообразно рассматривать вариант, когда шкала социальных характеристик отражает не долю, а процент сформированности социальной характеристики. В этом случае, каждая социальная характеристика будет представлена в диапазоне от 0 до 100 %.

Этап 2.

Пусть p -ый МСО имеет уровни $H_{p1}, H_{p2}, \dots, H_{pk}, \dots, H_{pl}$ сформированности системы социальных характеристик $B_1, B_2, \dots, B_k, \dots, B_l$. Кроме того, задается система пороговых H_k^{\min} , продвинутых H_k^v и высоких H_k^w уровней их сформированности, где $k = \overline{1:l}$, которую целесообразно представить в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Система пороговых, продвинутых и высоких уровней сформированности социальных характеристик МСО

Социальная характеристика	Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
B_1	H_1^{\min}	H_1^v	H_1^w
B_2	H_2^{\min}	H_2^v	H_2^w
...
B_k	H_k^{\min}	H_k^v	H_k^w
...
B_l	H_l^{\min}	H_l^v	H_l^w

значения γ_{ki} , что $0 \leq \gamma_{ki} \leq 1$ и $\sum_{k=1}^l \gamma_{ki} = 1$, и определять их с применением экспертных методов на базе прикладных систем поддержки принятия решений.

Если в формировании КСХ K_i участвует подмножество социальных характеристик $B_{k'}$, $k' = \overline{1:l'}$, то для p -го МСО уровень сформированности T_{pi} КСХ K_i можно охарактеризовать несколькими вариантами:

- по уровню достижения максимального значения среди всех имеющихся уровней сформированности социальных характеристик $B_{k'} \subset \{B_k\}$, $k = \overline{1:l}$, $k' = \overline{1:l'}$ и оказывающих влияние на уровень сформированности КСХ K_i , $i = 1, \dots, 6$, т.е.:

$$T_{pi} = \max\{H_{pk'i}; k' = \overline{1:6}\}; \quad (1)$$

- по уровню достижения минимального значения среди всех имеющихся уровней сформированности социальных характеристик $B_{k'} \subset \{B_k\}$, $k = \overline{1:l}$, $k' = \overline{1:l'}$ и оказывающих влияние на уровень сформированности КСХ K_i , $i = 1, \dots, 6$, т.е.:

$$T_{pi} = \min\{H_{pk'i}; k' = \overline{1:6}\}; \quad (2)$$

- по уровню достижения среднего значения среди всех имеющихся уровней сформированности социальных характеристик $B_{k'} \subset \{B_k\}$, $k = \overline{1:l}$, $k' = \overline{1:l'}$, скорректированных по степени влияния $\gamma_{k'i}$ на формирование КСХ K_i , $i = 1, \dots, 6$ и оказывающих влияние на уровень его сформированности, т.е.:

$$T_{pi} = \frac{\sum_{k'=1}^{l'} \gamma_{k'i} \cdot H_{pk'i}}{k'}. \quad (3)$$

Например, технические возможности такого программного продукта как система поддержки принятия решений Expert Decide позволяет не только провести поэтапное оценивание долевых коэффициентов γ_{ki} уровня влияния социальной характеристики B_k при формировании КСХ K_i , $i = 1, \dots, 6$ и МСО, но и оценить долевой коэффициент ω_{ji} влияния факторного кластера A_j , где $j = \overline{1:m}$, и m - количество анализируемых факторных кластеров, участвующих в социализационном процессе МСО на систему КСХ K_i , $i = 1, \dots, 6$.

В этом случае экспертными методами (МАИ) с применением СППР Expert Decide 2.0 получают вектор-строку, состоящую из долевых коэффициентов ω_{ji} влияния каждого факторного кластера A_j , где $j = \overline{1:m}$, и m - количество анализируемых факторных кластеров, участвующих в социализационном процессе МСО, на анализируемую систему КСХ K_i (рисунки 4); для которой применима формула взвешенной средней:

$$T_{pi} = \frac{\sum_{j=1}^m \omega_{ji} \cdot S_{pj}}{m}. \quad (4)$$

После чего, можно рассчитать для p -го МСО уровень сформированности T_{pi} КСХ K_i , $i = 1, \dots, 6$. С практической точки зрения именно этот вариант расчета величин T_{pi} наиболее прост в реализации.

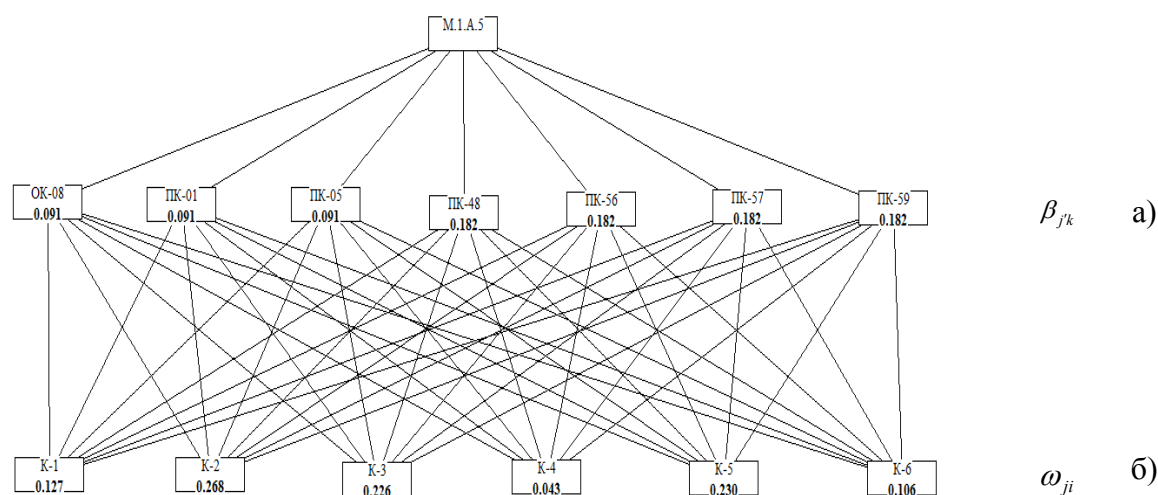


Рисунок 4 – Фрагмент комплексного оценивания системы долевых коэффициентов β_{jk} и ω_{ji} влияния факторного кластера A_j на систему

а) социальных характеристик МСО B_k ; б) кластеров социальных характеристик $K_i, i = 1, \dots, 6$, МСО

Кроме того, для КСХ $K_i, i = 1, \dots, 6$, можно установить несколько уровней сформированности:

- T_i^{\min} – пороговый уровень; характеризует такой уровень сформированности КСХ K_i МСО, который устанавливает его минимальное значение на соответствие требованиям анализируемой социальной группы;
- T_i^v – продвинутый уровень; характеризует такой уровень сформированности КСХ K_i МСО, который констатирует наличие у него достаточного уровня сформированности КСХ K_i в рамках анализируемой социальной группы;
- T_i^w – высокий уровень; характеризует такой уровень сформированности КСХ K_i МСО, который показывает наличие лидерского уровня сформированности данного КСХ в пределах требований анализируемой социальной группы.

Таким образом, имея числовую характеристику T_{pi} уровня сформированности КСХ $K_i, i = 1, \dots, 6$, а также значения порогового T_i^{\min} , продвинутого T_i^v и высокого T_i^w уровней его сформированности, можно составить геометрическую интерпретацию, представленную на рисунке 5, которая имеет вид линейной модели с нормированной шкалой (возможны варианты рассмотрения этой модели без применения операции нормирования имеющихся данных). Здесь рассмотрены несколько вариантов взаимного расположения точек $T_{pi}, T_i^{\min}, T_i^v$ и T_i^w , которые позволяют интерпретировать полученные результаты следующим образом:

- T_{p1i} – МСО P_1 не имеет достаточного уровня сформированности КСХ K_i в рамках требований анализируемой социальной группы;
- T_{p2i} – МСО P_2 имеет низкий уровень сформированности КСХ K_i в рамках требований анализируемой социальной группы;
- T_{p3i} – МСО P_3 имеет продвинутый уровень сформированности КСХ K_i в рамках требований анализируемой социальной группы;
- T_{p4i} – МСО P_4 имеет высокий (лидирующий) уровень сформированности КСХ K_i в рамках требований анализируемой социальной группы.

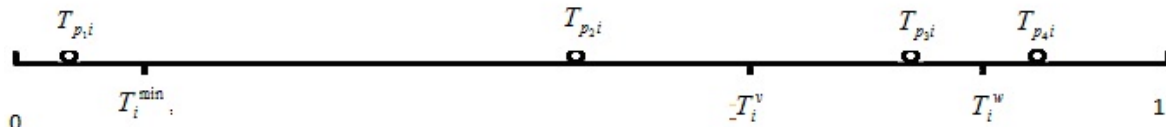


Рисунок 5 – Линейная модель оценки уровня сформированности КСХ K_i МСО

Если рассматривать все множество КСХ в рамках требований анализируемой социальной группы K_i , $i = 1, \dots, 6$, то для ее геометрической интерпретации также целесообразно использовать плоскостную модель в форме лепестковой диаграммы, которую можно интерпретировать как «кластерная параметрограмма». Если шкалы такой модели нормированы, то получается «кластерная нормированная параметрограмма» МСО.

Этап 4.

Пусть p -ый объект имеет уровни $T_{p1}, T_{p2}, \dots, T_{p6}$ сформированности компетентностных кластеров K_1, K_2, \dots, K_6 . Кроме того, принята система пороговых T_i^{min} , продвинутых T_i^v и высоких T_i^w уровней их сформированности, где $i = 1, \dots, 6$, которую целесообразно представить в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Система пороговых, продвинутых и высоких уровней сформированности кластеров социальных характеристик МСО

Кластер компетенций	Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
K_1	T_1^{min}	T_1^v	T_1^w
K_2	T_2^{min}	T_2^v	T_2^w
...
K_6	T_6^{min}	T_6^v	T_6^w

В качестве примера нормированная кластерная параметрограмма будет иметь вид, представленный на рисунке 6.

Вывод

Впервые разработан инструментарий для квалиметрии сформированности социальных характеристик и их кластеров, в основе которого лежит принцип построения кластерной структуры американской модели «наилучшего исполнителя» и европейской модели инженерного образования, а перечень анализируемых социальных характеристик формируется, исходя из специфики анализируемого подпроцесса социализации МСО. Инструментарий представлен комплексом квалиметрических моделей: модель квалиметрии социальных характеристик МСО, модель кластеризации социальных характеристик МСО, а также модель типизации МСО.

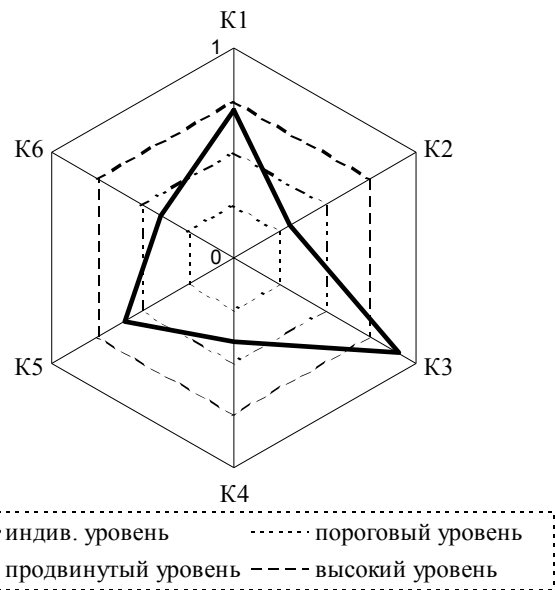


Рисунок 6 – Кластерная параметрограмма МСО

Установлено, что уровень сформированности социальных характеристик МСО и их кластеров может быть представлен новыми понятиями нормированной полной и нормированной кластерной параметрограмм, графической интерпретацией которых являются ле-

пестковые диаграммы – плоские уровневые модели системы социальных характеристик и системы компетентностных КСХ МСО, что потенциально создает условия для разработки инструментария при идентификации МСО и его определенным типом в рамках анализируемого подпроцесса социализации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-01-00147 а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанова, Е.Ю. Проблемы подготовки инженерно-технических кадров для интегрированных структур оборонно-промышленного комплекса /Е.Ю. Степанова //Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. - №1. – С. 94-100.
2. Степанова, Е.Ю. Университетский комплекс как центр воспроизводства инноваций в регионе /Интеллектуальные силы человечества и гармония мирового развития /Е.Ю. Степанова: Матер. междунар. Интернет-конф.- Вып. 2. Планетарная рента: Источники, виды, методология, оценки (сентябрь 2006 г. – январь 2007 г.). – СПб., Орел: НЦ «Планетарный проект», ОрелГТУ, 2007. - С. 105-112.
3. Степанова, Е.Ю. Инновационные университеты Европы и учебно-научно-производственные комплексы России. В кн. Интеллектуальный капитал – основа опережающих инноваций: монография /под общ. ред. А.В. Безгодова, В.В. Смирнова. – СПб.: НЦ «Планетарный проект», Орел: ОрелГТУ, 2007. – С. 142- 154.
4. Морозова, А.В. Модель квалиметрии и типизации многопараметрических социальных объектов процесса социализации: Социально-экономические аспекты технологической модернизации современного машиностроительного производства : коллективная монография [Текст]/ А.В. Морозова, Ю.В. Василенко, А.А. Алисов и др.; Под ред. А.В. Киричека. - М.: Издательский дом «Спектр», 2013. - С. 123 - 147.
5. Морозова, А.В. Аксиоматический базис модели квалиметрии и типизации многопараметрического социального объекта в процессе социализации и матрица соответствия ее параметров [Текст] / А.В. Морозова, Д.Е. Тарасов, А.А. Алисов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2013. - № 4. - С.8-15.
6. Морозова, А.В. Математическая модель квалиметрии и типизации объектов процесса социализации в условиях внешней неопределенности и матрица соответствия ее параметров [Текст] / А.В. Морозова, Ю.В. Василенко, М.В. Алисова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2013. - № 5. - С. 3-12.
7. Морозова, А.В. Процедура шкалированная оси линейной модели оценки уровня сформированности компетенции специалиста технического профиля [Текст] / А.В. Морозова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – № 2. – С.100-105.

Морозова Анна Валентиновна

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», Технологического института им. Н.Н. Поликарпова, г. Орел
Кандидат социологических наук, заместитель директора по НИР
Тел.: (4862) 555524
E-mail: niotiostu@gmail.com

Ткаченко Артём Николаевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», г. Орел
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Машиностроительные технологии и легкая промышленность»
Тел.: 89606436332
E-mail: artyom270286@yandex.ru

Тюхта Антон Владимирович

Преподаватель факультета СПО
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», г. Орел
Телефон: (4862) 555145
E-mail: swejk@rambler.ru

A.V. MOROZOVA, A.N. TKACHENKO, A.V. TYUKHTA

FORMATION OF COMPLETE AND CLUSTER PARAMETERGRAMS FOR MULTIPARAMETER SOCIAL OBJECT

In the paper a challenge issued for the first time to create a complex of models for the geometrical interpretation of the social characteristics system and social characteristics clusters of multiparameter social objects which they obtain during socialization is analyzed. With that end in view there are introduced new concepts such as “complete parametergram”, and “cluster parametergram”, the procedures for their construction are shown. The geometrical models considered potentially allow identifying social objects with particular types within the bounds of analyzed social groups and socialized subruns.

Keywords: *quality metering, multiparameter social object, parametergram, integrative quality coefficient.*

BIBLIOGRAPHY

1. Stepanova, E.Ju. Problemy podgotovki inzhenerno-tehnicheskikh kadrov dlja integrirovannykh struktur oboronno-promyshlennogo kompleksa /E.Ju. Stepanova //Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2014. - №1. – S. 94-100.
2. Stepanova, E.Ju. Universitetskij kompleks kak centr vosproizvodstva innovacij v regione /Intellektual'nye sily chelovechestva i garmonija mirovogo razvitiya /E.Ju. Stepanova: Mater. mezhdunar. Internet-konf.- Vyp. 2. Planetarnaja renta: Istochniki, vidy, metodologija, ocenki (sentjabr' 2006 g. – janvar' 2007 g.). – SPb., Orel: NC «Planetarnyj proekt», OrelGTU, 2007. - S. 105-112.
3. Stepanova, E.Ju. Innovacionnye universitety Evropy i uchebno-nauchno-proizvodstvennye komplekсы Ros-sii. V kn. Intellektual'nyj kapital – osnova operezhajushhih innovacij: monografija /pod obshh. red. A.V. Bezhodova, V.V. Smirnova. – SPb.: NC «Planetarnyj proekt», Orel: OrelGTU, 2007. – S. 142- 154.
4. Morozova, A.V. Model' kvalimetrii i tipizacii mnogoparametricheskikh social'nyh ob#ektov processa socializacii: Social'no-jekonomicheskie aspekty tehnologicheskoy modernizacii sovremennogo mashinostroitel'nogo proizvodstva : kollektivnaja monografija [Tekst]/ A.V. Morozova, Ju.V. Vasilenko, A.A. Alisov i dr.; Pod red. A.V. Kiricheka. - M.: Izdatel'skij dom «Spektr», 2013. - S. 123 - 147.
5. Morozova, A.V. Aksiomatičeskij bazis modeli kvalimetrii i tipizacii mnogoparametricheskogo social'nogo ob#ekta v processe socializacii i matrica sootvetstvija ee parametrov [Tekst] / A.V. Morozova, D.E. Tarasov, A.A. Alisov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - 2013. - № 4. - S.8-15.
6. Morozova, A.V. Matematičeskaja model' kvalimetrii i tipizacii ob#ektov processa socializacii v uslovijah vneshej neopredelennosti i matrica sootvetstvija ee parametrov [Tekst] / A.V. Morozova, Ju.V. Vasilenko, M.V. Alisova // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - 2013. - № 5. - S. 3-12.
7. Morozova, A.V. Procedura shkalirovannaja osi linejnoj modeli ocenki urovnja sformirovannosti kompetencii specialista tehnicheskogo profilja [Tekst] / A.V. Morozova // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2013. – № 2. – S.100-105.

Morozova Anna Valentinovna

FSBEI HVT «State University-ESPC», Polikarpov Technological Institute, Orel
Can. Sc. Soc., Deputy Director for RE
Phone: (4862) 555524
E-mail: niotiostu@gmail.com

Tkachenko Artyom Nikolayevich

FSBEI HVT «State University-ESPC», Orel
Can. Sc. Tech., Senor Lecturer of the Dep. «Engineering techniques & Light Industry»
Phone: 89606436332
E-mail: artyom270286@yandex.ru

Tyukhta Anton Vladimirovich

FSBEI HVT «State University-ESPC», Orel
Lecturer of the Faculty of SVT
Phone: (4862) 555145
E-mail: swejk@rambler.ru

Э.И. СТАРОВОЙТОВ, Д.В. ТАРЛАКОВСКИЙ

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ СТУПЕНЧАТО-ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Рассмотрен цилиндрический изгиб упругой трехслойной ортотропной пластины ступенчато-переменной толщины. Для описания кинематики несимметричного по толщине пакета пластины принята гипотеза ломаной нормали. С помощью вариационного принципа Лагранжа получена система дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях. Получено ее аналитическое решение при различных граничных условиях с учетом разрывности границы. Проведен параметрический анализ деформаций и напряжений в пластине.

Ключевые слова: деформирование, трехслойная пластина, ортотропный материал, переменная толщина.

Введение. Трехслойные элементы конструкций находят большое применение в судостроении, самолетостроении, при создании космических объектов. Для придания большей жесткости и уменьшения веса они выполняются с анизотропными несущими слоями, подкрепляются ребрами и накладками. В публикациях [1–3] рассмотрено деформирование трехслойных пластин, набранных из ортотропных материалов. В монографии [4] и статьях [6–11] исследован изгиб и колебания трехслойных стержней и круговых пластин, связанных и несвязанных с упругим основанием. В предлагаемой статье исследуется напряженно-деформированное состояние трехслойной ортотропной пластины, усиленной жесткой накладкой.

Постановка задачи. Рассматривается цилиндрический изгиб трехслойной анизотропной пластины усиленной по нижнему слою тонкой накладкой из более жесткого, чем несущие слои, материала (рис. 1).

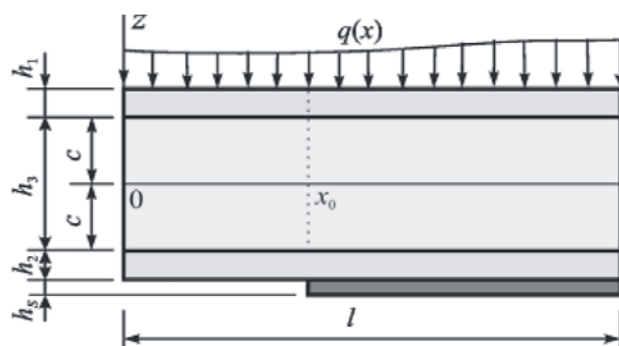


Рисунок 1 – Расчетная схема трехслойной пластины с переменной толщиной

На пластину действует вертикальная нагрузка $q(x)$. Через $w(x)$ и $u(x)$ обозначены прогиб и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя вдоль оси ox ; h_k – толщина k -го слоя ($h_3 = 2c$, $k = 1, 2, 3$), причем суммарная толщина нижнего слоя будет разрывной функцией:

$$h_2^+ = h_2 + h_s H_0(x - x_0), \quad (1)$$

где h_2 – толщина 2-го слоя;

h_s – толщина накладки;

$H_0(x)$ – функция Хевисайда.

Для описания кинематики пакета приняты гипотезы ломаной нормали: в несущих слоях и в накладке справедливы гипотезы Кирхгофа, в несжимаемом по толщине заполнителе нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол, составляющий с координатной осью x величину $\psi(x)$. Дефор-

мации считаем малыми. На торцах пластины жесткие диафрагмы, препятствующих относительному сдвигу слоев.

В работе [12] с помощью принципа возможных перемещений Лагранжа и закона Гука для анизотропного тела получена общая система дифференциальных уравнений равновесия гладкой (без накладки) трехслойной пластины с анизотропными слоями. В случае цилиндрического изгиба эта система для нахождения трех неизвестных функций перемещений $w(x)$, $\psi(x)$ и $u(x)$ в нашем случае преобразуются к виду:

$$\begin{aligned} &(a_3 + a_3^{(s)} H(x-x_0))u_{,xx} + (a_6 + a_6^{(s)} H(x-x_0))\psi_{,xx} - (a_7 + a_7^{(s)} H(x-x_0))w_{,xxx} = 0; \\ &(a_7 + a_7^{(s)} H(x-x_0))u_{,xxx} + (a_3 + a_3^{(s)} H(x-x_0))\psi_{,xxx} - (a_{21} + a_{21}^{(s)} H(x-x_0))w_{,xxxx} + q = 0; \\ &(a_6 + a_6^{(s)} H(x-x_0))u_{,xx} + (a_{24} + a_{24}^{(s)} H(x-x_0))\psi_{,xx} - (a_{17} + a_{17}^{(s)} H(x-x_0))w_{,xxx} - G_{xz}^{(3)} c \psi = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где a_k ($a_k^{(s)}$) – параметры, характеризующие геометрические и упругие свойства слоев (накладки), – характеризуют свойства накладки

$$a_3 = A_4^{(1)} h_1 + 2c A_4^{(3)} + A_4^{(2)} h_2, \quad a_6 = A_4^{(1)} c h_1 - A_4^{(2)} c h_2; \quad a_7 = 0,5(h_1^2 + 2h_1 c) A_4^{(1)} - 0,5(h_2^2 + 2h_2 c) A_4^{(2)},$$

$$a_{17} = 0,5c(h_1^2 + 2h_1 c) A_4^{(1)} + 0,5c(h_2^2 + 2h_2 c) A_4^{(2)} + \frac{2}{3} c^3 A_4^{(3)},$$

$$a_{21} = (h_1^2 c + h_1 c^2 + \frac{1}{3} h_1^3) A_4^{(1)} - (h_2^2 c + h_2 c^2 + \frac{1}{3} h_2^3) A_4^{(2)} + \frac{2}{3} c^3 A_4^{(3)},$$

$$a_{24} = A_4^{(1)} c^2 h_1 + A_4^{(2)} c^2 h_2, \quad A_4^{(k)} = \frac{E_x^{(k)}}{1 - \nu_{xy}^{(k)} \nu_{yx}^{(k)}}, \quad a_3^{(s)} = A_4^{(s)} h_s, \quad a_6^{(s)} = -c A_4^{(s)} h_s,$$

$$a_7^{(s)} = -0,5 A_4^{(s)} (2h_s c + 2h_s h_2 + h_s^2), \quad a_{17}^{(s)} = 0,5c A_4^{(s)} (2h_s c + 2h_s h_2 + h_s^2),$$

$$a_{21}^{(s)} = A_4^{(s)} h_s (c(c + 2h_2 + h_s) + h_2 h_s + h_2^2 + \frac{1}{3} h_s^2), \quad a_{24}^{(s)} = A_4^{(s)} c^2 h_s, \quad A_4^{(s)} = \frac{E_x^{(s)}}{1 - \nu_{xy}^{(s)} \nu_{yx}^{(s)}};$$

$E_x^{(k)}$, $E_x^{(s)}$ – модуль Юнга материала k -го слоя ($k = 1, 2, 3$) и накладки в направлении x ;

$\nu_{ij}^{(k)}$, $\nu_{ij}^{(s)}$ – коэффициенты Пуассона материала k -го слоя и накладки в соответствующих направлениях (нумерация параметров принята по работе [12]);

запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Система обыкновенных дифференциальных уравнений (2) содержит разрывные коэффициенты за счет функции Хевисайда, входящей в суммарную толщину 2-го слоя (1). Ее решение будем проводить отдельно во всех областях непрерывности этих коэффициентов. Поэтому рассмотрим систему уравнений (2) в двух областях: I – до начального сечения изменения толщины ($x < x_0$); II – после него ($x \geq x_0$).

В первой из них функция Хевисайда обращается в ноль и $h_2^+ = h_2$. Искомые перемещения в этой области пометим индексом «1» внизу. Система (2) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} &a_3 u_{1,xx} + a_6 \psi_{1,xx} - a_7 w_{1,xxx} = 0; \\ &a_7 u_{1,xxx} + a_3 \psi_{1,xxx} - a_{21} w_{1,xxxx} + q = 0; \\ &a_6 u_{1,xx} + a_{24} \psi_{1,xx} - a_{17} w_{1,xxx} - G_{xz}^{(3)} c \psi_1 = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Решение системы (3) получено в виде:

$$\psi_1(x) = C_{21} \text{sh}(\beta_1 x) + C_{31} \text{ch}(\beta_1 x) + \frac{1}{\beta_1} \left[\text{sh}(\beta_1 x) \int g_1(x) \text{ch}(\beta_1 x) dx - \text{ch}(\beta_1 x) \int g_1(x) \text{sh}(\beta_1 x) dx \right],$$

$$w_1(x) = \frac{1}{\alpha_{21}} \left[\alpha_{11} \int \psi_1 dx - a_7^0 L_3^{-1}(p) + a_3^0 L_4^{-1}(q) + \frac{a_3^0 C_{11}}{6} x^3 \right] + \frac{C_{41}}{2} x^2 + C_{51} x + C_{61},$$

$$u_1(x) = \gamma_{31} \psi_1 + \frac{1}{\alpha_{21}} \left[-a_{21}^0 L_2^{-1}(p) + a_7^0 L_3^{-1}(q) + \frac{a_7^0 C_{11}}{2} x^2 \right] + C_{71} x + C_{81}, \quad (4)$$

где C_{11}, \dots, C_{81} – константы интегрирования;

$L_1^{-1}, L_2^{-1}, L_3^{-1}, L_4^{-1}$ – линейные интегральные операторы

$$L_1^{-1}(f) = \int f dx, L_2^{-1}(f) = \iint f dx dx, L_3^{-1}(f) = \iiint f dx dx dx, L_4^{-1}(f) = \iiiii f dx dx dx dx;$$

$$\text{функция } g_1(x) = \gamma_{21}p + \gamma_{11} \left(\int_0^x q dx + C_{11} \right);$$

$$\text{параметры } \beta_1^2 = \frac{a_3 G_{xz}^{(3)} c \cdot \alpha_{21}}{\alpha_{21} \alpha_{31} - \alpha_{11}^2} > 0, \quad \gamma_{11} = \frac{a_3 \alpha_{11}}{\alpha_{21} \alpha_{31} - \alpha_{11}^2}, \quad \gamma_{21} = \frac{a_6 \alpha_{21} - a_7 \alpha_{11}}{\alpha_{21} \alpha_{31} - \alpha_{11}^2}, \quad \gamma_{31} = \frac{a_{17} a_7 - a_{21} a_6}{\alpha_{21}},$$

$$\alpha_{21} \alpha_{31} - \alpha_{11}^2 \neq 0, \quad \alpha_{11} = a_3 a_{17} - a_6 a_7, \quad \alpha_{21} = a_3 a_{21} - a_7^2, \quad \alpha_{31} = a_3 a_{24} - a_6^2.$$

Теперь рассмотрим систему уравнений (2) во второй области, где функция Хевисайда равна единице ($x \geq x_0$, при наличии накладки) и $h_2^+ = h_2 + h_s$. Искомые перемещения в этой области пометим индексом «2» внизу. Система (2) преобразуется к виду:

$$a_3^+ u_{2,xx} + a_6^+ \psi_{2,xx} - a_7^+ w_{2,xxx} = 0;$$

$$a_7^+ u_{2,xxx} + a_{17}^+ \psi_{2,xxx} - a_{21}^+ w_{2,xxxx} + q = 0;$$

$$a_6^+ u_{2,xx} + a_{24}^+ \psi_{2,xx} - a_{17}^+ w_{2,xxx} - G_{xz}^{(3)} c \psi_2 = 0, \tag{5}$$

где $a_3^+ = a_3 + a_3^{(s)}$, $a_6^+ = a_6 + a_6^{(s)}$, $a_7^+ = a_7 + a_7^{(s)}$, $a_{17}^+ = a_{17} + a_{17}^{(s)}$, $a_{21}^+ = a_{21} + a_{21}^{(s)}$, $a_{24}^+ = a_{24} + a_{24}^{(s)}$.

Решение системы (5) будет иметь вид:

$$\psi_2(x) = C_{22} \text{sh}(\beta_2 x) + C_{32} \text{ch}(\beta_2 x) + \frac{1}{\beta_2} \left[\text{sh}(\beta_2 x) \int g_2(x) \text{ch}(\beta_2 x) dx - \text{ch}(\beta_2 x) \int g_2(x) \text{sh}(\beta_2 x) dx \right],$$

$$w_2(x) = \frac{1}{\alpha_{22}} \left[\alpha_{12} \int \psi_2 dx - a_7^+ L_3^{-1}(p) + a_3^+ L_4^{-1}(q) + \frac{a_3^+ C_{12}}{6} x^3 \right] + \frac{C_{42}}{2} x^2 + C_{52} x + C_{62},$$

$$u_2(x) = \gamma_{32} \psi_2 + \frac{1}{\alpha_{22}} \left[-a_{21}^+ L_2^{-1}(p) + a_7^+ L_3^{-1}(q) + \frac{a_7^+}{2} C_{12} x^2 \right] + C_{72} x + C_{82}. \tag{6}$$

где C_{12}, \dots, C_{82} – константы интегрирования;

$$\text{функция } g_2(x) = \gamma_{22}p + \gamma_{12} \left(\int_0^x q dx + C_{12} \right);$$

$$\text{параметры } \beta_2^2 = \frac{a_3^+ G_{xz}^{(3)} c \cdot \alpha_{22}}{\alpha_{22} \alpha_{32} - \alpha_{12}^2} > 0, \quad \gamma_{12} = \frac{a_3^+ \alpha_{12}}{\alpha_{22} \alpha_{32} - \alpha_{12}^2}, \quad \gamma_{22} = \frac{a_6^+ \alpha_{22} - a_7^+ \alpha_{12}}{\alpha_{22} \alpha_{32} - \alpha_{12}^2}, \quad \gamma_{32} = \frac{a_{17}^+ a_7^+ - a_{21}^+ a_6^+}{\alpha_{22}},$$

$$\alpha_{22} \alpha_{32} - \alpha_{12}^2 \neq 0, \quad \alpha_{12} = a_3^+ a_{17}^+ - a_6^+ a_7^+, \quad \alpha_{22} = a_3^+ a_{21}^+ - (a_7^+)^2, \quad \alpha_{32} = a_3^+ a_{24}^+ - (a_6^+)^2.$$

Искомое решение исходной системы (2) можно записать в виде:

$$\psi(x) = \psi_1(x) + (\psi_2(x) - \psi_1(x))H(x - x_0),$$

$$u(x) = u_1(x) + (u_2(x) - u_1(x))H(x - x_0),$$

$$w(x) = w_1(x) + (w_2(x) - w_1(x))H(x - x_0), \tag{7}$$

где $\psi_1(x), \psi_2(x), u_1(x), u_2(x), w_1(x), w_2(x)$ – перемещения определяемые решениями (4), (6).

Константы интегрирования $C_{11}, \dots, C_{81}, C_{12}, \dots, C_{82}$ определяются из 8 граничных условий на торцах пластины и дополнительных 8 условий равенства перемещений и их производных в сечении $x = x_0$, где изменяется ее толщина:

$$\langle \psi_2(x) - \psi_1(x) \rangle_{x=x_0} = 0, \quad \langle \psi_{2,x}(x) - \psi_{1,x}(x) \rangle_{x=x_0} = 0,$$

$$\langle \psi_{2,xx}(x) - \psi_{1,xx}(x) \rangle_{x=x_0} = 0, \quad \langle w_2(x) - w_1(x) \rangle_{x=x_0} = 0,$$

$$\langle w_{2,x}(x) - w_{1,x}(x) \rangle_{x=x_0} = 0, \quad \langle w_{2,xx}(x) - w_{1,xx}(x) \rangle_{x=x_0} = 0,$$

$$\langle u_2(x) - u_1(x) \rangle_{x=x_0} = 0, \quad \langle u_{2,x}(x) - u_{1,x}(x) \rangle_{x=x_0} = 0. \tag{8}$$

В случае жесткой заделки правого торца пластины при свободном левом торце граничные условия имеют вид:

$$x=0: \psi_1 = N_1 = M_1 = M_{1,x} = 0; \quad x=l: w_2 = w_{2,x} = u_2 = \psi_2 = 0. \quad (9)$$

Если пластина защемлена по обоим торцам, то должны выполняться условия:

$$x=0, l: u_{(1,2)} = \psi_{(1,2)} = w_{(1,2)} = w_{x(1,2)} = 0. \quad (10)$$

В формулах (9–10) нижний индекс указывает область применения искомого решения.

Таким образом, соотношения (7), с учетом условий сопряжения (8) и граничных условий (9–11) позволяют вычислять перемещения в трехслойной композитной пластине со ступенчато-переменной толщиной при цилиндрическом изгибе.

Численные результаты получены для трехслойной пластины $l_x = 1$ м, несущие слои которой (1, 2) – высокопрочные углеродные волокна на эпоксидном связующем, материал накладке (3) – борные волокна на эпоксидном связующем, наполнитель (3) – фторопласт (ПТФЭ). Механические характеристики используемых материалов (Па): $E_x^{(1,2)} = 1,256 \cdot 10^{11}$, $E_x^{(3)} = 2,105 \cdot 10^{11}$,

$$\begin{aligned} E_x^{(3)} &= 268,29 \cdot 10^6, \\ v_{yx}^{(3)} = v_{xy}^{(3)} &= 0,49, \quad v_{xy}^{(1,2)} = 0,27, \\ v_{yx}^{(1,2)} &= 0,02, \quad v_{xy}^{(s)} = 0,21, \quad v_{yx}^{(s)} = 0,02, \\ G_{xz}^{(3)} &= 90 \cdot 10^6. \end{aligned}$$

Геометрические характеристики: $c = 0,09$, $h_1 = 0,03$, $h_2 = 0,01$, $h_s = 0,01$; координата начала накладке $x_0 = 0,5$, если другое не указано; Интенсивность нагрузки $q = -1$ МПа. При вычислениях использовался пакет Maple.

На рисунке 2 показано изменение величины и формы a – прогиба w , b – относительного сдвига ψ и σ – продольного перемещения u вдоль оси x , консольно закрепленной пластины, в зависимости от толщины накладке:

1 – $h_s = 0$; 2 – $h_s = 0,01$; 3 – $h_s = 0,02$. Ее появление уменьшает прогиб на 17 %, сдвиг уменьшается незначительно, продольные перемещения – примерно в 9 раз.

Рисунок 3 показывает изменение нормальных напряжений по толщине пластины $\sigma^{(k)}$ [Па] (a – на правом торце ($x = l$), b – на левом торце ($x = 0$)) в зависимости от координат начала ступеньки x_0 : 1 – $x_0 = 1$ (без накладке); 2 – $x_0 = 0,5$; 3 – $x_0 = 0$ (накладка по всему нижнему слою). Граничные условия соответствуют жесткой заделке обоих торцов. На торцах пластины появление накладке уменьшает напряжения примерно на 30 % в верхнем слое; в наполнителе – сдвигает напряжения к положению симметрии; в нижнем слое напряжения разрывные за счет другого материала накладке. Графики 2, 3 на правом торце, соответствующие наличию накладке, близки. На левом торце близки графики 1, 2, соответствующие отсутствию накладке. Накладка на половину поверхности нижнего слоя приводит к уменьшению напряжений на правом торце, практически не изменяя их на левом.

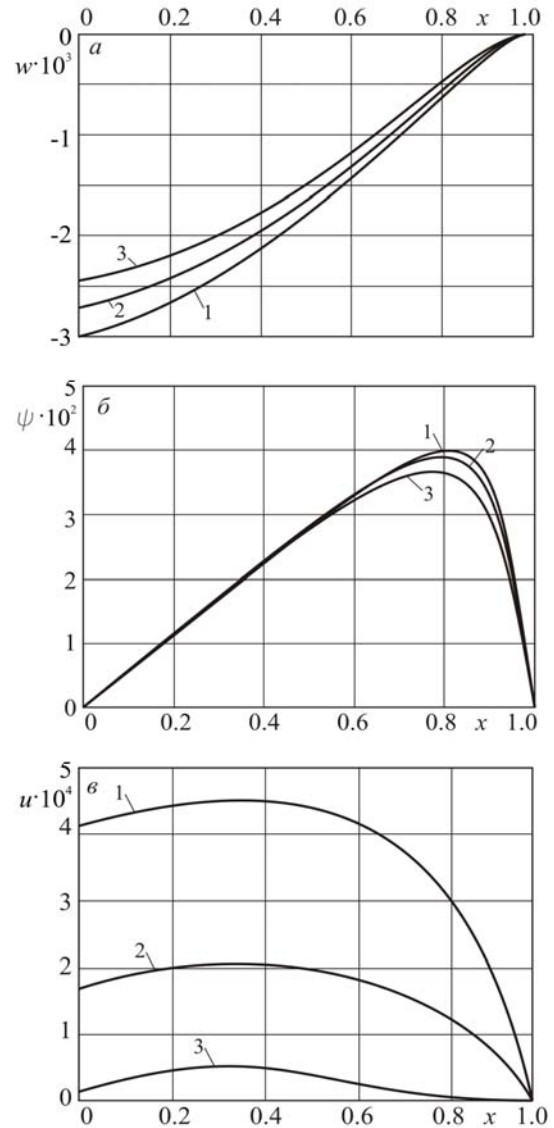


Рисунок 2 – Перемещения в трехслойной пластине при консольном закреплении ее правого торца

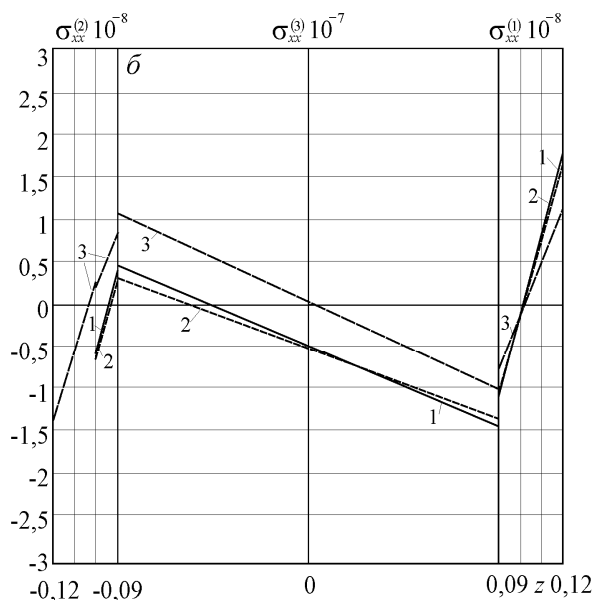
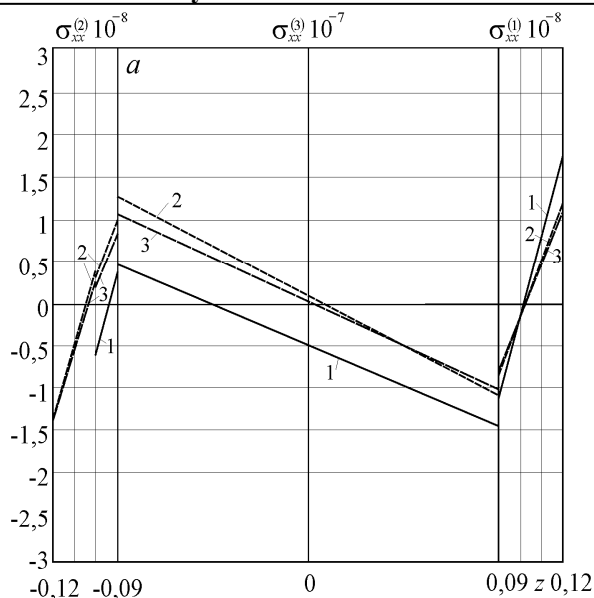


Рисунок 3 – Изменение нормальных напряжений по толщине пластины при жесткой заделке обоих торцов

Выводы. Из полученных результатов следует, что, применяя в конструкциях усиливающую накладку незначительной толщины, но имеющую большую жесткость по отношению к материалам несущих слоев, можно добиться уменьшения перемещений на 17–27% и напряжений на 30%.

Приведенный метод решения задачи о цилиндрическом изгибе трехслойных анизотропных пластин позволяет получать достаточно точные для инженерной практики параметры напряженно-деформированного состояния трехслойных конструкций, набранных из композиционных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jeon, J. S. Bending of tapered anisotropic sandwich plates with arbitrary edge conditions / J. S. Jeon, C. S. Hong // AIAA Journal. - 1992. - N 7. - P. 1762–1769.
2. Katori, H. Shear deflection of anisotropic plate / H. Katori, T. Nishimura // Нихон кикай гаккай ромбунсю. Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. A. - 1992. - N 545. - P. 133–139.
3. Ворович, И. И. Математические проблемы нелинейной теории пологих оболочек /И.И. Ворович. - М.: Наука, 1989. – 373 с.
4. Старовойтов, Э.И. Деформирование трехслойных элементов конструкций на упругом основании /Э.И. Старовойтов, А.В. Яровая, Д.В. Леоненко.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 380 с.
5. Starovoitov, E.I. Vibration of circular sandwich plates under resonance loads / E.I. Starovoitov, D.V. Leonenko, A.V. Yarovaya // International Applied Mechanics. – 2003. – Т. 39. – N 12. P. 1458–1463.
6. Горшков, А.Г. Колебания трехслойных стержней под действием локальных нагрузок различных форм /А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, Д.В. Леоненко // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2004. – № 1. – С. 45–52.

7. Деформирование круговой трехслойной пластины на упругом основании /А.Г. Горшков, Э.И. Старовойтов, А.В. Яровая, Д.В. Леоненко // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2005. – № 1. – С. 16–22.

8. Старовойтов, Э.И. Термоупругий изгиб кольцевой трехслойной пластины на упругом основании / Э.И. Старовойтов, Д.В. Леоненко, М. Сулейман // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2006. – № 4. – С. 55–62.

9. Леоненко, Д.В. Колебания трехслойного стержня под действием импульсных нагрузок различных форм / Д.В. Леоненко // Материалы, технологии, инструменты. – 2004. – Т. 9, № 2. – С. 23–27.

10. Леоненко, Д.В. Радиальные собственные колебания упругих трехслойных цилиндрических оболочек / Д.В. Леоненко //Механика машин, механизмов и материалов. – 2010. – № 3, (12).– С. 53–56.

11. Леоненко, Д.В. Вынужденные колебания трехслойного стержня на упругом безынерционном основании / Д.В. Леоненко //Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2007. – № 3. – С. 70–74.

12. Старовойтов, Э.И. Напряженно-деформированное состояние прямоугольной трехслойной композитной пластины / Э.И. Старовойтов, И.И. Протуро // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 1 (18). – С. 34–38.

Старовойтов Эдуард Иванович

Белорусский государственный университет транспорта
доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой «Строительная механика»
246653, Беларусь, г. Гомель, ул. Кирова, 34
Тел. моб.: (+37529) 358-20-68
E-mail: edstar@mail.by

Тарлаковский Дмитрий Валентинович

Московский государственный авиационный институт
доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой «Сопrotивление материалов»
125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4. МАИ
E-mail: tdv902@mai.ru

E.I. STAROVOITOV, D.V. TARLAKOVSKY

STRESS-STRAIN CONDITION OF A THREE-LAYER ORTHOTROPIC PLATE WITH THE STRENGTHENING ONLAY

The cylindrical bending of an elastic three-layer orthotropic plate with stepwise-variable thickness is considered. For the description of kinematics of asymmetrical package the hypothesis of a broken normal is accepted. By means of a variation principle of Lagrange the system of the differential equations for displacements is received. Its analytical decision with various boundary conditions taking into account discontinuity in initial section of an onlay is received. The parametric analysis of deformations and stresses in plate is made.

Keywords: deformation, three-layer plate, orthotropic material, tapered thickness

BIBLIOGRAPHY

1. Jeon, J. S. Bending of tapered anisotropic sandwich plates with arbitrary edge conditions / J. S. Jeon, C. S. Hong // AIAA Journal. - 1992. - N 7. - P. 1762–1769.
2. Katori, H. Shear deflection of anisotropic plate / H. Katori, T. Nishimura // Nihon kikai gakkai rombunshu. Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. A. - 1992. - N 545. - P. 133–139.
3. Vorovich, I. I. Matematicheskie problemy nelinejnoj teorii pologih obolochek / I.I. Vorovich. -M.: Nauka, 1989. – 373 s.
4. Starovojtov, Je.I. Deformirovanie trehslojnyh jelementov konstrukcij na uprugom osnovanii /Je.I. Starovojtov, A.V. Jarovaja, D.V. Leonenko.- M.: FIZMATLIT, 2006. – 380 s.
5. Starovoitov, E.I. Vibration of circular sandwich plates under resonance loads / E.I. Starovoitov, D.V. Leonenko, A.V. Yarovaya // International Applied Mechanics. – 2003. – T. 39. – N 12. P. 1458–1463.
6. Gorshkov, A.G. Kolebanija trehslojnyh sterzhnej pod dejstviem lokal'nyh nagruzok razlichnyh form /A.G. Gorshkov, Je.I. Starovojtov, D.V. Leonenko // Jekologicheskij vestnik nauchnyh centrov Chernomor-skogo jekonomicheskogo sotrudnichestva. – 2004. – № 1. – S. 45–52.
7. Deformirovanie krugovoj trehslojnoj plastiny na uprugom osnovanii /A.G. Gorshkov, Je.I. Starovojtov, A.V. Jarovaja, D.V. Leonenko // Jekologicheskij vestnik nauchnyh centrov Chernomorskogo jekonomicheskogo sotrudnichestva. – 2005. – № 1. – S. 16–22.
8. Starovojtov, Je.I. Termouprugij izgib kol'cevoj trehslojnoj plastiny na uprugom osnovanii / Je.I. Starovojtov, D.V. Leonenko, M. Sulejman // Jekologicheskij vestnik nauchnyh centrov Chernomorskogo jekonomicheskogo sotrudnichestva. – 2006. – № 4. – S. 55–62.
9. Leonenko, D.V. Kolebanija trehslojnogo sterzhnja pod dejstviem impul'snyh nagruzok razlichnyh form / D.V. Leonenko // Materialy, tehnologii, instrumenty. – 2004. – T. 9, № 2. – S. 23–27.
10. Leonenko, D.V. Radial'nye sobstvennye kolebanija uprugih trehslojnyh cilindricheskikh obolochek / D.V. Leonenko //Mehanika mashin, mehanizmov i materialov. – 2010. – № 3, (12).– S. 53–56.
11. Leonenko, D.V. Vynuzhdennye kolebanija trehslojnogo sterzhnja na uprugom bezynercionnom osnovanii / D.V. Leonenko //Problemy mashinostroenija i avtomatizacii. – 2007. – № 3. – S. 70–74.
12. Starovojtov, Je.I. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie prjamoougol'noj trehslojnoj kompozitnoj plastiny / Je.I. Starovojtov, I.I. Proturo // Vestnik grazhdanskich inzhenerov. – 2009. – № 1 (18). – S. 34–38.

Starovoitov Edward I.

Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor
Head Department "Structural Mechanics" of the Belarusian State University of Transport
246653, Belarus, Gomel, Kirov, 34
Tel. mob.: (+37529) 358-20-68
E-mail: edstar@mail.by

Tarlakovsky Dmitry V.

Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor
Head Department "Strength of Materials"
Moscow Aviation Institute
125993, Moscow, A-80, GSP-3, Volokolamsk Highway 4. MAI
E-mail: tdv902@mai.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 624.01

М.Б. БОРОДИНА, С.В.МИРОНЕНКО, Б.А.ШЕВЧЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАБОТЫ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ МУФТЫ С ПЛАНЕТАРНЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ПЕРЕДАТОЧНЫМ МЕХАНИЗМОМ

В статье рассматривается создание математической модели динамических процессов гидромеханической муфты с дифференциальным передаточным механизмом винт-гайка. Теоретические исследования на базе предлагаемой математической модели позволят выбрать рациональные параметры муфты и обосновать повышение эффективности защиты привода при использовании предлагаемой муфты.

Ключевые слова: гидромеханическая муфта, динамические нагрузки, защита привода, планетарный дифференциальный передаточный механизм, математическая модель.

В настоящее время актуальной является проблема демпфирования высокоинтенсивных нагрузок импульсного характера тяжело нагруженных машин металлургической и горной промышленности. Высокая динамика, обусловленная технологией производства, либо нарушением режимов работы оборудования весьма часто приводит к появлению в системе механизмов таких нагрузок, которые негативно отражаются на надежности оборудования. Данная проблема может быть решена путем разработки и внедрения в трансмиссии таких машин гидромеханических предохранительных муфт, в которых передача момента с ведущей полумуфты на ведомую осуществляется зацеплением [1, 2].

Одной из наиболее перспективных муфт является гидромеханическая муфта с планетарным дифференциальным передаточным механизмом [3]. Потенциальные возможности гидромеханических муфт с планетарным дифференциальным передаточным механизмом достаточно велики, но исследований динамики работы не проводилось и нет данных об их практическом применении. Недостаточная разработка теории предохранительных гидромеханических муфт, малая изученность переходных процессов и отсутствие опыта их создания препятствуют широкому применению предохранительных муфт такого типа в металлургической и горной промышленности.

Планетарный механизм передаёт момент \dot{I}_{ID} от приводного вала, связанного с ведомой полумуфтой 1 (рисунок1), на вал технологической машины 2, нагруженный моментом сопротивления M_C , Со стороны гидромашины (шестеренчатый насос), через шестерню 22, к коронному колесу 20 приложен момент $\dot{I}_{\bar{A}}$, который зависит от давления в гидросистеме. На коронное колесо 20, сателлиты 18, ведущий 1 и ведомый 2 вал муфты действуют моменты трения в подшипниковых узлах: $M_{i\bar{o}i}^{\dot{O}}$, M_{cam}^T , $M_1^{\dot{O}}$, $M_2^{\dot{O}}$.

Момент от привода \dot{I}_{ID} определяется с помощью уравнений динамики работы электродвигателя на линейном участке характеристики ($M_{ЭД} < 0,8 \cdot M_K$): $M_{ЭД} = \beta \cdot (\omega_0 - \omega_1)$, где: β - модуль жёсткости линеаризованной механической характеристики [4]; ω_0 - угловая скорость не нагруженного вала электродвигателя; ω_1 - текущее значение угловой скорости вала электродвигателя.

С учётом редуктора момент, передаваемый от привода к винту:

$$M_{ID} = i_{\bar{a}\bar{a}\bar{a}}^2 \cdot \beta \cdot \left(\frac{\omega_0}{i_{\bar{a}\bar{a}\bar{a}}} - \dot{\varphi}_1 \right), \quad (1)$$

где $i_{ред}$ - передаточное отношение редуктора;

$\dot{\varphi}_1$ - угловая скорость приводного вала.

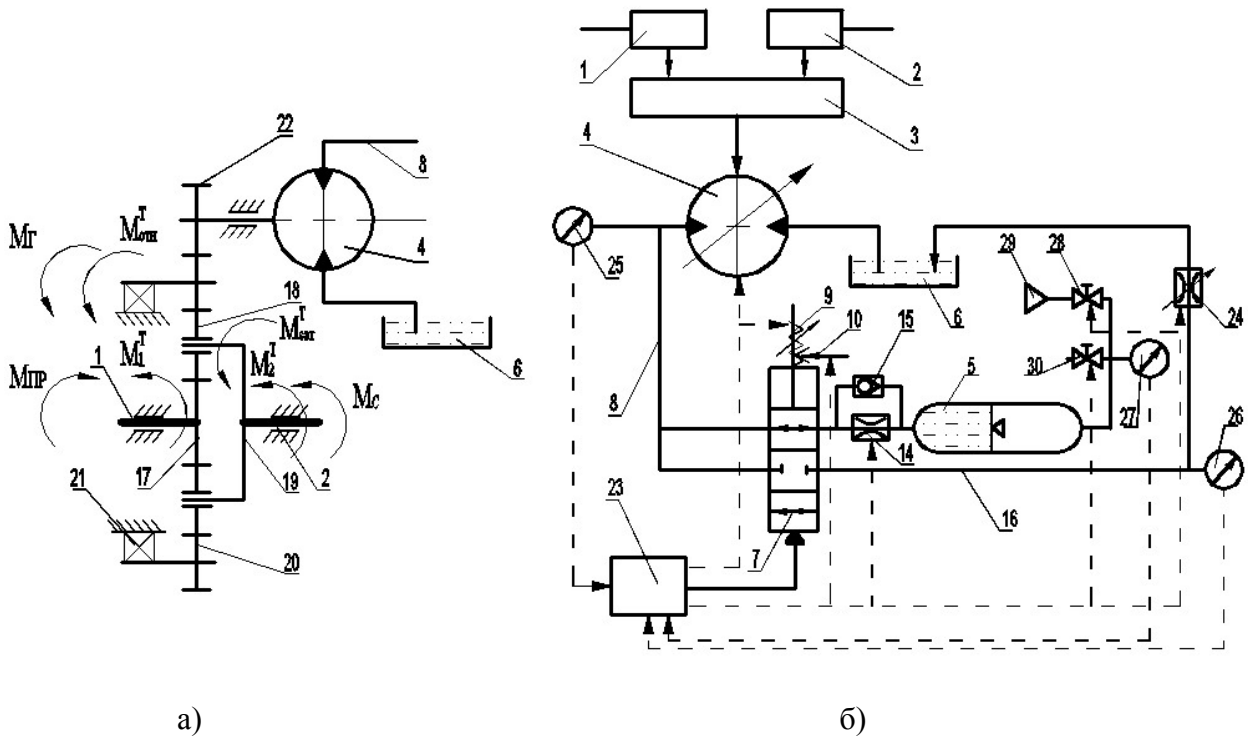


Рисунок 1 – Гидромеханическая муфта с планетарным дифференциальным передаточным механизмом

а) планетарный механизм; б) гидросхема муфты

- 1, 2 – полумуфты; 3 – передаточный механизм; 4 – гидромашина; 5 – гидроневмодемфер;
 6 – слив; 7 – гидрораспределитель; 8, 16 – гидролинии; 9 – упругий элемент; 10 – фиксатор;
 14 – гидродрессель; 15 – обратный клапан; 17 – солнечное колесо; 18 – сателлиты; 19 – водило;
 20 – коронное колесо; 21 – подшипник; 22 – шестерня; 23 – система управления;
 24 – управляемый гидродрессель; 25, 26, 27 – датчики давления; 28, 30 – вентили;
 29 – источник высокого давления газа

На данном этапе исследований для определения упругого момента со стороны гидросистемы $\dot{I}_{\dot{A}}$, процесс сжатия газа, происходящий в гидроневмодемфере, считаем изотермическим:

$$p \cdot V = p_0 \cdot V_0, \quad (2)$$

где p_0, V_0 - давление и объём, занимаемый газом, в гидроневмодемфере до начала работы машины;

p - текущее давление в гидроневмодемфере;

$V = V_0 - V_T$ - текущий объём, занимаемый газом, в гидроневмодемфере;

$V_{\dot{A}} = m^2 \cdot b \cdot z \cdot \varphi_{\dot{A}\dot{N}}$ - объём жидкости, вытесненный в гидроневмодемфер, так как рабочий объём шестерённой гидромашины с внешним зацеплением может быть определён по формуле [5] $q = 2 \cdot \pi \cdot m^2 \cdot b \cdot z$,

$\varphi_{\dot{A}\dot{N}}$ - угол поворота вала гидромашины;

m - модуль зубчатого зацепления;

b - ширина шестерни;

z - число зубьев шестерённой гидромашины, под которым понимается число зубьев на одной шестерне.

Из уравнения (2) выразим давление в гидросистеме:

$$p = \frac{p_0 \cdot V_0}{V_0 - m^2 \cdot b \cdot z \cdot \varphi_{ГС}} = p_0 + \frac{p_0 \cdot m^2 \cdot b \cdot z}{V_0 - m^2 \cdot b \cdot z \cdot \varphi_{ГС}} \cdot \varphi_{ГС}$$

Тогда момент, действующий на вал гидромашины $M_{\dot{A}}$:

$$M_{\dot{A}} = p \cdot S_{\dot{A}} \cdot r = \frac{2 \cdot p_0 \cdot V_0 \cdot b \cdot h \cdot r}{V_0 - m^2 \cdot b \cdot z \cdot \varphi_{\dot{A}\dot{N}}}, \quad (3)$$

где $S_{Г}$ - площадь поверхности зубьев;

r - радиус делительной окружности шестерней гидромашины.

На данном этапе исследований представим гидросистему, как упругий элемент, тогда:

$$M_{\dot{A}} = \dot{I}_{\dot{A}0} + \tilde{n} \cdot \varphi_{\dot{A}\dot{N}},$$

где $M_{\dot{A}0}$ - момент, создаваемый начальным давлением в гидросистеме 3;

$c = \frac{p_0 \cdot m^2 \cdot b \cdot z \cdot S_{Г} \cdot r}{V_0 - m^2 \cdot b \cdot z \cdot \varphi_{ГС}}$ - переменная жёсткость гидropневмодемпфера гидросистемы.

$$\varphi_{ГС} = \varphi_{отн} \cdot \frac{z_3}{z_{III}} = \varphi_{отн} \cdot l,$$

где $\varphi_{\dot{i}\dot{o}i}$ - угол поворота коронного колеса

С учетом этого:

$$M_{\dot{A}} = \dot{I}_{\dot{A}0} + \tilde{n} \cdot l \cdot \varphi_{\dot{i}\dot{o}i} \quad (4)$$

В подшипниках коронного колеса действует момент трения [6]:

$$M_{отн.}^T = f_{отн.} \cdot F_t \cdot r_{Вкор},$$

где $r_{Вкор}$ - радиус вала под подшипник коронного колеса;

$F_t = F_r \cdot \operatorname{tg} \alpha$ - осевое усилие в подшипнике ($\alpha = 20^\circ$ - угол профиля зуба);

$f_{\dot{i}\dot{o}i} = 0,005$ - коэффициент трения в опорном подшипнике.

$F_r = \frac{2K_c T_a}{C d_a} = \frac{2K_c}{C \cdot d_a} \cdot (M_{Г0} + c \cdot l \cdot \varphi_{отн.})$ - радиальное усилие в подшипнике

$\hat{E}_{\dot{N}}$ - коэффициент неравномерности распределения нагрузки между сателлитами;

C - число сателлитов;

d_a - делительный диаметр сателлита;

\dot{O}_a - момент, передаваемый сателлитами.

$$M_{отн.}^T = f_{отн.} \cdot \frac{2K_c}{C d_a} \cdot r_{Вкор} \cdot (M_{Г0} + c \cdot l \cdot \varphi_{отн.}) \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

Момент трения, действующий в подшипниках сателлитов:

$$M_{сат.}^T = f_{сат.} \cdot F_r \cdot r_{Всат}$$

$r_{Всат}$ - радиус вала под подшипник;

$f_{\dot{n}\dot{a}\dot{o}} = 0,005$ - коэффициент трения в опорном подшипнике.

$$M_{\dot{n}\dot{a}\dot{o}}^{\dot{O}} = f_{\dot{i}\dot{o}i} \cdot \frac{2K_c}{C d_a} \cdot r_{В\dot{N}\dot{A}\dot{O}} \cdot (M_{\dot{A}0} + c \cdot l \cdot \varphi_{\dot{i}\dot{o}i}) \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (6)$$

Момент трения в опорном подшипнике на ведущем валу 1:

$$M_1^{\dot{\phi}} = \frac{\mu_{i\dot{\phi}} Q d_1}{2}$$

где $\mu_{i\dot{\phi}}$ - приведенный коэффициент трения;

$Q = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot g$ - результирующая нагрузка на подшипник;

m_1 - масса солнечного колеса;

m_2 - масса коронного колеса;

m_3 - масса саттелитов;

g - ускорение свободного падения;

d_1 - диаметр отверстия в подшипнике приводного вала.

$$M_1^{\dot{\phi}} = \frac{\mu_{i\dot{\phi}} (m_1 + m_2 + m_3) \cdot g \cdot d_1}{2} \quad (7)$$

Момент трения в опорном подшипнике на ведомом валу 2:

$$M_2^{\dot{\phi}} = \frac{\mu_{i\dot{\phi}} (m_1 + m_2 + m_3) \cdot g \cdot d_2}{2} \quad (8)$$

где d_2 - диаметр отверстия в подшипнике выходного вала.

Можно выделить следующие движения основных элементов муфты: на входе – вращательное движение приводного вала φ_1 ; на выходе – вращательное движение коронного колеса $\varphi_{i\dot{\phi}}$ и выходного вала φ_2 . Таким образом, математическая модель муфты должна описывать движение системы, имеющей две степени свободы.

Движение элементов муфты опишем с использованием вариационных принципов на основе уравнений Лагранжа второго рода [7]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i \quad (i = 1, 2), \quad (9)$$

где T – кинетическая энергия системы;

q_i - обобщённые координаты;

\dot{q}_i - обобщённые скорости;

Q_i - обобщённые силы;

t - текущее значение времени.

В качестве обобщённых координат выберем вращательное движение выходного вала φ_2 и коронного колеса $\varphi_{i\dot{\phi}}$.

Вращение ведущего колеса выражается через независимые переменные:

$$\dot{\varphi}_1 = k \dot{\varphi}_2 + \frac{z_3}{z_1} \dot{\varphi}_{i\dot{\phi}} = k \dot{\varphi}_2 + (k-1) \dot{\varphi}_{i\dot{\phi}} \quad (10)$$

Кинетическая энергия системы складывается из кинетической энергии вращения ведущей полумуфты T_1 и кинетической энергии ведомой полумуфты T_2 [6].

$$\begin{aligned} \dot{O} = \dot{O}_1 + \dot{O}_2 = & \left(k^2 \cdot \frac{J_{i\dot{\phi}1}}{2} + n \cdot k^2 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{J_{\dot{n}\dot{\phi}0}}{2} + \frac{J_{i\dot{\phi}2}}{2} \right) \cdot \dot{\varphi}_2^2 + \\ & + \left(\frac{J_{i\dot{\phi}1}}{2} \cdot (k-1)^2 + \frac{J_{i\dot{\phi}1i\dot{\phi}}}{2} + n \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{J_{\dot{n}\dot{\phi}0}}{2} \cdot (k-1)^2 \right) \cdot \dot{\varphi}_{i\dot{\phi}}^2 + \\ & + \left(J_{i\dot{\phi}1} + n \cdot J_{\dot{n}\dot{\phi}0} \cdot \frac{z_1}{z_2} \right) \cdot k \cdot (k-1) \cdot \dot{\varphi}_2 \cdot \dot{\varphi}_{i\dot{\phi}} \end{aligned} \quad (11)$$

где $J_{\dot{\varphi}1}, J_{\dot{\varphi}2}, J_{\dot{\varphi}1\dot{\varphi}2}$ - моменты инерции приводного вала, водила с саттелитами и коронного колеса; $\dot{\varphi}_{омн}, \dot{\varphi}_2$ - угловые скорости коронного колеса и водила.

Обобщённые силы Q_i :

для обобщённой координаты $\varphi_{омн}$:

$$Q_1 = \frac{\delta A_1}{\delta \varphi_{омн}} = \left(M_{np} - M_1^T - M_{cam}^T \frac{z_1}{z_2} \right) \cdot (k-1) - (M_{Г0} \mp M_{омн}^T) \quad (12)$$

для обобщённой координаты φ_2 :

$$Q_2 = \frac{\delta A_2}{\delta \varphi_2} = \left(M_{np} - M_1^T - M_{cam}^T \frac{z_1}{z_2} \right) \cdot k - (M_C + M_2^T) \quad (13)$$

Тогда динамику работы муфты описываем с помощью уравнений (9,11-13), с учётом (1,4-8) системой:

$$\left\{ \begin{aligned} & \left(J_{np1} \cdot (k-1)^2 + J_{np,отн} + n \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot J_{сат} \cdot (k-1)^2 \right) \cdot \ddot{\varphi}_{омн} + \left(J_{np1} + n \cdot J_{сат} \cdot \frac{z_1}{z_2} \right) \cdot k \cdot (k-1) \cdot \ddot{\varphi}_2 = \\ & = \left(i^2 \cdot \beta \cdot \left(\frac{\omega_0}{i_{ред}} - \dot{\varphi}_1 \right) - \frac{\mu_{np}(m_1 + m_2 + m_3) \cdot g \cdot d_1}{2} - f_{cam} \cdot \frac{2K_C}{Cd_a} \cdot (M_{Г0} + c \cdot l \cdot \varphi_{омн}) \cdot r_{BCAT} \cdot \frac{z_1}{z_2} \right) \cdot \\ & \cdot (k-1) - \left(M_{Г0} + c \cdot l \cdot \varphi_{отн} \mp f_{омн} \cdot \frac{2K_C}{Cd_a} \cdot (M_{Г0} + c \cdot l \cdot \varphi_{омн}) \cdot r_{BCOЛH} \right) \\ & \left(k^2 \cdot J_{np1} + n \cdot k^2 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot J_{сат} + J_{np2} \right) \ddot{\varphi}_2 + \left(J_{np1} + n \cdot J_{сат} \cdot \frac{z_1}{z_2} \right) \cdot k \cdot (k-1) \cdot \ddot{\varphi}_{отн} = \\ & = \left(i^2 \cdot \beta \cdot \left(\frac{\omega_0}{i_{ред}} - \dot{\varphi}_1 \right) - \frac{\mu_{np}(m_1 + m_2 + m_3) \cdot g \cdot d_2}{2} - f_{cam} \cdot \frac{2K_C}{Cd_a} \cdot (M_{Г0} + c \cdot l \cdot \varphi_{омн}) \cdot r_{BCAT} \cdot \frac{z_1}{z_2} \right) \cdot k - \\ & - \left(M_C + \frac{\mu_{np}(m_1 + m_2 + m_3) \cdot g \cdot d_2}{2} \right) \end{aligned} \right.$$

Подставив уравнение (10) в уравнения системы и, преобразовав систему, получим:

$$\left\{ \begin{aligned} & \left(J_{np1} \cdot (k-1)^2 + J_{np,отн} + n \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot J_{сат} \cdot (k-1)^2 \right) \cdot \ddot{\varphi}_{омн} + \left(J_{np1} + n \cdot J_{сат} \cdot \frac{z_1}{z_2} \right) \cdot k \cdot (k-1) \cdot \ddot{\varphi}_2 + \\ & + i^2 \cdot \beta \cdot k \cdot (k-1) \cdot \dot{\varphi}_2 + i^2 \cdot \beta \cdot (k-1)^2 \cdot \dot{\varphi}_{омн} + \\ & + c \cdot l \cdot \left(f_{cam} \cdot \frac{2K_C}{Cd_a} \cdot r_{BCCA} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot (k-1) + 1 \mp f_{омн} \cdot \frac{2K_C}{Cd_a} \cdot r_{BCCOC} \right) \cdot \varphi_{омн} = \\ & = \left(i^2 \cdot \beta \cdot \frac{\omega_0}{i_{ред}} - \frac{\mu_{np}(m_1 + m_2 + m_3) \cdot g \cdot d_1}{2} - f_{cam} \cdot \frac{2K_C}{Cd_a} \cdot M_{Г0} \cdot r_{BCCA} \cdot \frac{z_1}{z_2} \right) \cdot (k-1) - \\ & - \left(M_{Г0} \mp f_{омн} \cdot \frac{2K_C}{Cd_a} \cdot M_{Г0} \cdot r_{BCCOL} \right) \\ & \left(k^2 \cdot J_{np1} + n \cdot k^2 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot J_{сат} + J_{np2} \right) \ddot{\varphi}_2 + \left(J_{np1} + n \cdot J_{сат} \cdot \frac{z_1}{z_2} \right) \cdot k \cdot (k-1) \cdot \ddot{\varphi}_{отн} + \\ & + k \cdot i^2 \cdot \beta \cdot (k-1) \cdot \dot{\varphi}_{отн} + k \cdot i^2 \cdot \beta \cdot k \cdot \dot{\varphi}_2 - k \cdot f_{cam} \cdot \frac{2K_C}{Cd_a} \cdot c \cdot l \cdot r_{BCAT} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \varphi_{омн} = \\ & = k \cdot i^2 \cdot \beta \cdot \frac{\omega_0}{i_{ред}} - k \cdot \frac{\mu_{np}(m_1 + m_2 + m_3) \cdot g \cdot d_2}{2} - \\ & - k \cdot f_{cam} \cdot \frac{2K_C}{Cd_a} \cdot M_{Г0} \cdot r_{BCAT} \cdot \frac{z_1}{z_2} - \left(M_C + \frac{\mu_{np}(m_1 + m_2 + m_3) \cdot g \cdot d_2}{2} \right) \end{aligned} \right.$$

Разработанная математическая модель динамики работы гидромеханической муфты с планетарным дифференциальным механизмом содержит в себе обыкновенные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами, которые могут быть решены на этапах установившегося движения, аварийного срабатывания и демпфирования колебательной нагрузки аналитически, а на этапах разгона (уравнения, описывающие движущий момент изменятся) и демпфирования сложных технологических нагрузок M_c – численными методами при помощи компьютерного математического пакета MathCAD.

Решение полученных уравнений при различных режимах работы механизма позволит подобрать рациональные конструктивные параметры исследуемой муфты и параметры настройки гидросистемы, учитывающие особенности работы конкретного механизма, привод которого будет защищать муфта. Это повысит эффективность защиты приводов тяжело нагруженных металлургических машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородина, М.Б. Комплексные исследования динамики предохранительной муфты с гидромеханическим исполнительным механизмом / М.Б. Бородина, Л.А. Савин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. - № 4. – 2010. - С. 20-27.
2. Бородина, М.Б. Динамика работы гидромеханической муфты с управляемым параметром / М.Б. Бородина, Л.А. Савин, К.А. Булавин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. - № 3-2. – 2013. - С. 44-49.
3. Бородина, М.Б. Адаптивные гидромеханические устройства мехатронных роторных систем / М.Б. Бородина, Л.А. Савин // *Известия Юго-Западного государственного университета*. - № 1. - 2013. - С.151-155.
4. Ключев, В.И. Теория электропривода: Учебник для ВУЗов /В.И. Ключев. – 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1998. - С. 205-212.
5. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы. Справочник / В.К. Свешников, А.А. Усов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1988. - 512 с.
6. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: Учебное пособие для технических специальностей вузов /П.Ф. дунаев, О.П. Леликов. – М.: Высшая школа, 2000. – 447с.
7. Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики. Т. 2. Динамика /Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – М.: Наука, 1971. – 464 с.

Бородина Марина Борисовна

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

Должность: доцент

Телефон: +7 910-369-71-21

E-mail: borodina_marina@mail.ru

Мироненко Станислав Викторович

Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

Должность: аспирант

Телефон: +7 952-422-08-98

E-mail: ironenko.stanislaw@yandex.ru

Шевченко Борис Андреевич

Старооскольский технологический институт им.А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

Должность: доцент

Телефон: +7 952-439-90-63

E-mail: boranshev@gmail.com

M.B.BORODINA, S.V.MIRONENKO, B.A.SHEVCHENKO

MODELING OF DYNAMICS OF THE HYDROMECHANICAL COUPLING WITH A PLANETARY DIFFERENTIAL MECHANISM

The report discusses the creation of the mathematical models of dynamic processes of hydro-mechanical coupling with the planetary differential gear mechanism. Theoretical studies on the basis of the mathematical model will allow select rational parameters of the coupling and prove increasing the efficiency of protection of the actuator, using the proposed coupling.

Keywords: *hydromechanical coupling, dynamic loads, the protection of the actuator, planetary differential gear, mathematical model.*

BIBLIOGRAPHY

1. Borodina, M.B. Kompleksnye issledovanija dinamiki predohranitel'noj mufty s gidromehaničeskim ispolnitel'nym mehanizmom / M.B. Borodina, L.A. Savin // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - № 4. – 2010. - S. 20-27.
2. Borodina, M.B. Dinamika raboty gidromehaničeskoj mufty s upravljaemym parametrom / M.B. Borodina, L.A. Savin, K.A. Bulavin // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - № 3-2. – 2013. - S. 44-49.
3. Borodina, M.B. Adaptivnye gidromehaničeskie ustrojstva mehatronnyh rotornyh sistem / M.B. Borodina, L.A. Savin // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. - № 1. - 2013. - S.151-155.
4. Ključev, V.I. Teorija jelektroprivoda: Učebnik dlja VUZov /V.I. Ključev. – 2-e izd. pererab. i dop. - M.: Jenergoatomizdat, 1998. - S. 205-212.
5. Sveshnikov, V.K. Stanochnye gidroprivody. Spravočnik / V.K. Sveshnikov, A.A. Usov. - 2-e izd , pererab. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1988. - 512 s.
6. Dunaev, P.F. Konstruirovanie uzlov i detalej mashin: Učebnoe posobie dlja tehničeskikh special'nostej vuzov /P.F. dunaev, O.P. Lelikov. – M.: Vysshaja shkola, 2000. – 447s.
7. Butenin, N.V. Kurs teoretičeskoj mehaniki. T. 2. Dinamika /N.V. Butenin, Ja.L. Lunc, D.R. Merkin. – M.: Nauka, 1971. – 464 s.

Borodina Marina Borisovna

Starooskolsky institute of technology of A.A.Ugarov, branch of National research university "MISIS"

Post: Associate Professor

Tel: +7 910-369-71-21

E-mail: borodina_marina@mail.ru

Mironenko Stanislav Viktorovich

Starooskolsky institute of technology of A.A.Ugarov, branch of National research university "MISIS"

Post: graduate student

Tel: +7 952-422-08-98

E-mail: mironenko.stanislaw@yandex.ru

Shevchenko Boris Andreevich

Starooskolsky institute of technology of A.A.Ugarov, branch of National research university "MISIS"

Post: Associate Professor

Tel: +7 952-439-90-63

E-mail: boranshev@gmail.com

УДК 669.1

Л.Н. КОРОЛЬКОВА, Л.П. ПЕТРОВА, О.И. МАЛАХОВА

К ВОПРОСУ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЯЧЕГО ВОЗДУХА ИЗ ЗОНЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ОБЖИГА ДЛЯ СУШКИ И ОБЖИГА САНИТАРНО-КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В статье рассматриваются вопросы использования горячего воздуха, отходящего из зон охлаждения туннельной печи в условиях цеха санитарно-керамических изделий Объединения строительных материалов и бытовой техники. В настоящее время горячий воздух отводится в тракт дымовых газов и выбрасывается в окружающую среду. В связи с этим возникла необходимость вернуть физическое тепло в технологический процесс. Для этой цели были проведены теоретические исследования, которые показали возможность использования тепла горячего воздуха для горения топлива и сушки керамических изделий. Проведенные расчеты доказали целесообразность предлагаемых технических решений: использование стального трубопровода для отвода воздуха из зон охлаждения к сушилке; использование горячего воздуха в зоне обжига керамических изделий для сжигания топлива в горелочных устройствах.

Ключевые слова: туннельная печь, сушка, обжиг, тепловой баланс, керамические изделия

Введение

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности являются основополагающими факторами развития экономики России. Сбережение энергоресурсов равносильно их производству, и часто именно оно является более рентабельным и экологически ответственным способом обеспечения растущего спроса на энергию [1]. Особенно это актуально и имеет особое значение для предприятий, изготавливающих керамические изделия и относящихся к энергоемким производствам. Только использование инновационных решений может обеспечить качество и конкурентоспособность выпускаемых изделий [2].

Туннельные печи открытого пламени непрерывного действия, которые используются для обжига санитарно-керамических изделий после сушки, имеют большие резервы и открывают существенные потенциальные возможности для повышения их энергетической, технологической и экономической эффективности. Эти возможности заключаются как в оптимизации теплофизических процессов за счет управления технологическими режимами, так и в совершенствовании конструкций самой печи и ее элементов.

Продолжительность цикла обжига зависит от количества толканий и составляет от 14 до 23 часов.

Печь по длине подразделяется на следующие зоны: предварительного нагрева, обжига и охлаждения. Зона предварительного нагрева располагается в первых пяти секциях печи и отапливается тремя группами горелок с регулятором температуры в каждой группе. Зона обжига расположена в трех последующих секциях печи и отапливается тремя группами горелок с регулятором температуры в каждой группе.

Зона охлаждения разделена на зону быстрого охлаждения и зону медленного охлаждения. Охлаждение изделий в зоне быстрого охлаждения производится воздухом, который подается вентилятором под плиты вагонеток и под свод печи, регулировка температуры осуществляется с помощью регулятора. В зоне медленного охлаждения охлаждение также производится воздухом подаваемым вентилятором под плиты вагонеток, вдоль стен и под свод.

Дымовые газы отводятся вентилятором через дымовые каналы в стенах печи в районе 1-3 групп горелок. Нагретый воздух из зон охлаждения отводится вентилятором через 7 каналов в своде печи и естественной тягой в трубу горячего воздуха через 8 каналов в стенах зоны быстрого охлаждения.

Объект и методы исследования

Обжиг санитарно-керамических изделий после сушки производится в туннельной печи открытого пламени непрерывного действия фирмы "Ридхаммер". Вид топлива - природный газ. Продолжительность цикла обжига зависит от количества толканий и составляет от 14 до 23 часов. Обожженные изделия с вагонеток устанавливают на поддоны конвейера для транспортирования их на участок сортировки и упаковки. Туннельная печь «Riedhammer» предназначена для обжига санитарно-керамических изделий и состоит из 14 секций длиной 6 м. Футеровка печи выполнена из огнеупорного войлока типа МКРРХ-150, огнеупорностью 1260°C и 1430°C.

Вагонетки с изделиями передвигаются в печи при помощи гидротолкателя. Продолжительность цикла толкания 17.2 мин. Продолжительность обжига изделий в печи 16 часов.

Печь по длине подразделяется на следующие зоны: предварительного нагрева, обжига и охлаждения. Зона предварительного нагрева располагается в первых пяти секциях печи и отапливается тремя группами горелок с регулятором температуры в каждой группе. Зона обжига расположена в трех последующих секциях печи и отапливается тремя группами горелок с регулятором температуры в каждой группе. Зона охлаждения разделена на зону быстрого охлаждения и зону медленного охлаждения.

Охлаждение изделий в зоне быстрого охлаждения производится воздухом, который подается вентилятором под плиты вагонеток и под свод печи, регулировка температуры осуществляется с помощью регулятора. В зоне медленного охлаждения охлаждение также производится воздухом, подаваемым вентилятором под плиты вагонеток, вдоль стен и под свод.

Нагретый воздух из зон охлаждения отводится вентилятором через 7 каналов в своде печи и естественной тягой в трубу горячего воздуха через 8 каналов в стенах зоны быстрого охлаждения. Загрузка вагонеток и выгрузка их из печи обеспечивается в автоматическом режиме системой транспорта печи, включающей два трансбордера, накопитель из восьми пудей и цепные толкатели на входе и выходе из печи.

Для определения величины потерь тепла уходящего из туннельной печи воздуха был выполнен расчет теплового баланса [1].

Приходные статьи теплового баланса

1. Тепло горения топлива:

$$Q_{\text{т}} = V_{\text{т}} \cdot Q_{\text{н}}$$

где $Q_{\text{н}}$ – теплота сгорания топлива, Дж/м³;
 $V_{\text{т}}$ – расход топлива, м³/ч.

2. Тепло поступающее с вагонетками:

$$Q_{\text{вг}} = n \cdot m_{\text{вг}} \cdot c_{\text{вг}} \cdot t_{\text{вг}}$$

где n – количество вагонеток в час;
 $m_{\text{вг}}$ – масса одной вагонетки, кг;
 $c_{\text{вг}}$ – теплоемкость материала вагонетки, Дж/(кг·К);
 $t_{\text{вг}}$ – температура вагонетки, °С.

3. Тепло, поступающее с изделиями, загружаемыми в печь:

$$Q_{\text{изд}} = P \cdot m_{\text{изд}} \cdot c_{\text{изд}} \cdot t_{\text{изд}}$$

где $m_{\text{вг}}$ – масса всех изделий, кг;
 P – производительность печи, шт/ч;
 $c_{\text{изд}}$ – теплоемкость материала санитарно-керамических изделий, Дж/(кг·К);
 $t_{\text{изд}}$ – температура санитарно-керамических изделий, °С.

4. Тепло, поступающее с воздухом на горение:

$$Q_{\text{в}} = V_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot t_{\text{в}}$$

где $V_{\text{в}}$ – расход воздуха, м³/ч;
 $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);
 $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, °С.

Расходные статьи теплового баланса

1. Потери тепла с уходящими дымовыми газами из зоны подогрева:

$$Q_{уд} = V_{уд} \cdot c_{уд} \cdot t_{уд}$$

где $V_{уд}$ – расход уходящих газов, м³/ч;
 $c_{уд}$ – теплоемкость уходящих газов, Дж/(кг·К);
 $t_{уд}$ – температура уходящих газов, °С.

2. Потери тепла с воздухом из зоны охлаждения:

$$Q_{вз} = V_{вз} \cdot c_{вз} \cdot t_{вз}$$

где $V_{вз}$ – расход воздуха, м³/ч;
 $c_{вз}$ – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);
 $t_{вз}$ – температура воздуха, °С.

3. Потери тепла на испарение физической влаги, содержащейся в изделиях:

$$Q_{ф} = W \cdot (595 + 0.47 \cdot t_{зд}),$$

где $W = P \cdot m \cdot w$ – влажность всех изделий, кг/ч;
 P – производительность, шт/ч;
 m – средняя масса изделия, кг;
 w – влажность одного изделия, доли.

4. Потери тепла на химические реакции:

$$Q_{хр} = G_{хр} \cdot (5A + 6.5C),$$

где $G_{хр}$ – количество абсолютно сухого материала, кг/ч.

5. Потери тепла через ограждающие конструкции печи

$$Q_{к} = (20 + t_{к}^{1.521}) \cdot F_{к}$$

6. Потери тепла с выходящим составом вагонеток:

$$Q_{св} = \pi \cdot m_{св} \cdot c_{св} \cdot t_{св}$$

7. Потери тепла с выходящими изделиями:

$$Q_{изд} = P \cdot m_{изд} \cdot c_{изд} \cdot t_{изд}$$

Результаты и их обсуждение

Результаты расчета теплового баланса сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Сводная таблица статей теплового баланса туннельной печи ЦСКИ

ПРИХОД	кДж	РАСХОД	кДж
Тепло горения топлива	6305950	Потери тепла с уходящими дымовыми газами из зоны подогрева	1232822.86
Тепло поступающее с вагонетками	138621.92	Потери тепла с воздухом из зоны охлаждения: - быстрого	415243.08
Тепло, поступающее с изделиями, загружаемыми в печь	29431.13		- медленного
Тепло, поступающее с воздухом: - на горение	62733.46	Потери тепла на испарение физической влаги, содержащейся в изделиях	29364.27
	- под свод	29047.01	Потери тепла на химические реакции
- на охлаждение	90771.91	Потери тепла через ограждающие конструкции печи Потери тепла с выходящим составом вагонеток Потери тепла с выходящими изделиями	1636538.58
- на завесу	31749.98		583373.7
			127534.8
Итого	6688305.41		6563822.14

Невязка составляет 1.8 %.

Анализ статей теплового баланса показал, что потери тепла с воздухом из зоны охлаждения составляют 2279208.26 кДж. Температура воздуха, уходящего из зоны медленного охлаждения (ЗМО), равна 178° С, температура воздуха, уходящего из зоны быстрого охлаждения (ЗБО) - 336° С. Нагретый воздух, как вторичный энергетический ресурс, предлагается использовать для решения двух технических проблем: сушки санитарно-технологических изделий перед обжигом и в горелочных устройствах для сжигания топлива в зоне обжига.

Рассмотрим первый вариант технического решения. На ООО ОСМиБТ для сушки санитарно-технических изделий применяют конвейерную сушилку немецкого производства. Сушилка состоит из пяти прямолинейных участков и четырёх поворотов. Изделия проходят по печи на двухуровневых металлических люльках. Общая длина короба сушилки 25 м, ширина 9.43 м, высота 2.95 м.

Обогрев производится перегретым паром, подающимся в калориферы. Температура пара в подающем трубопроводе 110⁰С. Из распределительного трубопровода пар подается в 40 теплообменников, расположенных на равных расстояниях. Сушилка оборудована сорока нагнетательными вентиляторами, которые создают вынужденную конвекцию и подают воздух к изделиям. Время сушки составляет 6÷10 часов.

Воздух, отходящий из зоны быстрого охлаждения, содержит незначительные остаточные примеси дымовых газов. Поэтому его можно использовать вместе с воздухом, отходящим из зоны медленного охлаждения.

Расчет носит предварительный характер с целью определения принципиальной возможности использования отходящего нагретого воздуха. Для транспортировки воздуха из зоны охлаждения к сушилке предлагаем использовать стальной трубопровод.

Начальная температура смеси воздуха, поступающего из зон охлаждения, составляет 195⁰С.

Количество тепла, выносимого горячим воздухом из зоны охлаждения согласно тепловому балансу туннельной печи, составляет 2277905.28 кДж/ч.

Количество тепла, вносимого горячим воздухом в сушилку (с учетом потерь) составляет 1641.1 кДж/ч.

Количество тепла, необходимого для сушки санитарно-керамических изделий, составляет 1948.35 кДж/ч.

Заключение

Из результатов расчета видно, что температура горячего воздуха удовлетворяет условиям, необходимым для сушки изделий. Количество тепла, вносимого воздухом из зоны охлаждения туннельной печи в сушилку, составляет 84 % от требуемого. Предлагается использовать в сушилке воздух из зоны охлаждения, а недостающий объем, т.е. 16 %, восполнять уже эксплуатируемыми калориферами.

Для доказательства целесообразности второго предложенного решения был произведен расчет теплового баланса туннельной печи с учетом использования для горения топлива нагретого воздуха [1].

Анализ статей теплового баланса с учетом использования тепла от нагретого воздуха, подводимого из зоны охлаждения на горение, показал, что расход топлива уменьшился на 44 м³/ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанова Е.Ю. Энергоемкость российской экономики: проблемы и решения // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: Сб. матер. V – ой междунар. научн.-практ. Интернет конференции. Под ред. В.А. Голенкова, А.Н. Качанова, Ю.С. Степанова. – Орел: ООО «Изд. дом «ОРЛИК» и К», 2007. – С. 23-24.
2. Степанова, Е.Ю. Маркетинг инноваций: проблемы и решения / Е.Ю. Степанова, Ю.С. Степанов // Экономические и гуманитарные науки. – №12 (239). – 2011. – С. 24 - 31.
3. Баренбойм, А.М. Тепловые расчеты печей и сушилок силикатной промышленности / А.М. Баренбойм, Т.М. Галиева и др. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1964. – 267 с.

Королькова Лариса Николаевна
СТИ НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол
Доцент, кандидат технических наук
Тел. (4725)451200
E-mail: klnchayka@mail.ru

Петрова Луиза Петровна
СТИ НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол
Доцент, кандидат технических наук
Тел. (4725)451200
E-mail: pviplp@yandex.ru

Малахова Оксана Ивановна
СТИ НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол
Доцент, кандидат технических наук
Тел. (4725)451200
E-mail: ox_m73@mail.ru

L.N. KOROLKOVA, L.P. PETROVA, O.I. MALAKHOVA

ABOUT POSSIBILITY OF USAGE HOT AIR FROM COOLING ZONE OF TUNNEL FURNACE FOR DRYING AND SINTERING OF CERAMICS

This article is dedicated to usage of hot air that is coming from cooling zone of tunnel furnace in ceramic shop of OSMBT in Stary Oskol. Presently hot air is drafted to flue gas collector and evacuated to atmosphere. That is making necessary to return sensible heat in process. To achieve this goal some theoretical investigations was made and it show possibility of usage hot air heat for burning of fuel/air mixture and drying of ceramics. A calculation that was made is showing that offered decisions are quiet appropriated that is concerning to usage of steel tube for removing air from cooling zones to drying device and usage of hot air in sintering zone of ceramics for burning of fuel.

Keywords: tunnel furnace, drying, sintering, heat balance, ceramics.

BIBLIOGRAPHY

1. Stepanova E.Ju. Jenergoemkost' rossijskoj jekonomiki: problemy i reshenija //Jenergo- i resursosberezenie – XXI vek: Sb. mater. V – oj mezhdunar. nauchn.-prakt. Internet konferencii. Pod red. V.A. Golenkova, A.N. Kachanova, Ju.S. Stepanova. – Orel: OOO «Izd. dom «ORLIK» i K», 2007. – S. 23-24.
2. Stepanova, E.Ju. Marketing innovacij: problemy i reshenija / E.Ju. Stepanova, Ju.S. Stepanov // Jekonomicheskie i gumanitarnye nauki. – №12 (239). – 2011. – S. 24 - 31.
3. Barenbojm, A.M. Teplovye raschety pechej i sushilok silikatnoj promyshlennosti /A.M. Baren-bojm, T.M. Galieva i dr. - 2-e izd., pererab. i dop. - M.: Strojizdat, 1964. – 267 s.

Korolkova Larisa Nickolaevna
STI NITU MISIS, Stary Oskol
Senior lecturer, Candidate of technical Sciences
Phone. (4725)451200
E-mail: klnchayka@mail.ru

Petrova Luisa Petrovna
STI NITU MISIS, Stary Oskol
Senior lecturer, Candidate of technical Sciences
Phone. (4725)451200
E-mail: pviplp@yandex.ru

Malakhova Oksana Ivanovna
STI NITU MISIS, Stary Oskol
Senior lecturer, Candidate of technical Sciences
Phone. (4725)451200
E-mail: ox_m73@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ Н-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье рассматривается сложность задачи технологической координации и оперативного управления сложноструктурированными производственными системами. Предлагается инструмент формирования производственного расписания на основе Н-теории.

Ключевые слова: сложноструктурированное производство, оперативное управление, технологическая координация, теория расписаний, ОВМ-сеть, Н-теория.

В условиях современных производственных предприятий постоянно происходит интенсификация загрузки, как основного, так и вспомогательного производственного оборудования. Такие, порой экстремальные, нагрузки выдвигают особые требования к алгоритмам управления всей инфраструктурой производства. Это в свою очередь ведет к неуклонному росту количества информации во всех контурах систем управления. В таких условиях классические алгоритмы управления не могут достаточно быстро решать задачи регулирования всех производственных операций.

В таких условиях необходимо искать новый подход к реализации алгоритмов управления, как самим предприятием в целом и объектами его основного производства, так и коммуникационной средой между ними. Так, например, в работе [7] предлагается генетический алгоритм как основной инструмент управления заказами предприятия, авторами [6] разработана нейростекая надстройка для управления печами нагрева, оптимизирующая подбор коэффициентов ПИД-регулятора, а в статье [11] описываются алгоритмы структурной оптимизации сетей связи, которые могут быть использованы для построения интеллектуальных промышленных сетей.

В рамках данной авторами рассматривается применения Н-теории для решения задач технологической координации сложноструктурированного производства.

Сложноструктурированная производственная система, представляет собой многономенклатурное многостадийное производство, имеющее перестраиваемую технологическую и организационную структуру, обладающую адаптивными свойствами, позволяющими быстро переориентировать его на выпуск различного ассортимента продукции за счет частичного изменения аппаратного состава производства и его структуры. Таким образом, сложноструктурированная производственная система представляет собой динамическую систему, состав и функции которой изменяются во времени

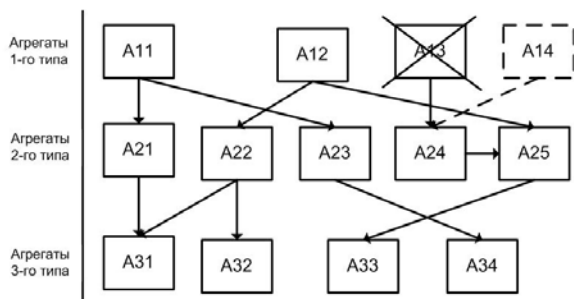


Рисунок 1 – Структура связей сложноструктурированного дискретно-непрерывного производства

Основной целью оперативного планирования и управления таким производством является составление согласованных производственных планов цехов предприятия и обеспечение их выполнения. Задача существенно усложняется для производств, характеризующихся широкой номенклатурой выпускаемой продукции, многообразием оборудования, многостадийностью технологических процессов, многовариантностью технологических маршрутов и, как следствие, сложными перекрестными материально-транспортными связями [1].

Примерами таких производств являются металлургическое, пищевое, фармацевтическое, химическое и некоторые другие. Помимо перечисленных трудностей задачу оператив-

ного управления такими производствами усложняет совмещение в рамках одной технологической схемы как непрерывных, так и дискретных технологических процессов (рисунок 1).

Непрерывную работу этих производств всегда можно представить последовательностью отдельных технологических операций, дискретных по своему характеру — со своим началом и окончанием, с получением выходных результатов или конечной продукции в каждой операции. Декомпозиция таких систем на составляющие их компоненты и элементы, дискретные по своему смыслу, имеет конечное число указанных составляющих. В динамике работу системы можно представить непрерывно-дискретной простым переходом к ее анализу в ограниченных временных интервалах. Поэтому свойство непрерывно-дискретного характера структуры системы в подавляющем большинстве случаев соответствует технологическому, организационному, экономическому смыслу реальных объектов моделирования [2].

Часть сторон функционирования системы, например, организационные решения, информационные потоки — дискретна по своей природе, другие — условно, по своему технологическому, экономическому или иному смыслу [3].

Несмотря на то, что непрерывно-дискретная система имеет много общего с дискретными параллельными и распределенными системами, она не может быть сведена к чисто дискретным моделям, так как динамика ее непрерывных компонент достаточно сложна. С другой стороны, описание ее в рамках классической теории динамических систем затруднительно, так как в ней могут возникать события, в результате которых мгновенно меняется глобальное поведение и структура системы. При этом одно событие может порождать другие, а сам дискретный процесс, результатом которого является выбор нового поведения, описывается нетривиальным дискретным алгоритмом, который в общем случае можно представить графом мгновенных переходов [9].

Невозможность представления непрерывно-дискретной системы чисто дискретными или чисто динамическими моделями позволяет выделить эти системы в отдельный класс систем, поведение которых описывается бесконечной последовательностью сменяющих друг друга длительных непрерывных и мгновенных дискретных поведений.

Эффективность функционирования такой системы определяется выбранной стратегией планирования и управления.

Планирование является той ступенью управления, на которой предопределяется работа цеха и агрегатов на предстоящий период, осуществляется взаимная увязка и устанавливается конкретная загрузка производственных участков. Исходной информацией для планирования производства служит план поставок, представляющий собой совокупность всех заказов на продукцию предприятия в целом и каждого конечного оборудования цехов. Каждый заказ содержит определенные группы параметров: данные о потребителе; характеристики, определяющие качество и объем поставки.

Основой оперативного планирования любого подразделения предприятия является согласованный в пространстве и во времени цикл изготовления единицы продукции или ее части. Составленную в табличной или графической форме модель принято называть планом-графиком [10].

Составить план-график — значит заранее разработать модель функционирования предприятия, цеха, участка, рабочего места во времени, предусматривающую выполнение в данный момент именно той работы (и в том объеме), которая необходима для организации бесперебойного хода совокупного производственного процесса предприятия, обеспечивающего выпуск конкретной продукции в заранее обусловленный срок [13].

План-график работы предприятия и любого его подразделения, разработанный на основе научно обоснованных временных параметров, обладает системными свойствами, которые проявляются, прежде всего, в том, что, предписывая движение реальных, вещественных предметов во времени, он устанавливает строгую взаимосвязь, взаимодействие и целенаправленность работы всех подразделений предприятия, подчиненной единой цели — изготовить продукт к определенному моменту [12].

Основная проблема плана-графика заключается в необходимости оперативного принятия решений по вопросам его перестроения в связи с рассогласованием текущей производственной ситуации относительно запланированной в режиме диспетчерования. Решение может быть найдено при помощи составления расписания на основе H -модели.

В основе H -модели лежит сопоставление недоопределенного значения (или H -значение), являющегося оценкой реального значения на основе доступной нам в данный момент информации. H -значение является промежуточным между полной определенностью (точное значение) и полной неопределенностью (весь универсум) и может уточняться по мере получения более точных данных [8].

H -значение представляет собой множество универсума, содержащее внутри себя значение, которое остается неизвестной ввиду недостатка информации. В процессе уточнения, т.е. при поступлении более точных данных, H -значение становится все более определенным и в пределе может стать точным, т.е. равным данной недоопределенной переменной (H -переменной).

Это означает, что для H -переменной, вне зависимости от ее типа, следует различать два значения:

- 1) реальное неизвестное нам значение, которое она представляет;
- 2) ее текущее H -значение, являющееся доступной оценкой этого реального значения.

В процессе вычислений H -значение может становиться только более точным, гарантируя тем самым монотонность вывода. Для завершения вычислений существенно, чтобы число различных H -значений одного объекта было конечным.

Недоопределенные модели являются частным случаем обобщенной вычислительной модели [8]. Обобщенная вычислительная модель (ОВМ):

$M = (V, W, C, R)$ состоит из следующих четырех множеств:

Каждому объекту $v \in V$ сопоставлены:

- универсум X_v ;
- начальное значение из универсума (точное, недоопределенное, или полная неопределенность);
- функция присваивания W_v ;
- функция проверки корректности C_v .

Функция присваивания — это двухместная функция, работающая при каждой попытке присваивания очередного значения объекту $v \in V$ и определяющая новое значение объекта как функцию от текущего и присваиваемого значений.

Функция проверки корректности — это унарный предикат, который исполняется в случае, если значение объекта x изменилось, и проверяет правильность этого нового значения.

Ограничения из R должны быть функционально интерпретируемыми.

На уровне интерпретации ОВМ представляется двудольным ориентированным графом (ОВМ-сеть), в котором выделены два типа вершин: объекты и функции. Дуги связывают функциональные и объектные вершины. Входящие в вершину-функцию дуги соотносят с ней объекты, значения которых выступают в качестве входных аргументов для функции, исходящие — указывают на объекты, в которые должна производиться запись вырабатываемых функцией результатов.

Каждой объектной вершине сопоставляются тип и значение, а также связываются функции присваивания и проверки корректности.

С каждой функциональной вершиной соотнесены целое число, играющее роль приоритета, и разметка входящих и исходящих дуг.

Функция присваивания — это двухместная функция, работающая при каждой попытке присваивания очередного значения объекту $v \in V$ и определяющая новое значение объекта как функцию от текущего и присваиваемого значений.

Функция проверки корректности — это унарный предикат, который выполняется в случае, если значение объекта x изменилось, и проверяет правильность этого нового значения.

Ограничения из R должны быть функционально интерпретируемыми.

На уровне интерпретации ОВМ представляется двудольным ориентированным графом (ОВМ-сеть), в котором выделены два типа вершин: объекты и функции. Дуги связывают функциональные и объектные вершины. Входящие в вершину-функцию дуги соотносят с ней объекты, значения которых выступают в качестве входных аргументов для функции, исходящие — указывают на объекты, в которые должна производиться запись вырабатываемых функцией результатов.

Каждой объектной вершине сопоставляются тип и значение, а также связываются функции присваивания и проверки корректности.

С каждой функциональной вершиной соотнесены целое число, играющее роль приоритета, и разметка входящих и исходящих дуг.

При работе с недоопределенными значениями необходимо выбрать для каждого значения некоторый способ его представления. При этом необходимо представлять полностью неопределенное H -значение и противоречивую оценку.

Недоопределенным расширением (H -расширением) произвольного универсального множества X является любая конечная система его подмножеств, замкнутая относительно операции пересечения и содержащая весь универсум и пустое множество. В случае бесконечного множества X в качестве универсума рассматривается некоторое его конечное подмножество $X_0 \in X$.

В [8] рассматривается процесс формирования недоопределенной T -модели на примере задачи составления проектного расписания и большое значение уделяется термину события [8]. События бывают двух типов: точечные и интервальные. Тип события характеризуется тем, как оно проецируется на временную шкалу (временную ось). Если длительность события такова, что оно проецируется в точку на временной шкале, то событие считается точечным. Если же событие в этой шкале проецируется на участок шкалы, то оно рассматривается как интервальное.

Модель времени представляет собой базовое множество точечных событий с отношениями порядка.

Недоопределенное расписание можно представить в виде H -модели

$M = (X R)$, где X — основное множество элементов системы (недоопределенных i -интервалов, представляющих сроки выполнения планируемых заданий), а R — множество отношений, связывающих t -интервалы отдельных заданий.

X — множество элементов системы — недоопределенные t -точки, которые являются недоопределенными расширениями точек на временной шкале, где они представляются с помощью целочисленных t -интервалов

$[t_i, t_j] \ t_i \leq t_j$. Эти базовые элементы изображают события плана;

R — множество отношений, связывающих t -точки. Отношения над недоопределенными t -точками являются недоопределенными расширениями соответствующих отношений T -модели.

В вычислительной модели плана естественно рассматривать не только базовое множество точек, но и интервальные события — задания или работы.

При составлении H -расписания необходимо учитывать следующие требования:

- к размерности (под размерностью плана в данном случае понимается число работ, ресурсов, связей и т. д.);
- к структуризации (система управления проектами должна создавать иерархические структуры заданий проекта: подпроекты, подпланы, фазы, пакеты заданий и т. д.; а также иерархические структуры ресурсов);
- к типам работ (заданий) и ресурсов;
- к назначениям ресурсов;

- к учету затрат и т. д.

К числу основных требований относятся требования к составлению расписаний, которые в общем виде заключаются в следующем:

- система должна обеспечивать наиболее полное использование ресурсов, т. е. составляемые расписания (после выравнивания ресурсов) должны иметь минимальную продолжительность;
- должны сохраняться и определяться резервы времени работ, которыми можно пользоваться.
- возможность доуточнения и оптимизации плана за счет введения дополнительных ограничений.

В качестве примера рассмотрим составление расписания электросталеплавильного цеха (ЭСЦ) ОАО «Оскольский Электрометаллургический комбинат» (ОЭМК) с использованием Н-аппарата.

Задачей оперативно-производственного планирования является организация ритмичной взаимосогласованной работы всего технологического оборудования для обеспечения своевременного выполнения сменно-суточного задания при экономном расходовании ресурсов и высоком качестве продукции.

В отличие от классических подходов к теории расписания, в Н-аппарате нет целевой функции, а имеется только набор ограничений, поэтому оптимальное решение находится путем постепенного сужения Н-переменных и выборе тех результатов, которые минимизируют производственные задержки или простои.

Сформулируем задачу составления оптимального производственного расписания ЭСПЦ ООО ОЭМК в рамках Н-теории в виде набора ограничений R над некоторым набором переменных:

- 1) Оборудование не может работать больше регламентированного времени:

$$\sum_{j=1}^n t_j^i \leq k_i * \tau_i;$$

где t_j^i - фактическое время обработки j-го заказа на i-ом оборудовании, k_i - количество оборудования i-го вида, τ_i - регламентированное суточное время работы i-го оборудования. n - количество заказов в производственном плане.

- 2) Технологические маршруты не должны пересекаться между собой:

$$S_{11} \cap^* S_{12} \dots \cap^* S_{1n} = 0;$$

где S_{1n} - недоопределенное множество оборудования в l-ом технологическом маршруте по всем n позициям производственного плана (является перечислимым Н-расширением и представляется множеством всех подмножеств).

- 3) Время обработки j-го маршрута не должно превышать регламентированного времени:

$$T_j = \sum_{i \in S_j} (t_j^i + \theta_j^i);$$

где θ_j^i - время работы подъемно-транспортного оборудования после завершения операции на i-ом агрегате в j-ом маршруте.

- 4) Время простоев оборудования должно соответствовать регламенту:

$$T_{m_i} = p_i;$$

T_{m_i} - фактическое время простоя i-го оборудования, p_i - регламентированное время простоя i-го оборудования.

На основе данных ограничений происходит формирование контактного графика Н-расписания, который представлен в виде диаграммы Ганта (рис. 2).

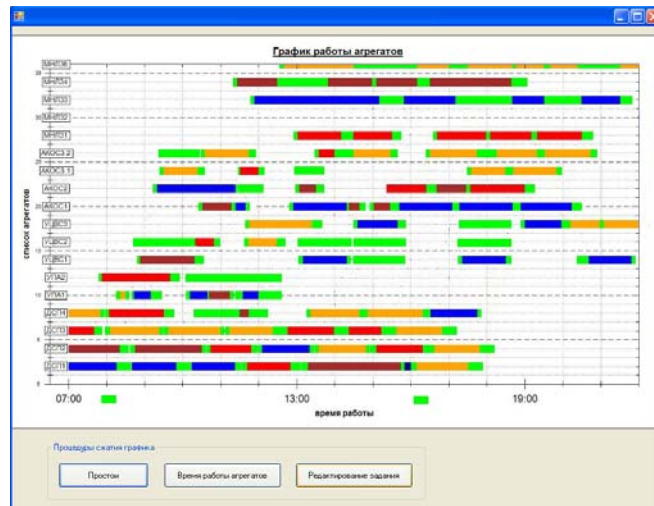


Рисунок 2 – Контактный график H -расписания

Интервальные значения H -переменной, приведенные на диаграмме могут быть использованы для реализации корректировок производственного плана. Таким образом, за счет учета всех возможных альтернатив по построению производственного расписания сокращается время принятия решений по вопросу реформирования производственного расписания в режиме диспетчирования и повышается эффективность работы оперативно-диспетчерского персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев, В.П. Производственно-исследовательские системы с многовариантной структурой / В.П. Авдеев, Б.А. Кустов, Л.П. Мышляев, - Новокузнецк; Изд-во Кузбасского филиала Инженерной академии, 1992. - 188 с.
2. Буйницкая, В. М. Оптимальное планирование работ сталеплавильного цеха с непрерывным литьём заготовок / В.М. Буйницкая, В.И. Гранковский // Сталь. - 1984. - № 11. - С. 92 -94.
3. Бурков, В.Н. Применение теории оптимального управления к задачам распределения ресурсов / Б.Н. Бурков // Труды 3 Всесоюзного совещания по автоматическому управлению. - М.: Наука, 1967. - 255 с.
4. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем /Н.П. Бусленко. - М.: - Наука, 1968. - 355 с.
5. Вагнер, Г. Основы исследования операции /Г. Вагнер. - В 3 т. – Т. 1 - М.: Мир, 1972. - 355 с.; Т. 2. - М.: Мир, 1973. - 488 с.; Т. 3 - М.: Мир, 1973. - 501 с.
6. Еременко, Ю.И. Об условиях применения ПИД-нейрорегулятора для управления объектами, описываемыми апериодическим звеном второго порядка с запаздыванием /Ю.И. Еременко, Д.А. Полещенко, А.И. Глущенко // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2013. - № 6. – С. 39-45.
7. Муромцев, В.В. Об использовании генетических алгоритмов и распараллеливания вычислений для оптимизации заказов предприятия / В.В. Муромцев, А.А. Слободюк // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. - 2009. - Т. 9. - № 11-1-1. С. 160-164.
8. Нариньяни, А.С. Модель или алгоритм: новая парадигма информационной технологии / А.С. Нариньяни //Информационные технологии. - № 4. – 1997. – С. 11-16.
9. Перовская, Е.И. Об одном алгоритме решения задачи календарного планирования /Е.И. Перовская // Вычислительные процессы и структуры. – Л.: Машиностроение, 1982. С. 84-92.
10. Сачко, И. С. Организация и оперативное управления машиностроительным производством /И.С. Сачко. - Мн.: Новое знание, 2005. - 363 с.
11. Семенов, М.Е. Алгоритмы структурной оптимизации сетей связи / М.Е. Семенов, А.Ю. Соловьев, О.В. Тимченко //Системы управления и информационные технологии. - 2009.–№ 3.1(37).– С. 195-199.
12. Танаев, В.С. Введение в теорию расписаний / В.С. Танаев, В.В. Шкурба. - М.; Наука, 1975. - 256 с.
13. Танаев, В.С. Теория расписаний. Многостадийные системы / В.С. Танаев, Ю.Н. Сотсков, В.А. Струевич. - М.: Наука, 1989. -380 с.

Цуканов Михаил Александрович

Старооскольский технологический институт (филиал) НИТУ «МИСиС»

Кандидат технических наук, ассистент кафедры автоматизированных и информационных систем управления

E-mail: tsukanov_m_a@mail.ru

Невзоров Андрей Александрович

Старооскольский технологический институт (филиал) НИТУ «МИСиС»

Программист кафедры автоматизированных и информационных систем управления

E-mail: titan00756@gmail.com

M.A. TSOUKANOV, A.A. NEVZOROV

USING OF H-MODELS TECHNOLOGY FOR COMPLEXSTRUCTURE MANUFACTORY SCHEDULING

Discussing complexity of complexstructure manufactory technological coordination and on-line controls. Offering the tool of scheduling based on H-theory.

Keywords: *complexstructure manufactory, on-line controls, technological coordination, scheduling theory, OBM-net, H-theory.*

BIBLIOGRAPHY

1. Avdeev, V.P. Proizvodstvenno-issledovatel'skie sistemy s mnogovariantnoj strukturoj /V.P. Avdeev, B.A. Kustov, L.P. Myshljaev,- Novokuzneck; Izd-vo Kuzbasskogo filiala Inzhenernoj akademii, 1992.- 188 s.
2. Bujnickaja, V. M. Optimal'noe planirovanie rabot staleplavil'nogo ceha s nepreryvnym lit'jom zagotovok / V.M. Bujnickaja, V.I. Grankovskij // Stal'.- 1984. - № 11. - S. 92 -94.
3. Burkov, V.N. Primenenie teorii optimal'nogo upravlenija k zadacham raspredelenija resursov / B.N. Burkov // Trudy 3 Vsesojuznogo soveshhanija po avtomaticheskomu upravleniju. - M.: Nauka, 1967. - 255 s.
4. Buslenko, N. P. Modelirovanie slozhnyh sistem /N.P. Buslenko. - M.: - Nauka, 1968. - 355 s.
5. Vagner, G. Osnovy issledovaniya operacii /G. Vagner. - V 3 t. – T. 1 - M.: Mir, 1972. - 355 s.; T. 2. -M.: Mir, 1973. - 488 s.; T. 3 - M.: Mir, 1973. - 501 s.
6. Eremenko, Ju.I. Ob uslovijah primenenija PID-nejroreguljatora dlja upravlenija ob#ektami, opisy-vaemyymi aperiodicheskim zvenom vtorogo porjadka s zapazdyvaniem /Ju.I. Eremenko, D.A. Poleshhenko, A.I. Glushhenko // Pribory i sistemy. Upravlenie. Kontrol'. Diagnostika. – 2013. - № 6. – S. 39-45.
7. Muromcev, V.V. Ob ispol'zovanii geneticheskikh algoritmov i rasparallelivanija vychislenij dlja optimizacii zakazov predprijatij / V.V. Muromcev, A.A. Slobodjuk // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosu-darstvennogo universiteta. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. - 2009. - T. 9. - № 11-1-1. S. 160-164.
8. Narin'jani A.S. Model' ili algoritm: novaja paradigma informacionnoj tehnologii / A.S. Na-rin'jani //Informacionnye tehnologii. - № 4. – 1997. – S. 11-16.
9. Perovskaja, E.I. Ob odnom algoritme reshenija zadachi kalendarnogo planirovanija /E.I. Perovskaja // Vychislitel'nye processy i struktury. – L.: Mashinostroenie, 1982. S. 84-92.
10. Sachko, I. S. Organizacija i operativnoe upravlenija mashinostroitel'nym proizvodstvom /I.S. Sachko. - Mn.: Novoe znanie, 2005. - 363 s.
11. Semenov, M.E. Algoritmy strukturnoj optimizacii setej svjazi / M.E. Semenov, A.Ju. Solov'ev, O.V. Timchenko //Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii. - 2009.–№ 3.1(37).– S. 195-199.
12. Tanaev, B.C. Vvedenie v teoriju raspisanij / B.C. Tanaev, V.V. Shkurba. - M.; Nauka, 1975. - 256 s.
13. Tanaev, B.C. Teorija raspisanij. Mnogostadijnye sistemy / B.C. Tanaev, Ju.N. Sotskov, V.A. Strusevich. - M.: Nauka, 1989. -380 s.

Tsoukanov Michael Alexandrovich

Oskol institute of technology branch of the “National University of Science and Technology “MISiS”

PhD(technical), assistant branch of automation and information control system

E-mail: tsukanov_m_a@mail.ru

Nevzorov Andrey Alexandrovich

Oskol institute of technology branch of the “National University of Science and Technology “MISiS”

Developer branch of automation and information control system

E-mail: titan00756@gmail.com

Т.В. ФЁДОРОВ, К.А. ВОЛОБУЕВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОЙ СИЛЫ КРИВОШИПНОГО ПРЕССА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ГИБКИ

Рассмотрен процесс гибки листовой заготовки на кривошипном прессе. Проведена проверка существующей и выведена собственная формула расчета плеча заготовки при операции гибки. Проведено моделирование процесса гибки и сравнение параметров при использовании этих формул.

Ключевые слова: модель; процесс гибки; кривошипный пресс.

Гибка является одним из самых распространенных способов обработки металлов давлением [1, 2]. С помощью этого процесса изготавливаются тонкостенные детали и профили для таких отраслей промышленности как строительство, автомобилестроение, авиастроение и производство другой техники.

Операцию гибки можно совершать на различном оборудовании, но самым популярным, является способ гибки в инструментальных штампах на кривошипных и эксцентриковых прессах. Еще пару десятилетий назад не было возможности провести другого, кроме как усредненного расчёта для вычисления необходимого усилия при операции гибки. Результат получался с завышением минимально необходимого усилия пресса. С развитием электронных вычислительных ресурсов появилась возможность компьютерного моделирования различных динамических процессов. В их разряд попадает и гибка листовых металлов. Рассчитав значения необходимого усилия можно добиться существенной экономии как энергетических, так и временных затрат.

На рисунке 1 изображен процесс гибки листового металла в V-образной матрице.

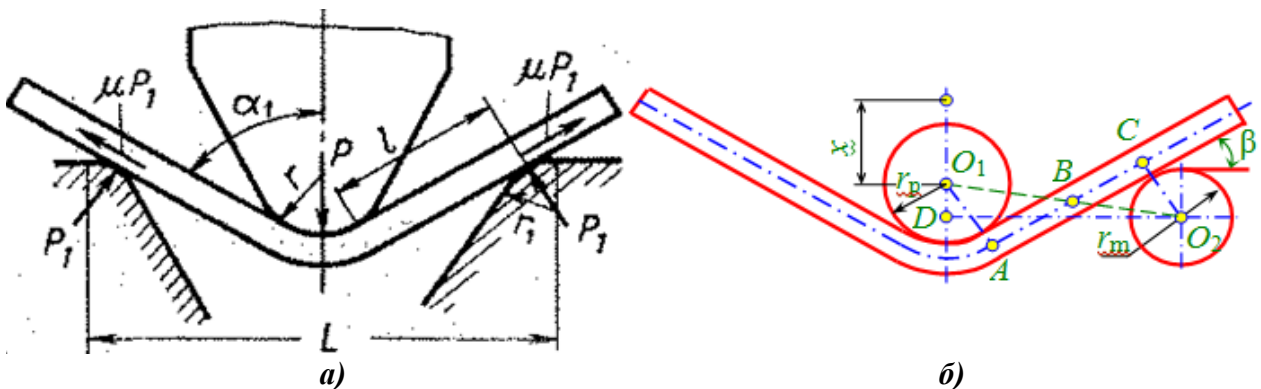


Рисунок 1 – Схемы гибки (а) и определения угла α_1 [1] или β (б)

Исходя из рисунка 1, а [1] усилие пресса равно:

$$P = 2P_1 \sin \alpha_1 + 2\mu P_1 \cos \alpha_1 \quad (1)$$

$$\text{А сила } P_1 \text{ определится как, } P_1 = \frac{\sigma_s s^2 b}{4l}, \quad (2)$$

где σ_s - предел текучести металла, Па; s - толщина заготовки, м; b - ширина заготовки, м.

Обращаясь к источнику [3] можно воспользоваться формулой для расчета плеча l :

$$l = [0.5L - r \cos \alpha_1 + r_1 (1 - \cos \alpha_1)] / \sin \alpha_1, \quad (3)$$

где $r = r_{\text{п}} + \frac{s}{2}$, $r_1 = r_{\text{м}} + \frac{s}{2}$, $r_{\text{п}}$ и $r_{\text{м}}$ - радиусы пуансона и матрицы соответственно.

Проверка на параметрической модели построенной в САД программе Компас (рис. 2) позволило усомниться в справедливости формулы (3) из-за отклонений геометрического и аналитического решения.

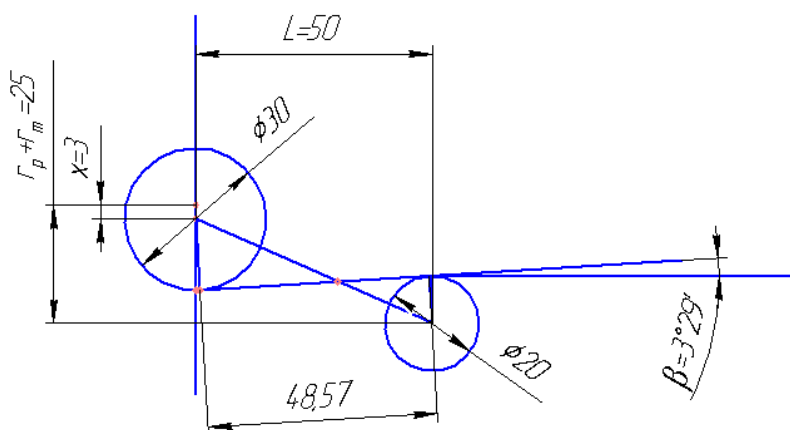


Рисунок 2 – Проверка расчетов в программе Компас

В связи с этим на основании построений на рисунке 1, б была выведена формула для определения плеча l . Рассматривая рисунок 1, б не трудно заметить подобие $\triangle BAO_1$ и $\triangle BCO_2$ (доказательство подобия не приводим из-за их тривиальности).

Таким образом отрезок O_1O_2 разделяется точкой B пропорционально радиусам r_n и r_m . Тогда можно записать:

$$\alpha_1 = \frac{1}{2}\pi - \beta, \quad \beta = \gamma - \delta, \quad (4)$$

где γ – угол $\angle DO_1O_2$, δ – угол $\angle AO_1B$

$$\beta = \operatorname{arccctg}\left(\frac{r_p + r_m - x}{\frac{1}{2}L}\right) - \arccos\left(\frac{r_p + r_m}{\left(\frac{1}{2}L\right)^2 + (r_p + r_m - x)^2}\right). \quad (5)$$

Длина отрезка AC определяется из пропорции:

$$\frac{AB}{AC} = \frac{r_p}{r_p + r_m}, \quad (6)$$

откуда $AC = AB \frac{r_p + r_m}{r_p}$.

AB можно найти из выражения:

$$O_1B^2 = r_n^2 + AB^2, \quad (7)$$

т.е. $AB = \sqrt{O_1B^2 - r_n^2}$.

С учетом то что:

$$\frac{O_1B}{O_1O_2} = \frac{r_n}{r_n + r_m}, \quad (8)$$

то $O_1B = \frac{r_n}{r_n + r_m} O_1O_2$.

В свою очередь:

$$O_1O_2 = \sqrt{(0.5L)^2 + (r_n + r_m - x)^2} \quad (9)$$

Следовательно:

$$l = AC = \frac{r_n + r_m}{r_n} \sqrt{\left(\frac{r_n}{r_n + r_m}\right)^2 \left[0.25L^2 + (r_n + r_m - x)^2\right] - r_m^2} \quad (10)$$

После сокращения получаем:

$$l = AC = \sqrt{0.25L^2 + x(x - 2r_n - 2r_m)} \quad (11)$$

Посмотрим, к чему может привести подобная ошибка в случае включения данной функции в систему управления. Для этого смоделируем процесс гибки в ПК МВТУ на кривошипном прессе, задавшись параметрами: $r_n = 15$ мм, $r_m = 10$ мм, $L = 100$ мм, $\sigma_s = 250$ МПа, $s = 1$ мм, $b = 100$ мм, ход пресса $x = 8$ мм, гибка заготовки начинается при $x = 3$ мм.

Модель кривошипного пресса без системы регулирования привода возьмем из статьи [4].

Модель получившейся системы представлена на рисунке 3, где блоки P1 и P2 отвечают за расчет усилия пресса с формулами (3) и (11) соответственно.

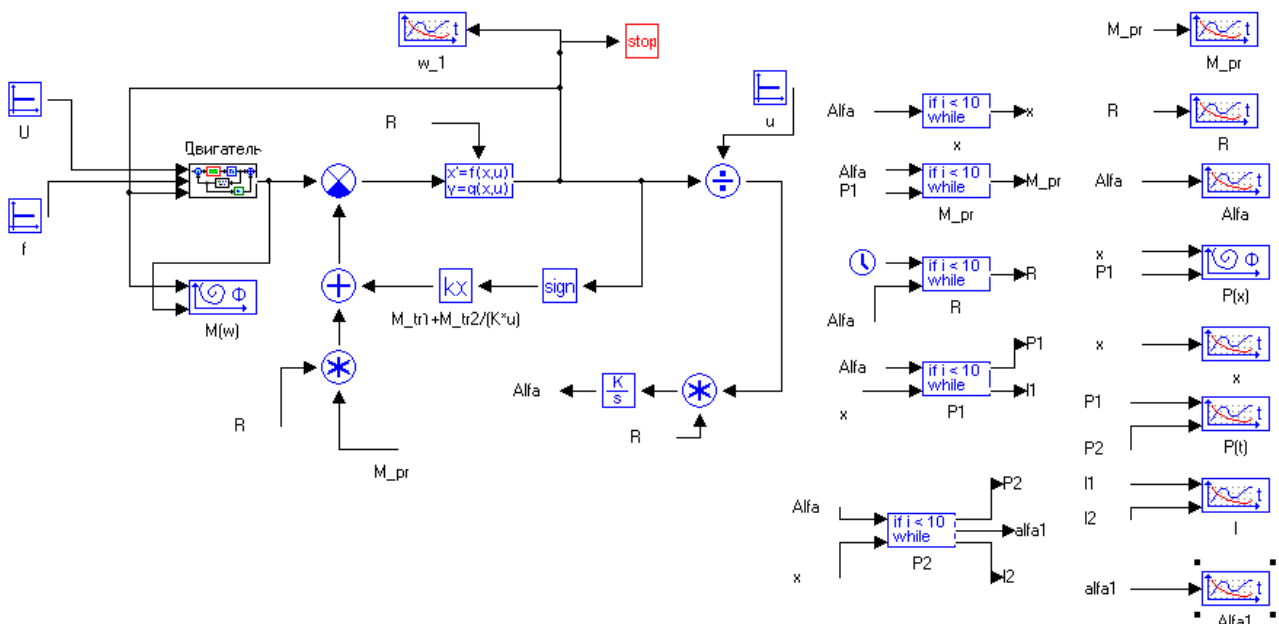


Рисунок 3 – Модель системы в ПК МВТУ

Результаты расчетов представлены на рисунке 4.

Как видно из рисунка 4, д и 4, е при использовании формулы (3) происходит завышение размеров плеча l и как результат занижение расчетного усилия P . Занижение усилия может негативно сказаться как на качестве изделий, так и может привести к заклиниванию оборудования.

Существуют и другие формулы для расчета потребного усилия, например, формула, зависящая от относительного радиуса кривизны [5]. Однако автор книги не скрывает, что происходит завышение потребной силы, которое по его словам «можно рассматривать как запас мощности пресса, компенсирующий возможное изменение усилия штамповки вследствие колебания исходных механических свойств материала». Но, такие завышения в век высокоточного оборудования и неизмеримо лучшего контроля качества при выплавке металла не имеют необходимости быть.

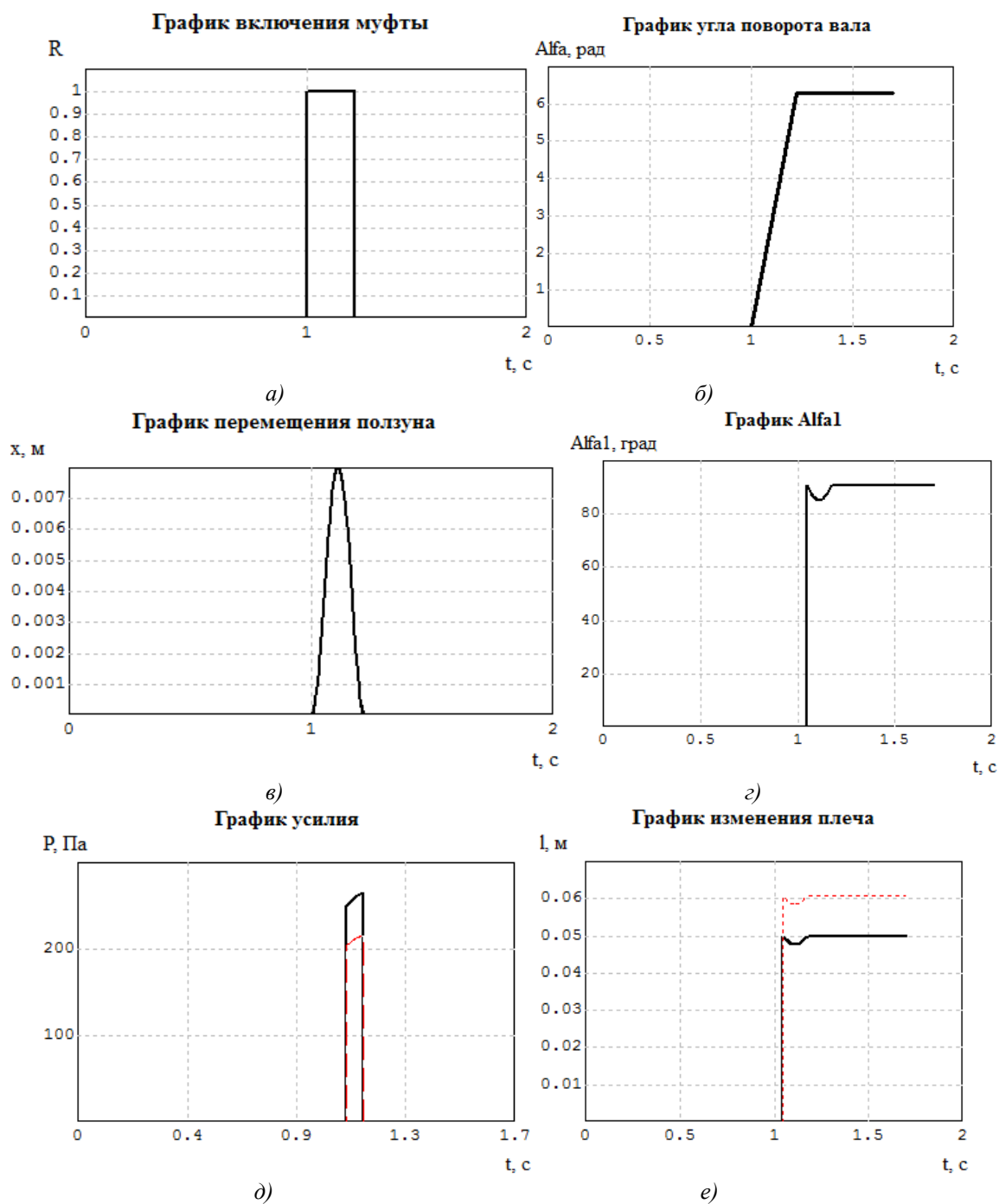


Рисунок 4 – Результаты моделирования

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расчет деформации гибки труб /С.И. Вдовин, О.В. Пилипенко, Т.В. Фёдоров, К.А. Волобуев / Материалы международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы -2013» (МНТК «ИМТОМ-2013») и Форума «Повышение конкурентоспособности и энергоэффективности машиностроительных предприятий в условиях ВТО». – Ч. 1.- Казань, 2013. - С. 60-63.
2. Федоров, Т.В. Моделирование гибки трубы с дорном наматыванием в Deform-3D // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2010. - №3 (281). - С.36-38.
3. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки /Е.А. Попов. М.: Машиностроение, 1968. - 283 с.
4. Федоров, Т.В. Анализ частотной системы регулирования привода кривошипного пресса /Т.В. Федоров, К.А. Волобуев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2013. - №3. - С. 79-87.
5. Лысов, М.И. Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки /М.И. Лысов.- М.: Машиностроение, 1966. - 236 с.

Фёдоров Тимофей Васильевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Кандидат технических наук, доц. каф. «АВТОПЛАСТ»
E-mail: timofeyfedorov@rambler.ru

Волобуев Кирилл Андрианович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Аспирант
E-mail: kirillvolobuev@yandex.ru

T.V. FEDOROV, K.A. VOLOBUEV

SIMULATION POWER NEEDS OF CRANK PRESSES TO PRODUCE PARTS MEANS OF BENDING

The bending process of sheet metal blank on crank press is considered. The existing formula of blank's shoulder calculation is examined and new one is determined. The bending process is simulated and the options of the system by using these formulas are compared.

Keywords: model; bending process; crank press.

BIBLIOGRAPHY

1. Raschet deformacii gibki trub /S.I. Vdovin, O.V. Pilipenko, T.V. Fjodorov, K.A. Volobuev / Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Innovacionnye mashinostroitel'nye tehnologii, obo-rudovanie i materialy -2013» (MNTK «IMTOM-2013») i Foruma «Povyshenie konkurentosposobnosti i jenergojeffektivnosti mashinostroitel'nyh predpriyatij v uslovijah VTO». – Ch. 1.- Kazan', 2013. - S. 60-63.
2. Fedorov, T.V. Modelirovanie gibki trub s dornom namatyvaniem v Deform-3D // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - 2010. - №3 (281). - S.36-38.
3. Popov, E.A. Osnovy teorii listovoj shtampovki /E.A. Popov. M.: Mashinostroenie, 1968. - 283 s.
4. Fedorov, T.V. Analiz chastotnoj sistemy regulirovanija privoda krivoshipnogo pressa /T.V. Fedo-rov, K.A. Volobuev // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - 2013. - №3. - S. 79-87.
5. Lysov, M.I. Teorija i raschet processov izgotovlenija detalej metodami gibki /M.I. Lysov.- M.: Mashinostroenie, 1966. - 236 s.

Fedorov Timofey Vasilyevich

State University – Education Science Production Complex, Orel
302020, Naugorskoe chose, 29,
Docent, Candidate of Technical Science
E-mail: timofeyfedorov@rambler.ru

Volobuev Kirill Andrianovich

State University – Education-Science-Production Complex, Orel
302020, Naugorskoe chose, 29,
Graduate student
E-mail: kirillvolobuev@yandex.ru

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ, МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.9

Н.И. БОЙКО, Г.В. САНАМЯН, В.Г. САНАМЯН

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА В ЗОНЕ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ МЕТАЛЛОЕМКИХ ДЕТАЛЕЙ С ПОДОГРЕВОМ

В работе выполнены исследования температуры наплавленного металла в зоне механической обработки металлопокрытия в процессе его нанесения при восстановлении изношенных цилиндрических деталей. Разработана методика расчета температурных полей в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью при дополнительном подогреве металлоемких деталей.

Ключевые слова: температура, наплавка, резание, металл, подогрев, деталь, расчет, источник, тепло.

Комбинирование методов обработки является важным направлением синтеза малооперационных ресурсосберегающих технологий, промышленное применение которых способствует коренному повышению как производительности процесса обработки, так и качества формирующихся свойств деталей. Наряду с этим, в ряде случаев, комбинирование методов обработки позволяет достичь новых технических эффектов, в том числе качественного характера.

Среди современных перспективных направлений разработки малооперационных ресурсосберегающих технологий восстановления изношенных цилиндрических деталей важное место занимает метод комбинированного теплового и механического воздействия на поверхность детали, основанный на совмещении этапов наплавки и механической обработки горячего наплавленного металла. Вместе с тем, несмотря на ряд неоспоримых преимуществ, широкое внедрение в производство такого комбинированного метода восстановления деталей все еще сдерживается недостаточной изученностью процесса, особенно в части тепловых процессов, происходящих при наплавке деталей и механическом воздействии на наплавленный слой металла. Известно, что указанные процессы в значительной степени определяют физико-механические свойства и износостойкость поверхностного слоя восстановленных деталей и оказывают большое влияние на процессы и производительность механической обработки [1-3]. В связи с этим при назначении режимов механической обработки наплавленного металла (формообразование горячего наплавленного металлопокрытия) необходимо оценивать параметры температурного поля в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью. Это в свою очередь ставит задачу исследований по изучению термического цикла наплавки, характерной особенностью которого является протекание в условиях быстро изменяющихся температур. Вопросы изучения температурных полей в зоне механического воздействия при наплавке металлоемких цилиндрических деталей, имеющих конечные геометрические размеры, до последнего времени изучены не достаточно. Некоторые работы по решению подобных задач выполнены на основе теории источников тепла, разработанной проф. Н.Н. Рыкалиным. Проф. В.А. Шебанов разработал методику приближенного расчёта термических циклов при наплавке цилиндрических деталей вдоль образующей. В работах проф. В.И. Махненко получены более точные аналитические зависимости, характеризующие процесс распространения тепла при наплавке цилиндрических деталей по винтовой линии. Эти зависимости сложны, что затрудняет их применение при практическом проектировании технологических процессов наплавки и упрочняющей обработки деталей. В разработанной проф. А.А. Орловым методике расчёта температурных полей, наплавливаемых по винтовой линии цилиндрических деталей, использованы зависимости проф. Н.Н. Рыкалина и учтены

кривизна и ограниченность геометрических размеров деталей путём введения поправок. Полученные выражения отличаются простотой при инженерных расчётах температурных полей при сварке, но затрудняют возможность определить температуру металла в зоне механической обработки, выполняемой в процессе наплавки деталей.

Целью настоящих исследований является разработка методики расчета температуры наплавленного металла в зоне механической обработки резанием и (или) пластическим деформированием металлоемких деталей с подогревом.

При автоматической электродуговой наплавке металлоемких цилиндрических деталей происходит сильное поглощение тепла, распространяющееся от сварочной дуги, и за время поворота детали наплавленный металл остывает. Температура наплавленного металла, особенно первых наплавленных валиков, попадающего в зону фрезерования, ниже температуры, при которой заканчивается превращение феррита в аустенит при нагревании (AC_3), что не позволяет в полной мере использовать эффект комплексно-механизированного восстановления металлических деталей. Использование сопутствующего подогрева наплавленного металла дополнительным мощным источником тепла позволяет в течение всего процесса восстановления иметь температуру в зоне фрезерования не ниже средней.

В автоматическом режиме комплексно-механизированного восстановления крупногабаритных деталей в одной технологической схеме (рисунок 1) мундштук 1 сварочного автомата с наплавочной проволокой, шлакоудаляющий резец 2, плазмотрон 3 и фреза 4, установленные на суппорте токарного станка, перемещаются вдоль оси детали 5, закрепленной в центре токарного станка, с одинаковой продольной подачей S . В случае наплавки детали 5 под слоем флюса, в зону горения сварочной дуги 6 (в точке A_1) подается флюс через флюсопровод 7. По мере вращения детали с частотой n_d наплавленный валик 8 освобождается от шлаковой корки 9 шлакоудаляющим резцом 2. При дальнейшем вращении детали радиуса R наплавленный металл подогревается плазменной струей 10 плазмотрона 3 в опорной точке II (точка A_2) и обрабатывается фрезой в точке A_3 . Каждая точка валика с момента ее наплавки до момента фрезерования поворачивается на угол $270^\circ + \varphi$, где φ – угол смещения сварочной дуги от зенита детали. Частота вращения детали и продольное перемещение суппорта токарного станка осуществляется со скоростями, обеспечивающими режим нормальной наплавки.

Ввиду быстрого отвода тепла наплавленного валика в массивное тело детали 5, тепловая мощность сварочной дуги 6 не обеспечивает в зоне обработки (точка A_3) требуемую температуру выше точки AC_3 . Поверхность наплавленного валика 8 нагревают плазмотроном 3 выше температуры точки AC_3 перед зоной обработки фрезой 4. Плазменную струю 10 совмещают с поверхностью резания для нагрева срезаемого слоя.

Рассмотрим точечный источник тепла постоянной мощности q , который с постоянной скоростью v движется прямолинейно по плоской поверхности полубесконечного тела. Схема движения источника тепла в системе координат x, y, z представлена на рис. 2.

Пусть за время t он переместился из точки θ_0 в точку θ . Температура произвольной точки $A(x, y, z)$ (координаты x, y, z берутся в подвижной системе координат с началом в точке θ) определяется по формуле [2]:

$$T(x, y, z, t) = \frac{q}{\lambda \pi^{3/2} R} \exp\left(-\frac{vx}{2a}\right) \int_{\frac{R}{2\sqrt{at}}}^{+\infty} \exp\left(-u^2 - \left(\frac{vR}{4a}\right)^2 \cdot \frac{1}{u^2}\right) du, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Дж/см·с·К;

a – коэффициент температуропроводности, см²/с.

Эффективная мощность сварочной дуги рассчитывается по зависимости:

$$q = 0,24UI\eta,$$

где η – эффективный КПД сварочной дуги;

U – напряжение дуги, В;

I – сила сварочного тока, А.

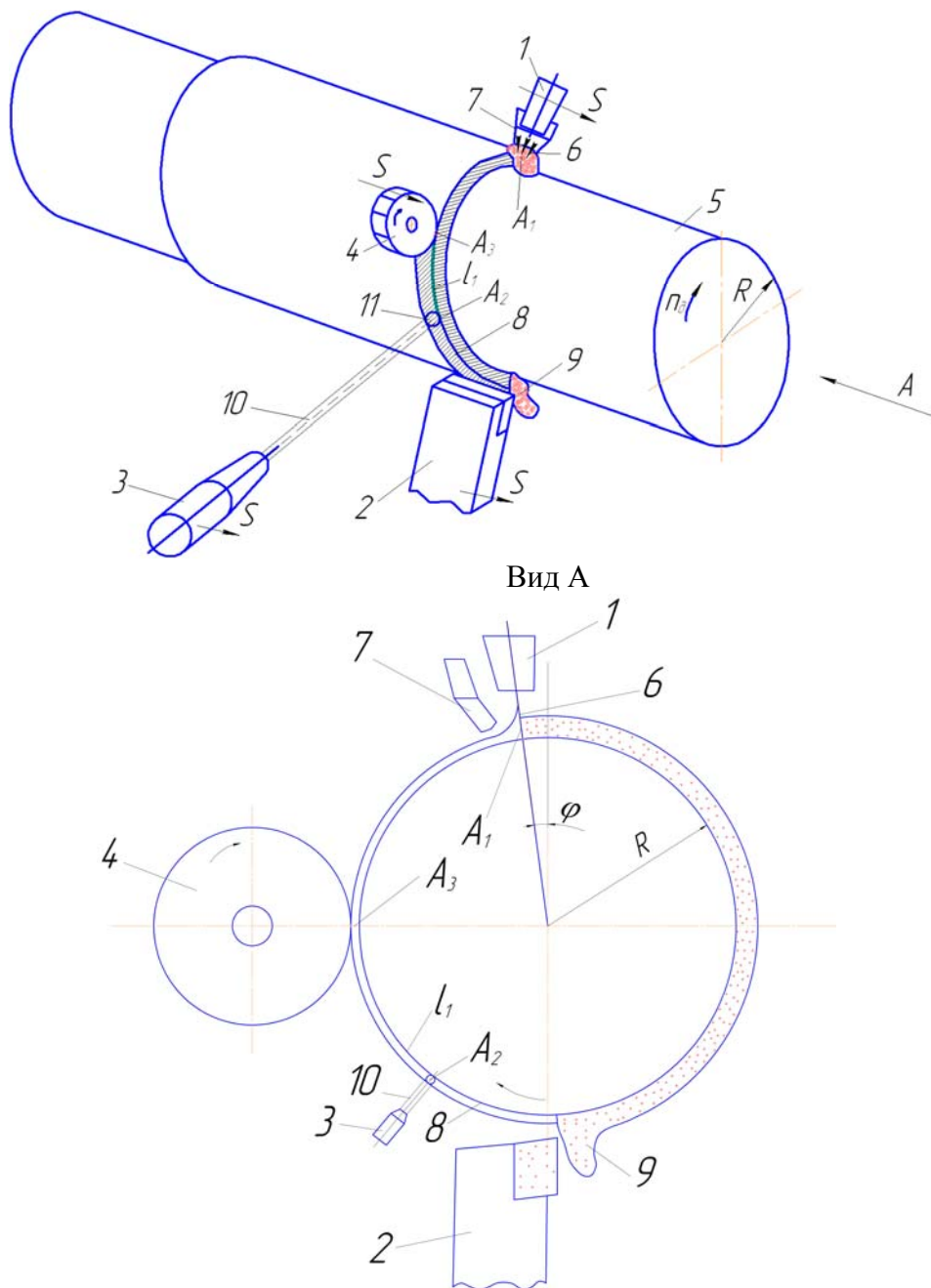


Рисунок 1 – Схема наплавки металлоемкой детали с одновременным подогревом и механической обработкой металлопокрытия

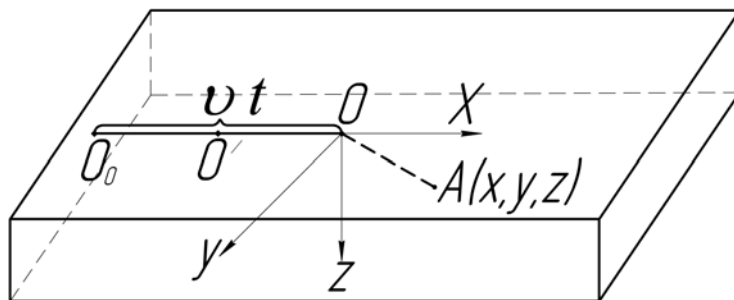


Рисунок 2 – Схема движения источника тепла в системе координат x, y, z

Обозначив через l расстояние, пройденное источником теплоты за время t , будем иметь: $l = 0,0 = vt$. Так как для точки 0_0 $x=-l, y=z=0$ и $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = l$, то формула (1) для нее будет иметь вид:

$$T(l) = T(-l, 0, 0, \frac{l}{v}) = \frac{q}{\lambda \pi^{1,5} l} \int_{\frac{1}{2\sqrt{\frac{lv}{a}}}}^{+\infty} \exp \left[-u^2 - \left(\frac{vl}{4au} \right)^2 + \frac{vl}{2a} \right] du. \quad (2)$$

Обозначив $\frac{vl}{4au} = m$, формулу (2) запишем в виде:

$$T(l) = \frac{qe^{2m}}{\lambda \pi^{1,5} l} \int_{\sqrt{m}}^{+\infty} \exp \left[-u^2 - \left(\frac{m}{u} \right)^2 \right] du. \quad (3)$$

Рассмотрим подынтегральную функцию $\varphi(u) = \exp \left[-u^2 - \left(\frac{m}{u} \right)^2 \right]$ в интеграле из формулы (3). В интервале $[0, +\infty]$ подынтегральная функция имеет вид, изображенный на рисунке 3.

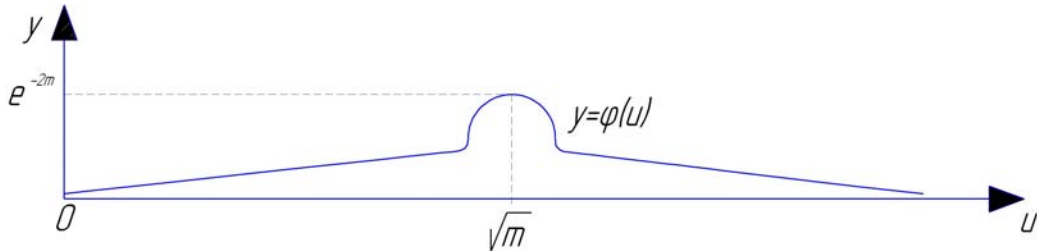


Рисунок 3 – График подынтегральной функции в интервале $[0, +\infty]$

Представим интеграл из выражения (3) в виде:

$$\int_{\sqrt{m}}^{+\infty} \varphi(u) du = \int_0^{+\infty} \varphi(u) du - \int_0^{\sqrt{m}} \varphi(u) du. \quad (4)$$

В интеграле $\int_0^{\sqrt{m}} \varphi(u) du = \int_0^{\sqrt{m}} \exp \left[-u^2 - \left(\frac{m}{u} \right)^2 \right] du$ выполним замену переменной: $\tau = m/u$.

Так как $u = m/\tau$ и $du = -\frac{m}{\tau^2} d\tau$, то:

$$\int_0^{\sqrt{m}} \varphi(u) du = m \int_{\sqrt{m}}^{+\infty} \frac{\exp \left[-\tau^2 - \left(\frac{m}{\tau} \right)^2 \right]}{\tau^2} d\tau.$$

Но при $t \geq \sqrt{m}$ выполняется неравенство $1/\tau^2 \leq 1/m$. Тогда:

$$\int_0^{\sqrt{m}} \varphi(u) du \leq \int_{\sqrt{m}}^{+\infty} \exp \left[-\tau^2 - \left(\frac{m}{\tau} \right)^2 \right] d\tau = \int_{\sqrt{m}}^{+\infty} \varphi(\tau) d\tau.$$

Итак:

$$\int_0^{\sqrt{m}} \varphi(u) du \leq \int_{\sqrt{m}}^{+\infty} \varphi(u) du. \quad (5)$$

Из выражения (4) и (5) получаем:

$$\int_{\sqrt{m}}^{+\infty} \varphi(u) du \geq \frac{1}{2} \int_0^{+\infty} \varphi(u) du .$$

Известно, что:

$$\int_{\sqrt{m}}^{+\infty} \exp \left[-u^2 - \left(\frac{m}{u} \right)^2 \right] du = \frac{\sqrt{\pi}}{2} e^{-2m} .$$

Следовательно:

$$T(l) \gg \frac{qe^{2m}}{2\lambda\pi^{1,5}l} \int_0^{+\infty} \exp \left[-u^2 - \left(\frac{m}{u} \right)^2 \right] du = \frac{qe^{2m}}{2\lambda\pi^{1,5}l} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot e^{-2m} = \frac{q}{4\pi\lambda} .$$

Если число $m = vl/4a$ достаточно велико (а это условие имеет место на практике), то интегралы в неравенстве (5) весьма близки по значению друг к другу. Таким образом, получаем, что температура полубесконечного тела в начальной точке O_0 движения источника тепла может быть рассчитана по формуле:

$$T(l) = q/4\pi\lambda, \tag{6}$$

где $l = vt$ – расстояние между точкой O , в которой находится источник тепла в рассматриваемый момент времени и точкой O_0 .

Процесс подогрева вращающейся цилиндрической детали сварочной дугой с эффективной тепловой мощностью q и подогреваемым устройством (плазмотрон, газовая горелка) с тепловой мощностью q_n можно представить как результат действия соответствующих источников,двигающихся по винтовой траектории, лежащей на поверхности неподвижной детали. Для вывода искомых формул цилиндрическую деталь длиной L развернем в эквивалентную в тепловом отношении пластину шириной L бесконечной длины и толщины $\delta_1 = \delta_0 \left(1 - \frac{\delta_0}{2R} \right)$, где $\delta_0 = R - r$, где R – радиус наплавляемой детали, r – внутренний радиус детали (рисунок 4).

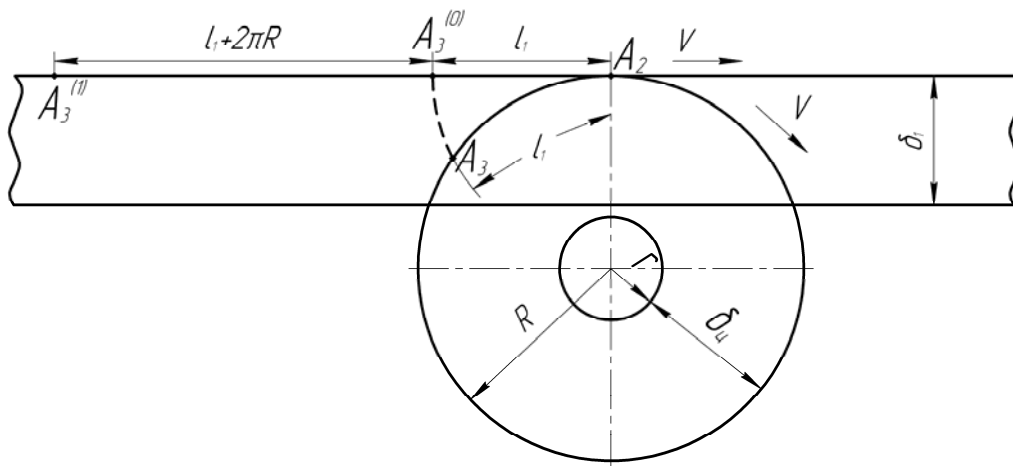


Рисунок 4 – Схема развертки массивной детали в эквивалентную тепловом отношении пластину

В плоской модели каждый из источников теплоты q и q_n движется прямолинейно с соответствующей постоянной скоростью v по поверхности пластины и температуры детали в реальной точке A_3 (рисунок 5) представляет собой сумму температур, вычисленных в фиктивных точках $A_3^{(0)}$, $A_3^{(1)}$..., число которых определяется номером наплавляемого валика.

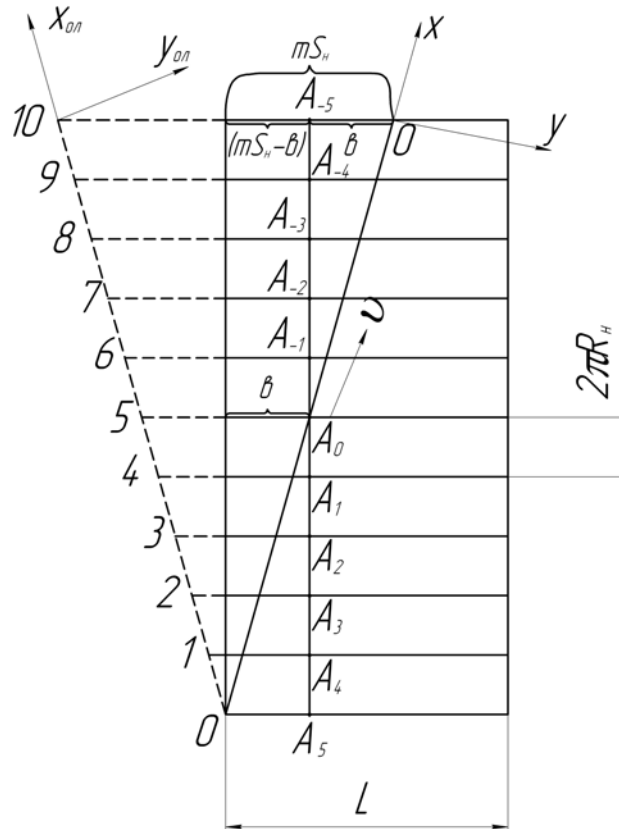


Рисунок 5 – Схема расположения фиктивных точек при расчете температур в зоне механической обработки в момент наплавки десятого валика

Чтобы найти температуру первого наплавленного валика при наплавке его в зону обработки, получаемую от источника подогревающего устройства мощностью q_n , в плоской модели рассмотрим источник тепла q_n , вышедший из положения $A_3^{(0)}$, $A_3^{(1)}$ и переместившейся прямолинейно со скоростью v в положении A_2 . Складываемая температура в фиктивных точках $A_3^{(0)}$ и $A_3^{(1)}$ лежащих позади источника теплоты, получим, что температура начала первого наплавленного валика при попадании его в зону обработки, получаемая от источника тепла мощностью $q_n \eta_n$ (η_n – тепловой к.п.д. подогревающего устройства), равна:

$$T(l_1) = T(l_1 + 2\pi R) = \frac{q_n \eta_n}{4\pi\lambda} \left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_1 + 2\pi R} \right) = \frac{q_n \eta_n (l_1 + \pi R)}{2\pi R l_1 (l_1 + 2\pi R)}. \quad (7)$$

Температура наплавленного металла в зоне обработки, получаемая от сварочной дуги мощностью q , определяется по формуле:

$$T \left(\frac{270^\circ + \varphi}{360^\circ} \cdot 2\pi R \right) = \frac{360^\circ \cdot q}{4\pi\lambda (270^\circ + \varphi) 2\pi R} = \frac{q}{6\pi^2 \lambda R}. \quad (8)$$

Пусть T_p – требуемая температура наплавленного металла в зоне резания. Из формул (7) и (8) получаем равенство:

$$T_p = \frac{q_n \eta_n (l_1 + \pi R)}{2\pi\lambda l_1 (l_1 + 2\pi R)} + \frac{q}{6\pi^2 \lambda R}. \quad (9)$$

Уравнение (9) можно разрешить как относительно l_1 , так и q_n . Соответственно будем иметь:

$$l_1 = \sqrt{\left(\frac{q_n \eta_n}{4\pi\lambda \left(T_p - \frac{q}{6\pi^2 \lambda R} \right)} \right)^2 + (\pi R)^2} + \frac{q_n \eta_n}{4\pi\lambda \left(T_p - \frac{q}{6\pi^2 \lambda R} \right)} - \pi R. \quad (10)$$

$$q_n = \frac{2\pi\lambda l_1 (l_1 + 2\pi R)}{\eta_n (l_1 + \pi R)} \left(T_p - \frac{q}{6\pi^2 \lambda R} \right). \quad (11)$$

Рассматривая последовательные фиктивные точки $A_3^{(k)}$ ($k=0,1,2,3\dots$) сообразно количеству наплавленных валиков, по наличию с формулой (7) получим, что температура в зоне обработки n -го наплавленного валика ($n=1,2,3\dots$), получающая от сварочной дуги, удельной от зоны резания на расстояние l и источника сопутствующего подогрева удаленного на расстояние l_1 , записывается в виде:

$$T_{pn} = \frac{1}{4\pi\lambda} \sum_{k=0}^n \left(\frac{q_n \eta_n}{l_1 + 2\pi k R} + \frac{q}{l + 2\pi k R} \right). \quad (12)$$

Таким образом, температура в зоне обработки в процессе наплавки детали под действием сварочной дуги и сопутствующего подогрева растет и ее можно определить для каждого валика по формуле (12).

Ввиду конечной теплоемкости детали температура всех ее точек в процессе комплексной наплавки будет быстро повышаться. Определим момент времени, после которой сопутствующий подогрев можно выключить, а необходимая температура в зоне обработки будет поддерживаться теплом сварочной дуги.

Согласно теплофизическим соображениям средняя температура точек детали (как если бы деталь прогревалась по всему своему объему равномерно) равна $T_{cp} = \theta / C$, $^{\circ}C$. При количестве наплавленных валиков N_l время нагрева детали сварочной дугой и сопутствующим подогревом равно $t = 60 / n_o \cdot N$, а количество тепла θ , введенного в деталь, определяется из выражения:

$$\theta = (q_n + q)t = \frac{60}{n_o} N (q_n + q). \quad (13)$$

Предполагаем, что отток тепла с поверхности детали в пространство не происходит. Теплоемкость детали определяется из выражения:

$$C = mc = \pi (R^2 - r^2) L_o \cdot \rho \cdot c, \quad (14)$$

где L_o – длина наплаваемой детали, мм;

c – удельная теплоемкость металла детали, Дж/(кг·К);

ρ – плотность металла, г/см³.

Подставляя формулы (13) и (14) в выражение $T_{cp} = \theta / C$, $^{\circ}C$ получим:

$$N = \frac{\pi (R^2 - r^2) L_o \cdot \rho \cdot c \cdot n_o \cdot T_{cp}}{60 (q_n - q)}. \quad (15)$$

При шаге наплавки S_n , ширина наплавленного слоя металла B_n равна $B_n = N \cdot S_n$, откуда $N = B_n / S_n$. Подставляя значения N в выражение (15), получим:

$$B_n = \frac{\pi (R^2 - r^2) L_o \cdot \rho \cdot c \cdot n_o \cdot S_n \cdot T_{cp}}{60 (q_n - q)}. \quad (16)$$

Когда средняя температура детали в процессе наплавки и подогрева, требуемая в зоне механической обработки, достигнет значения T_p , дальнейший сопутствующий подогрев будет не нужен. Отток теплоты компенсируется теплом сварочной дуги при нанесении последующих валиков наплавленного металла. Адекватность полученных зависимостей подтверждена экспериментально. Расхождение между экспериментальными и расчетными данными не превышает 10 %.

Выводы

На основании выполненных исследований получена методика расчета температуры наплавленного металла в зоне механической обработки металлоемких деталей с подогревом, адекватно отражающая особенности процесса, что позволяет рекомендовать ее для практического применения при разработке малооперационных технологических процессов восстановления изношенных цилиндрических деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко, Н.И. Повышение эффективности механической обработки наплавленного металла за счет тепла, генерируемого сварочной дугой: дисс. д-ра техн. наук. – Самара, 1991. – 408 с.
2. Бойко, Н.И. Малооперационная ресурсосберегающая технология повышения качества наплавленного металла: Монография / Н.И. Бойко, Г.В. Санамян. – Ростов н/Д: РГУПС, 2007. – 226 с.
3. Санамян, Г.В. Исследование сил резания при фрезеровании горячего наплавленного металла с применением математического планирования эксперимента //Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. - № 2-3 (292). – С. 49-55.

Бойко Николай Иванович

Ростовский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВПО РГУПС), доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация и ремонт машин», 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, телефон (863) 272-64-29, e-mail: erm@kaf.rgups.ru

Санамян Георгий Валерьевич

Ростовский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВПО РГУПС), кандидат технических наук, ассистент кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, телефон (863) 247-64-44, e-mail: George.VS@inbox.ru

Санамян Валерий Геворгович

Ростовский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВПО РГУПС), кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, телефон (863) 247-64-44, e-mail: George.VS@inbox.ru

N.I. BOYKO, G.V. SANAMYAN, V.G. SANAMYAN

THE TEMPERATURE CALCULATION OF WELDING METAL IN A ZONE OF PROCESSING BY CUTTING OF METAL-CONSUMING DETAILS WITH HEATING

In work are executed researches temperature of welding metal in a zone of machining of a metal coating in the course of its drawing at restoration of the worn out cylindrical details. The design procedure of temperature fields in a zone of contact of the tool with a processed surface is developed at additional heating of metal-consuming details.

Keywords: temperature, welding, cutting, metal, heating, a detail, calculation, a source, heat.

BIBLIOGRAPHY

1. Bojko, N.I. Povyshenie jeffektivnosti mehanicheskoj obrabotki naplavlennogo metalla za schet tepla, generiruемого сварочной дугой: diss. d-ra tehn. nauk. – Samara, 1991. – 408 s.
2. Bojko, N.I. Malooperacionnaja resursosberegajushhaja tehnologija povysheniya kachestva naplavlennogo metalla: Monografija / N.I. Bojko, G.V. Sanamjan. – Rostov n/D: RGUPS, 2007. – 226 s.
3. Sanamjan, G.V. Issledovanie sil rezanija pri frezerovanii gorjachego naplavlennogo metalla s primeneniem matematicheskogo planirovaniya jeksperimenta //Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2012. - № 2-3 (292). – S. 49-55.

Boyko Nikolay Ivanovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Chair «Exploitation and repair of the machines»,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,
phone (863) 272-64-29,
e-mail: erm@kaf.rgups.ru

Sanamyan Georgiy Valerievich

Rostov State Transport University (RSTU),
Candidate of Engineering Sciences, assistant Chair «Exploitation and repair of the machines»,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,
phone (863) 247-64-44,
e-mail: George.VS@inbox.ru

SanamyanValeriy Gevorgovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Candidate of Engineering Sciences, Associated Professor Chair «Exploitation and repair of the machines»,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,
phone (863) 247-64-44,
e-mail: George.VS@inbox.ru

УДК 621.774.6

С.И. ВДОВИН, Н.И. МАРКИН, К.С. ЛУНИН, Н.В. ТАТАРЧЕНКОВ

К РАСЧЕТУ ПРУЖИНЕНИЯ ПРИ ГИБКЕ ТРУБ

На основе выборочного условия равновесия внутренних сил оценивается правомерность допущений и аппроксимаций, используемых в инженерных расчетах изгибающего момента и пружинения.

Ключевые слова: чистый изгиб, деформации жесткопластического материала, изменение кривизны средней линии сечения.

Гибка труб является довольно распространенной операцией. Однако эта операция сопровождается появлением ряда технологических проблем [1-3], которые необходимо решать как на теоретическом, так и на практическом уровнях.

При изготовлении трубопроводов машиностроительного назначения применяют специальный гибочный инструмент, в том числе копир, или шаблон, условный радиус которого R_0 назначают с учетом изменения кривизны оси изогнутого участка трубы (пружинения) в процессе разгрузки:

$$\frac{1}{R_{\text{ост}}} - \frac{1}{R_0} = \frac{-M_{\text{изг}}}{EI} \quad (1)$$

Остаточные значения радиуса оси $R_{\text{ост}}$ и угла изгиба $\varphi_{\text{ост}}$ должны соответствовать размерам чертежа трубопровода. Потребный изгибающий момент $M_{\text{изг}}$ определяют расчетным путем. Зная модуль упругости материала E , а также момент I инерции сечения трубы, находят искомый радиус R_0 .

Инженерные методики расчета пружинения не учитывают приобретаемую при гибке разнотолщинность стенки трубы, поскольку ее влияние на числитель и знаменатель правой части (1) примерно одинаково. Наибольшую погрешность вносят допущения, прямо или косвенно связанные с напряжением σ_φ , уравновешивающим $M_{\text{изг}}$. Их правомерность можно оценить с позиций статического равновесия условно вырезанного элемента трубы из жесткопластического материала, подвергнутой изгибу моментом (чистому изгибу), рисунок 1.

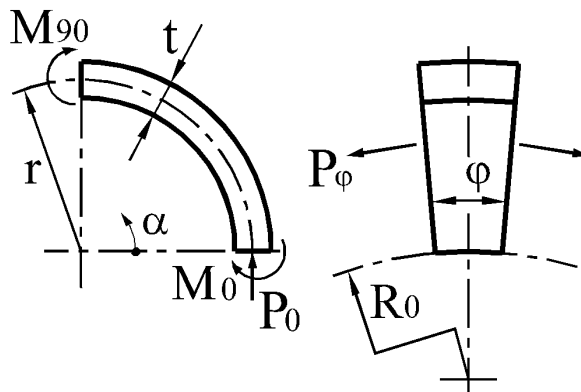


Рисунок 1 – Схема внутренних сил и моментов

Исходя из соотношений: $t \ll r$, $R_0 \gg r$, принимаем $\varepsilon_\varphi = \frac{r \sin \alpha}{R_0}$, $\sigma_\rho = 0$. Тогда

$\sigma_\varphi = \frac{2\sigma_s}{3\varepsilon_i}(2\varepsilon_\varphi + \varepsilon_\alpha)$, $\sigma_\alpha = \frac{2\sigma_s}{3\varepsilon_i}(2\varepsilon_\alpha + \varepsilon_\varphi)$, σ_s – напряжение текучести, ε_i – интенсивность деформаций. При неизменно круглой форме сечения трубы $\varepsilon_\alpha = -0,5\varepsilon_\varphi$, $\sigma_\alpha = 0$, $\sigma_\varphi = \sigma_s$, $M_{90} = 0$. Момент M_0 противодействует паре сил P_0 и P_φ (угол φ мал) и по мере

уменьшения радиуса оси достигает максимального значения $M_{0\max} = \sigma_s t^2 R_0 \varphi / 4$. До этого материал нейтральной поверхности оставался жестким.

Момент названной пары сил

$$M_\varphi = tr^2 \varphi \int_0^{\pi/2} \sigma_\varphi (1 - \cos \alpha) d\alpha . \quad (2)$$

Условие равновесия моментов внутренних сил: $M_\varphi \leq M_{0\max}$ трансформируется к виду:

$$\frac{R_0}{r} \geq 4 \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) \frac{r}{t} . \quad (3)$$

Таким образом, область допустимого использования модели изгиба трубы с недеформируемым сечением располагается выше линии 1 на рисунке 2.

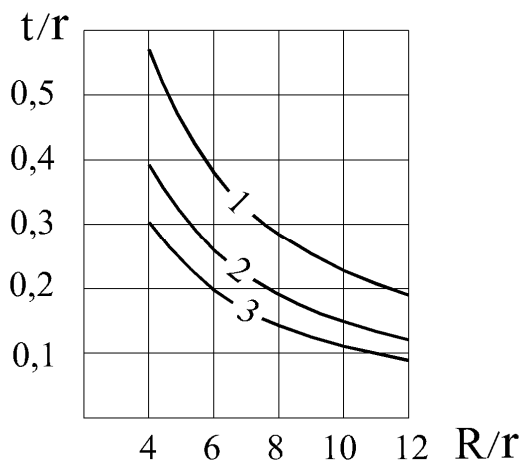


Рисунок 2 – Графики выполнения условия равновесия
1 – согласно неравенству (3); 2 и 3 – при $v_1 = 0,2$ и $v_1 = 0,3$

Альтернативная модель, предполагающая эволюцию формы сечения изгибаемой трубы из круглой в овальную, позволяет расширить область соблюдения статического равновесия. Изгиб стенки трубы в поперечном направлении вызывает уменьшение напряжения σ_φ и его составляющей P_φ , в уравнение равновесия добавляется момент M_{90} , см. рисунок 1.

Определение размеров овала связано с аппроксимацией перемещений точек средней линии стенки трубы “подходящими функциями”, простейшие из них [4]: $u_r = v_1 r \cos 2\alpha - 0,5\varepsilon_\varphi r$, $u_\alpha = -0,5v_1 r \sin 2\alpha$. Значение варьируемого параметра v_1 определяют из условия минимума полной потенциальной энергии. С учетом приведенных выше функций u_r и u_α каноническая формула деформации $\varepsilon_\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{du_\alpha}{d\alpha} + \frac{u_\rho}{\rho}$ упрощается к виду:

$$\varepsilon_\alpha = -0,5\varepsilon_\varphi + \Delta\xi(y - c). \quad (4)$$

Ее второй компонент учитывает деформации изгиба $\varepsilon_{изг}$ стенки в поперечном направлении, вызванные изменением кривизны $\Delta\xi$ средней линии (окружности радиуса r в исходном состоянии); при этом y – расстояние, c – смещение нуля деформации $\varepsilon_{изг}$, которые отсчитываются от названной окружности в направлении от оси трубы.

Для малых значений произведения $\Delta\xi r < 0,2$ принимают $\Delta\xi \approx -(u_r + u_r'')/r^2$, точная формула: $\Delta\xi = \frac{(r + u_r)^2 + 2u_r'^2 - u_r''(r + u_r)}{[(r + u_r)^2 + u_r'^2]^2} - \frac{1}{r}$; значения $\Delta\xi_{\max} r$ и $\Delta\xi_{\min} r$ (при $\alpha = 0$ и $\alpha = 90^\circ$),

подсчитанные по точной и приближенной формулам, приведены в таблице.

Таблица - Экстремальные изменения кривизны средней линии $\Delta\xi_{\max}$ и $\Delta\xi_{\min}$, отнесенные к исходному значению $\xi = 1/r$

ν_1	0,05	0,1	0,2	0,3
$\Delta\xi_{\max}r$	0,134	0,240	0,389	0,479
$\Delta\xi_{\min}r$	-0,169	-0,383	-1,000	-2,020
$\Delta\xi_{\max,\min} \approx \pm 3\nu_1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 0,9$

Данные таблицы применимы к рассматриваемой конкретной функции u_r .

Второе слагаемое правой части формулы ε_α (4) сокращается в выражении $\varepsilon_i = 2\sqrt{(\varepsilon_\varphi^2 + \varepsilon_\alpha^2 + \varepsilon_\varphi \varepsilon_\alpha + 0,25\gamma_{r\alpha}^2)}/3$, где $\gamma_{r\alpha} = -2\nu_1 \sin 2\alpha - 0,5r \cos \alpha / R_0$. Следовательно, смещение нуля деформации $\varepsilon_{\text{изг}} c = 0$, исходя из равной нулю равнодействующей эпюры напряжения σ_α в пренебрежении влиянием силы P_0 . Момент эпюры напряжений σ_α , подсчитываемый как

$$M_\alpha = (R_0 + r \sin \alpha)\varphi \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_\alpha y dy, \tag{5}$$

имеет тот же знак, что и величина $\Delta\xi$, т.е. положительный при $\alpha = 0$, и отрицательный при $\alpha = 90^\circ$. В приближенном условии равновесия

$$M_\varphi = M_0 - M_{90} \tag{6}$$

абсолютные значения моментов M_0 и M_{90} , имеющих одинаковое направление, суммируются. Этому уравнению и фиксированным значениям варьируемого параметра ν_1 функций u_r и u_α соответствуют линии 2 и 3 на рисунке 2.

Точки линий 2 и 3 в координатах рисунка 2 находили, задавая отношение R_0/r и подбирая другое отношение t/r , использование которых в формуле (5) моментов M_0 и M_{90} , а также в формуле (2) приводит к выполнению условия (6). При $\alpha = 90^\circ$ и $\nu_1 = 0,2$ $\Delta\xi_{90} = -1/r$ (т.е. остаточная кривизна $\xi_{90} = 0$), уменьшение высоты и увеличение ширины сечения составляет 20%. При $\nu_1 = 0,3$, $\Delta\xi_{90} \approx -2/r$ и согласно приведенной выше функции перемещения u_r форма сечения похожа на знак ∞ .

Влияние поперечного изгиба стенки трубы на величину изгибающего момента

$$M_{\text{изг}} = 4r^2 \int_{\frac{-t}{2}}^{\frac{t}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sigma_\varphi \sin \alpha d\alpha dy \tag{7}$$

и соответственно – на пружинение трубы иллюстрирует рисунок 3, где момент $M_{\text{изг}}$ напряжений σ_φ (согласно (7) и данным графиков 2, 3 на рис. 2) отнесен к его условному значению $M_{\text{усл}}$, подсчитанному по той же формуле (7) с заменой σ_φ на σ_s .

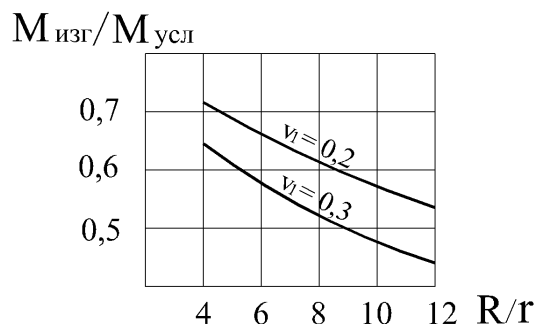


Рисунок 3 – Относительная величина изгибающего момента

Для выполнения условия равновесия (6) в области малых отношений t/r , расположенной ниже линии 3 на рисунке 2, требуется дальнейшее уменьшение момента $M_{изг}$, по сравнению с $M_{усл}$, за счет усложнения функции, аппроксимирующей перемещение u_r [5]. Однако неограниченное уменьшение правой части формулы (7) невозможно. Очевидно, в расчете изгиба и пружинения особо тонкостенных труб необходимо учитывать гофрообразование, при котором происходит резкое уменьшение изгибающего момента.

Заключение. Погрешность расчета пружинения образуется, в основном, приближенным представлением напряжений, уравнивающих внешний момент. В значительной части сечения трубы, принимающего овальную форму при гибке, эти напряжения существенно меньше напряжения текучести. Параметры овала определяются из условия минимума полной потенциальной энергии системы с аппроксимацией перемещений “кинематически подходящими” функциями. Использование выборочного условия равновесия внутренних сил позволяет повысить точность аппроксимации и – в конечном счете – пружинения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вдовин, С.И. Изгиб трубы по круглому копиру / С.И. Вдовин, В.Н. Михайлов, Н.В. Татарченков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2009. - № 5/277(576). – С. 54-58.
2. Вдовин, С.И. Адаптивное управление гибкой труб по круглому копиру / С.И. Вдовин, О.В. Дорофеев, К.С. Лунин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.- 2012. - № 6 (296). – С. 54-57.
3. Вдовин, С.И. Утонение стенки трубы при гибке по копиру / С.И. Вдовин, К.С. Лунин, Д.Н. Мальцев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. - № 3 (299). – С. 57-60.
4. Билобран, Б.С. Сплющивание тонкостенных труб при свободном пластическом изгибе /Б.С. Билобран // Кузнечно-штамповочное производство. – 1968. - № 7. - С. 19 – 23.
5. Вдовин, С.И. Инженерный метод вариационной оценки пластических деформаций: учебное пособие для высшего профессионального образования /С.И. Вдовин, Т.В. Федоров. - Ч. 1. Гибка труб. - Орел: Госуниверситет – УНПК, 2013. – 93 с.

Вдовин Сергей Иванович

Госуниверситет - УНПК, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры Автопласт
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Моб. и служ. тел.: 8-905-167-0517, 41-68-77
E-mail: vdovostu@mail.ru

Маркин Николай Иванович

Госуниверситет - УНПК, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры Автопласт
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
тел.: 8 (4862) 41-68-77
E-mail: vdovostu@mail.ru

Лунин Константин Сергеевич

Госуниверситет - УНПК, г. Орел
аспирант кафедры Автопласт
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Моб. и служ. тел.: 8-929-060-4242, 41-68-77
E-mail: kivinok2@mail.ru

Татарченков Николай Владимирович

Госуниверситет - УНПК
Учебный мастер кафедры Автопласт
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
тел.: 8 (4862) 41-68-77
E-mail: vdovostu@mail.ru

S.I. VDOVIN, N.I. MARKIN, K.S. LUNIN, N.V. TATARCHENKOV

TO SPRINGING CALCULATION AT ARE FLEXIBLE PIPES

On the basis of a selective condition of balance of internal forces legitimacy of assumptions and the approximations used in engineering calculations of the bending moment and springing is estimated.

Keywords: *pure bend, deformations of a zhestkoplásticosky material, change of curvature of the average line of section.*

BIBLIOGRAPHY

1. Vdovin, S.I. Izgib trubы po kruglomu kopiru / S.I. Vdovin, V.N. Mihajlov, N.V. Tatarchenkov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2009. - № 5/277(576). – S. 54-58.
2. Vdovin, S.I. Adaptivnoe upravlenie gibkoj trubы po kruglomu kopiru / S.I. Vdovin, O.V. Doro-feev, K.S. Lunin // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii.- 2012. - № 6 (296). – S. 54-57.
3. Vdovin, S.I. Utonenie stenki trubы pri gibke po kopiru / S.I. Vdovin, K.S. Lunin, D.N. Mal'cev //Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2013. - № 3 (299). – S. 57-60.
4. Bilobran, B.S. Spljushhivanie tonkostennyh trub pri svobodnom plasticheskom izgibe /B.S. Bilo-bran //Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1968. - № 7. - S. 19 – 23.
5. Vdovin, S.I. Inzhenernyj metod variacionnoj ocenki plasticheskikh deformacij: uchebnoe posobie dlja vysshego professional'nogo obrazovaniya /S.I. Vdovin, T.V. Fedorov. - Ch. 1. Gibka trub. - Orel: Gos-universitet – UNPK, 2013. – 93 s.

Vdovin Sergey Ivanovich

State University - UNPK, Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor, Department Avtoplast
302020, Orel, Naugorskoe Highway 29
Mob. and servi. Tel.: 8-905-167-0517, 41-68-77
E-mail: vdovostu@mail.ru

Markin Nikolay Ivanovich

State university - UNPK. Eagle
Candidate of Technical Sciences, associate professor Avtoplast
302020. Eagle, Naugorskoye Highway, 29
ph.: 8 (4862) 41-68-77
E-mail: vdovostu@mail.ru

Lunin Konstantin Sergeevich

State University - UNPK, Orel
graduate student Avtoplast
302020, Orel, Naugorskoe Highway 29
Mob. and servi. Tel.: 8-929-060-4242, 41-68-77
E-mail: kivinok2@mail.ru

Tatarchenkov Nikolay Vladimirovich

State University - unpk
Master training Department Avtoplast
302020,, Orel, Naugorskoye shosse, 29
phone: 8 (499) 41-68-77
E-mail: vdovostu@mail.ru

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПУСКОЗАЩИТНОЙ МУФТЫ

В работе выполнен кинематический и силовой анализ пускозащитной муфты, получено уравнение движения привода с муфтой в момент разгона рабочей машины

Ключевые слова: сила, момент, муфта.

Работоспособность ряда машин и приборов во многом определяется правильным выбором используемых в них соединительных муфт. Среди большого их разнообразия широкое применение находят пускозащитные муфты. Эти муфты оказывают существенное влияние на динамические качества агрегата.

Одним из направлений улучшения динамических характеристик пускозащитных муфт является использование в их конструкции центробежных механизмов включения [1,2]. В этом случае они совмещают в себе положительные качества фрикционных и центробежных муфт. Применение таких муфт позволит расширить возможности уменьшения динамических перегрузок машин при использовании дешевых и надежных механических устройств (по сравнению с электрическими, гидравлическими и пневматическими системами регулирования).

Основная задача исследования состояла в разработке метода определения величины фрикционного момента в любой момент времени на участке разгона в зависимости от угловых скоростей ведомой и ведущей частей муфты.

Величина фрикционного момента, а, следовательно, и темп движения рабочей машины при разгоне зависят от многих параметров пускозащитной муфты и системы в целом: от числа шаров и их массы, от геометрии профиля регулирующего диска, от величины предварительного поджатия нажимной пружины, ее жесткости, от угловой скорости и характеристики технологической машины.

Для анализа работы муфты рассмотрим кинематику движения шара 4 (рис. 1) в дифференциальном узле муфты. Шар контактирует с регулирующим диском 5 в точке В. Этот диск приводит во вращение шар. Диск всегда вращается с угловой скоростью, равной угловой скорости ротора электродвигателя ω_1 . Нажимной диск 6 связан с ведомой полумуфтой 3 через шпонку и вращается с угловой скоростью, равной угловой скорости вала рабочей машины ω_2 . Шар 4 будет контактировать с диском 6 в точке А.

Для определения скоростей элементов нажимного механизма пускозащитной муфты использовалась теорема Виллиса, на основании которой была получена формула для определения угловой скорости сепаратора:

$$\omega_n = \frac{(\omega_1 + \omega_2)y + \omega_1 r \cos \beta}{2y + r \cos \beta}, \quad (1)$$

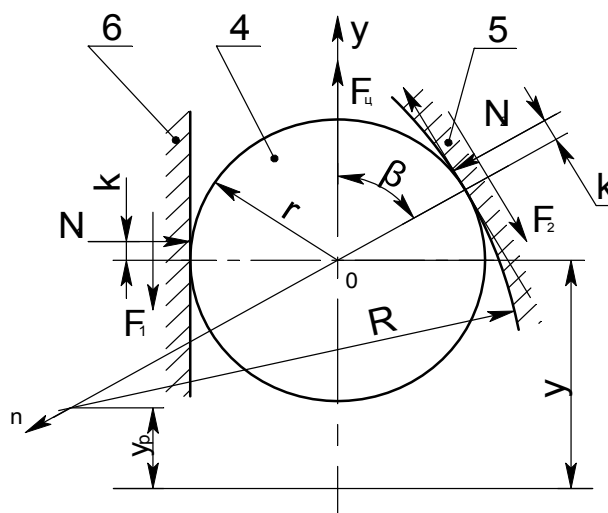


Рисунок 1 – Схема действия сил при движении шара от оси вращения муфты

а угловые скорости шара относительно горизонтальной и вертикальной осей соответственно имеют следующий вид:

$$\omega_x = \frac{(\omega_1 - \omega_2)(y + r \cos \beta)(1 - \sin \beta)y}{(2y + r \cos \beta)r \cos \beta}; \quad (2)$$

$$\omega_y = \frac{(\omega_1 - \omega_2)(y + r \cos \beta)y}{(2y + r \cos \beta)r}, \quad (3)$$

где y – расстояние от оси вращения муфты до центра тяжести шара;

r – радиус шара;

β – текущее значение угла контакта шара с регулирующим диском.

Угловая скорость шара

$$\omega_{\text{ш}} = \frac{(\omega_1 - \omega_2)(y + r \cos \beta)y}{(2y + r \cos \beta)r \cos \theta}, \quad (4)$$

где θ – угол между векторами $\vec{\omega}_{\text{ш}}$ и $\vec{\omega}_y$, $\theta = \arctg\left(\frac{1}{\cos \beta} - \operatorname{tg} \beta\right)$.

При силовом анализе был принят ряд допущений: коэффициент трения скольжения шара о диски и коэффициент трения во фрикционной паре считаем постоянными и не зависящими от скорости скольжения и давления; силы трения между нажимными, регулирующими дисками, сепаратором и ведомой полумуфтой не учитываем.

В основу силового расчета был положен принцип кинестатики, согласно которому получено:

$$F_2 = F_1 - (N_2 - N_1)\frac{k}{r}; \quad (5)$$

$$N_1 = F_{\text{ц}} \sin \beta / (\cos \beta + f \sin \beta + f); \quad (6)$$

$$N_2 = F_{\text{ц}}(1 + f \cos \beta) / (\cos \beta + f \sin \beta + f). \quad (7)$$

где N_1, N_2, F_1, F_2 – нормальные реакции и силы трения в точках контакта шара с нажимным и регулирующим дисками соответственно;

k – коэффициент трения качения;

f – коэффициент трения скольжения шара о диски;

$F_{\text{ц}}$ – центробежная сила инерции в переносном движении.

Величина переносной силы $F_{\text{ц}} = m_{\text{ш}} y \omega_{\text{ц}}^2$,

где $y = y_p + (R - r)$;

$m_{\text{ш}}$ – масса шара;

R – радиус профиля регулирующего диска 5;

y_p – координата центра окружности, которой описан профиль регулирующего диска.

Так как величина k мала, то из выражения (4) вытекает очень важный вывод о равенстве касательных реакций в точках контакта шара с регулирующим и нажимным дисками. Поскольку из выражений (5) и (6) следует, что N_2 всегда больше N_1 при $\beta > 90^\circ$, то при перемещении шара по радиусу от центра муфты к наружному диаметру в точке контакта шара с регулирующим диском будет реализовываться только часть возможной силы трения, то есть имеет место качение шара, а в точке же контакта с нажимным диском она может быть реализована полностью, то есть имеет место проскальзывание. Это подтверждается практикой эксплуатации таких муфт. После некоторого времени работы на поверхности нажимного диска появляется блестящий поясok в зоне контакта его с шарами. На регулирующем диске такой поясok отсутствует. Условие движения шаров от оси вращения муфты имеет вид:

$$F_{\text{ц}} \geq F_1 + F_2 \sin \beta + N_2 \cos \beta \quad \text{или} \\ \omega_{\text{ц}} \geq \sqrt{\frac{N_1 (\cos \beta + f \sin \beta + f)}{m_{\text{ш}} [y_p + (R - r) \cos \beta] \sin \beta}} \quad (8)$$

где $z_{ш}$ – число шаров.

В момент останова муфты, когда центробежная сила $F_{ц} = 0$, шары под действием сил N_1 и N_2 стремятся переместиться по направлению к оси вращения муфты. Этому перемещению препятствуют силы трения. Очевидно существует некоторое предельное значение угла β_0 , при котором движение шаров прекращается. Величину начального угла контакта β_0 шара с регулирующим диском следует ограничить условием

$$\beta_0 < 90^\circ - 2\rho_{тр},$$

где: $\rho_{тр}$ – угол трения;

f_n – коэффициент трения покоя.

Движение привода в момент разгона рабочей машины вместе с ведомой полумуфтой описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$I_{пр2} \frac{d\omega_2}{dt} + \frac{1}{2} \frac{dI_{ц2}}{d\varphi_2} \omega_2^2 = T_\phi - T_c,$$

где: $I_{пр2}$ – приведенный момент инерции рабочей машины;

$\omega_2; \varphi_2$ – угловая скорость и угол поворота ведомой полумуфты;

T_ϕ – фрикционный момент, передаваемый муфтой;

T_c – момент сил сопротивления со стороны рабочей машины.

Решения уравнения разгона машинного агрегата с исследуемой муфтой получены для случаев, когда $T_c = const; I_{пр2} = const;$

$$T_c = T_{сп} + k_1 \omega_2; I_{пр2} = const,$$

где: $T_{сп}$ – момент сил сопротивления рабочей машины в начале пуска (при старте с места);

k_1 – постоянный коэффициент.

В результате расчетов были определены угловая скорость и время разгона рабочей машины для всех случаев.

Предложенный метод расчета пускозащитной муфты позволяет выбирать параметры узла регулирования муфты в зависимости от характеристики технологической машины таким образом, чтобы ускорение машины в процессе разгона не превышало допустимого.

Применение таких муфт в промышленных установках показало благоприятное их влияние на протекание технологического процесса, что подтверждает правильность предложенного метода расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство 418645 (СССР). Центробежная пусковая муфта/Авт. изобрет. Б.Г. Кобцев, В.Н. Коськин. Заявл. 31.01.1972, №1741625/25-27, опубл. 05.03.1974.
2. Корнеев, Ю.С. Исследование машинного агрегата с фрикционной муфтой и центробежным механизмом включения. Ю.С. Корнеев. М.:Известия ВУЗов. Машиностроение, 1986, №4, с. 31-35.

Корнеев Юрий Степанович

Госунiversитет – УНПК, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-96

Корнеева Елена Николаевна

Госунiversитет – УНПК, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: 41-98-48

Играшкина Наталия Александровна
Госуниверситет – УНПК, г. Орел
Студентка гр. 21 – С
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29

YU.S. KORNEEV, E.N. KORNEEVA, N.A. IGRASHKINA

ANALYSIS OF WORK OF A START-PROTECTIVE CLUTCH

In this article the kinematic and power analysis of a start-protective clutch is made and the equation of movement of a drive at the dispersal moment of working car is received

Keywords: force , moment, clutch.

BIBLIOGRAPHY

1. Avtorskoe svidetel'stvo 418645 (SSSR). Centrobezhnaja puskovaja mufta/Avt. izobret. B.G. Kobcev, V.N. Kos'kin. Zajavl. 31.01.1972, №1741625/25-27, opubl. 05.03.1974.
2. Korneev, Ju.S. Issledovanie mashinnogo agregata s frikcionnoj muftoj i centrobezhnym mehanizmom vkljucheniya. Ju.S. Korneev. M.:Izvestija VUZov. Mashinostroenie, 1986, №4, s. 31-35.

Korneev Yury Stepanovich

State university – UNPK. Orel
Candidate of Technical Sciences, associate professor
302020, Eagle, Naugorskoye Highway, 29
Ph.: 41-98-96

Korneeva Elena Nikolaevna

State university – UNPK. Orel
Candidate of Technical Sciences, associate professor
302020, Eagle, Naugorskoye Highway, 29
Ph.: 41-98-48

Igrashkina Natalia Aleksandrovna

State university – UNPK. Orel
Student rp. 21 – With
302020, Eagle, Naugorskoye Highway, 29

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **И ИНСТРУМЕНТЫ**

УДК: 621.002(075.8)

В.А. КОМАРОВ, В.В. ПЛЕШАКОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

Изложен подход к решению задачи повышения эффективности полнопрофильной механической обработки закаленных железнодорожных колес, обрабатываемых по технологии фирмы Hegenscheidt-MDF на станках RQQ, основанный на использовании базовых теоретических положений новой, названной "импульсной", теории резания и даны технические и экономические показатели ее решения. Показано, что решение этой задачи имеет значительный практический интерес для производителей железнодорожных колес любых типоразмеров.

Ключевые слова: точение, импульсная теория резания, эффективность, точность, шероховатость.

Проблемы, связанные с полнопрофильной обработкой железнодорожных колес, сформировались на предприятиях крупнейших производителей России. Они используют технологию механической обработки закаленных железнодорожных колес, разработанную фирмой Hegenscheidt-MDF под возможности оснащенных ЧПУ токарно-карусельных двухсуппортных станков RQQ. Станки RQQ - жесткие, динамически устойчивые даже при силах резания, достигающих значений 10000 кН. Они обладают высокой точностью для станков подобного типа. Радиальное биение шпинделя у нового станка не превышает $\delta_R \geq 25$ мкм. Обеспечивают высокую степень автоматизации для выполнения переходов, связанных с установкой, закреплением заготовки колеса и со сменой баз. Наличие двух суппортов позволяет реализовывать параллельное точение разных поверхностей, что характеризует их как наиболее эффективные по сравнению с односуппортными карусельными станками.

Тем не менее, используемая на заводах технология полнопрофильной токарной обработки закаленных железнодорожных колес на станках SQQ, имеет следующие существенные недостатки.

Использование на первом установе в качестве черных баз цилиндрической поверхности, имеющей отклонение от круглости $\delta_0 = 0,5$ мм, и торцевой поверхности с отклонением от плоскостности $\delta_n = 0,2$ мм, приводит к быстрой потере центрирования заготовки и созданию эксцентриситета величиной $e = \delta_0/2 = 0,25$ мм, чему способствует большая масса заготовки, около 500 кг. В результате этого подшипник шпинделя станка работает в режиме действия высоких ударных нагрузок. На первом установе величина ударной силы, независимо от величины удаляемого за проход припуска, составляет приблизительно 3700 кН. Время действия этих ударных нагрузок составляет 12 минут. На втором установе величина ударной силы меньше вдвое и составляет приблизительно 1650 кН. Время воздействия ударных нагрузок составляет половину машинного времени и тоже равно 13 минут.

Чтобы избежать воздействия больших ударных нагрузок на подшипники шпинделя необходимо осуществлять плановые предупредительные ремонты кулачков и рычагов зажима с гидравлическим приводом в сроки, зависящие от интенсивности эксплуатации станков, что плохо контролируется на производстве. Сроки технического обслуживания и ремонта, как правило, нарушаются.

Кроме того, по сложившейся практике применяются неэффективные режимы резания – малые скорости резания и большие подачи инструмента. Максимальная скорость резания при точении закаленной поверхности катания обода колеса достигает 240 м/мин, а продоль-

ная подача инструмента составляет 1,35 мм/об. При таких режимах сила резания достигает 15000 кН, а за 1,5 секунды она изменяется от 18700 до 15000 кН.

При таких высоких нагрузках резко снижается ресурс шпинделя и самого станка. Неоправданно увеличивается износ инструмента.

Большие припуски на обработку, малые скорости резания, большие подачи инструмента приводят к необходимости увеличения числа рабочих ходов, что резко снижает производительность обработки. Операционное время составляет 27,3 мин. Из них установка, снятие и перебазирование колеса занимает 2,2 мин.

На основе базовых положений “импульсной” теории резания [1, 2], разработана новая более эффективная технология точения колес на станках RQQ. Технический результат достигается за счет того, что выбор наиболее эффективных режимов резания для операции точения круглыми чашечными резцами осуществляют в заданной последовательности и по соотношениям, учитывающим:

- величину приращения температуры материала режущей части сверл - ΔT , как показателя интенсивности установившегося износа в зависимости от физико-механических и теплофизических свойств обрабатываемого и режущего материалов, формы и размеров передней грани режущей пластины, характеристик точности инструмента, оборудования и технологической оснастки;

- динамику процесса обработки, выраженную в количественном изменении фактической величины сечения удаляемой режущей кромкой стружки m и силы резания F .

На первом этапе минимальное возможное сечение стружки в направлении подачи, принимается равным величине радиального (или соответственно осевого) биения шпинделя станка δ , мм. Максимальное значение сечения стружки в этом направлении определяется как сумма двух составляющих $m = \delta + S_0$. Подача инструмента на оборот детали S_0 (мм/об) выбирается в расчете удаления всего припуска за один рабочий ход в зависимости от силы резания F :

$$F \geq K \sigma_b m t_{np}, \text{кН} \quad (1)$$

где: K – коэффициент внутреннего и внешнего трения ($K=3,4$); σ_b - предел прочности обрабатываемого материала, МПа; t_{np} – припуск, удаляемый за один рабочий ход, мм.

По заданной величине m рассчитывается частота вращения детали n :

$$n = 6 \frac{\sqrt{A d_p}}{\sqrt{\pi m^2 D t_{np}}}, \text{об / мин}, \quad (2)$$

где: A - постоянная физико-механических и теплофизических свойств обрабатываемого и режущего материалов, $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$; d_p - диаметр режущей пластины, мм; D - диаметр обтачиваемой поверхности или траектории резания, мм.

Постоянная A получена решением уравнения теплопередачи в однородной среде, в которой действует импульсный источник тепловыделения [1]:

$$\Delta T = 0,85 \sigma_R^{(m)} m K_{sh} \sqrt{\frac{V}{\pi d_x \lambda_t c_p^{(t)} \rho_t}} \sum_{i=1}^{N1} \frac{1}{\sqrt{i}}, \quad (3)$$

где: $N1 = l_x / l_i$ - число импульсов на пути резания l_x (для ротационной обработки $l_x = \pi D$, м; D - диаметр инструмента точения, м; $l_i = CWN/V$ – длина импульса, м; $W = \lambda_m / (c_p^m \rho_m)$ – температуропроводность обрабатываемого материала, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; V – скорость резания, м/с; $C^m = (\pi 3(1-2\mu_m)\sigma_R^m) / (E_m - 3(1-2\mu^m)\sigma_R^m)$ – постоянная физико-механических свойств обрабатываемого материала; $\sigma_R = \sigma_b(1+1,35\psi)$ - разрушающее напряжение, Па; σ_b - предел прочности, Па; E - модуль Юнга, Па; ψ - относительное сужение поперечного сечения при разрыве; μ - коэффициент Пуассона; N – величина характеризующая зону распространяемого теплового потока от зоны плавления материала в стружке, рассчитывается по специальному алгоритму или

определяется экспериментально; K_{sh} - коэффициент пропорциональности теплопоглощения Шарона [1].

Предварительные испытания новой технологии показали следующее. Операционное время обработки единичных чистовых баз по оригинальной кинематической схеме резания, реализованной на обрабатывающем центре фрезерной группы с ЧПУ, составляет 3 мин. Окончательная обработка колеса на станке SQQ, прошедшем малую модернизацию составляет 15 минут. Один станок обеспечивает заготовками 5 станков SQQ для полнопрофильной обработки колес. Ударные силы на первой операции, выполняемой на фрезерном станке, и далее при точении на станке SQQ отсутствуют из-за малого эксцентриситета, который составляет менее 2,5 мкм. При максимальной скорости резания при точении закаленной поверхности катания обода колеса (до 480 м/мин) и максимальной подаче (0.9 мм/об) стационарная сила резания достигает 7600 Н без существенных колебаний. Зеленая зона шкалы колебания мощности на дисплее компьютера станка колеблется в пределах 12-17%. И это при условии, что включен второй низкомоментный скоростной редуктор шпинделя.

Новая технология точения закаленных железнодорожных колес, представленная в данной работе, позволила существенно повысить эффективность их обработки на импортном оборудовании. Но она может быть успешно положена в основу при проектировании отечественного инновационного конкурентоспособного оборудования с целью обеспечения технологической независимости страны [3, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров, В.А. Повышение эффективности технологических процессов на основе совершенствования обработки резания / В.А. Комаров. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 164 с.
2. Комаров, В.А. Повышение эффективности фрезерования закаленных стальных деталей / В.А. Комаров, В.В. Плешаков, А.А. Сапронов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. - № 1. – С. 76-79.
3. Степанова, Е.Ю. Маркетинг инноваций: проблемы и решения / Е.Ю. Степанова, Ю.С. Степанов // Экономические и гуманитарные науки. – 2011. - № 12 (239). – С. 24-31.
4. Поландова Л.И. Высокие технологии в инновационной экономике / Е.Ю. Степанова, Л.И. Поландова // Известия Орловского государственного технического университета. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2007. - № 3/267 (533). – С. 156-167.

Комаров Владимир Алексеевич

Московский государственный университет приборостроения и информатики,
Доктор технических наук, профессор
г. Москва, ул. Стромынка д.20
495-387-6777
E-mail: komarovval1@rambler.ru

Плешаков Виктор Викторович

Московский государственный университет приборостроения и информатики
Кандидат технических наук, профессор
г. Москва, ул. Стромынка д.20
Тел. 962-931-9464
E-mail: pleshakovvv@yandex.ru

V.A. KOMAROV, V.V. PLESHAKOV

IMPROVING THE EFFICIENCY OF MACHINING HARDENED RAILWAY WHEELS

The article describes an approach to solving the tasks of increasing the efficiency fully profile machining hardened railway wheels processed by the technology of the Hegenscheidt-MDF on their machines RQQ, based on the use of basic theoretical provisions of the new, termed "impulsive", theory of cutting and given technical and economic indicators of its solution. It is shown that the solution of this problem is of considerable practical interest for producers of railway wheels in all sizes.

Keywords: turning, pulse cutting theory, efficiency, accuracy, raf surface.

BIBLIOGRAPHY

1. Komarov, V.A. Povyshenie jeffektivnosti tehnologicheskikh processov na osnove sovershenstvovanija obrabotki rezanija / V.A. Komarov. – M.: Izd. MGTU im. N.Je. Baumana, 2002. – 164 s.
2. Komarov, V.A. Povyshenie jeffektivnosti frezerovanija zakalennyh stal'nyh detalej /V.A. Komarov, V.V. Pleshakov, A.A. Saprnov //Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2014. - № 1. – S. 76-79.
3. Stepanova, E.Ju. Marketing innovacij: problemy i reshenija / E.Ju. Stepanova, Ju.S. Stepanov // Jekonomicheskie i gumanitarnye nauki. – 2011. - № 12 (239). – S. 24-31.
4. Polandova, L.I. Vysokie tehnologii v innovacionnoj jekonomike /E.Ju. Stepanova, L.I. Polandova //Izvestija Orlovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2007. - № 3/267 (533). – S. 156-167.

Komarov Vladimir Alekseevich

Moscow state University of instrument engineering and Informatics,
Doctor of technical Sciences, Professor
107996, Moscow, Strominka street, 20
495-387-6777
E-mail: komarovval1@rambler.ru

Pleshakov Viktor Viktorovich

Moscow state University of instrument engineering and Informatics
Candidate of technical Sciences, Professor
107996, Moscow, Strominka street, 20
Phone 962-931-9464
E-mail: pleshakovv@yandex.ru

Ю.Р. КОПЫЛОВ, В.А. АЧКАСОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ УДЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В статье предложен новый критерий оптимизации процесса виброабразивной обработки деталей без закрепления – удельная плотность полной кинетической энергии инструментальной среды. Посредством компьютерного моделирования установлены закономерности влияния на него различных параметров виброабразивной обработки.

Ключевые слова: виброабразивная обработка, интенсификация, оптимизация режимов.

Постановка задачи

Технологии с использованием вибраций находят широкое применение во многих отраслях промышленности: авиационной и космической, машино- и приборостроении и др. На финишных операциях обработка может производиться как традиционным инструментом с жестко закрепленным абразивом [1-5], так и свободным абразивом без закрепления заготовок [6].

Достоинством последнего метода (виброабразивной обработки) является его универсальность, возможность обработки деталей сложной формы, имеющих труднодоступные для закрепленного инструмента участки. Определяющим фактором интенсивности процесса виброабразивной обработки при постоянных параметрах гранул, свойствах технологической жидкости и характеристиках деталей является энергия соударений частиц с деталями. Основным путем повышения производительности обработки является интенсификация режимов, которая, однако, может привести как к повышению, так и снижению технологических показателей обработки. Это обусловлено тем, что обрабатываемые свойства инструментальной среды нелинейно зависят от режимов обработки. Оптимизация энергетического состояния инструментальной среды экспериментальным методом затруднительна в силу сложности измерения энергии соударений частиц, большого количества факторов, влияющих на нее, и частным характером получаемых результатов. Аналитическое решение этой задачи затруднено в силу сложности математического описания динамики соударений инструментальной среды с деталями.

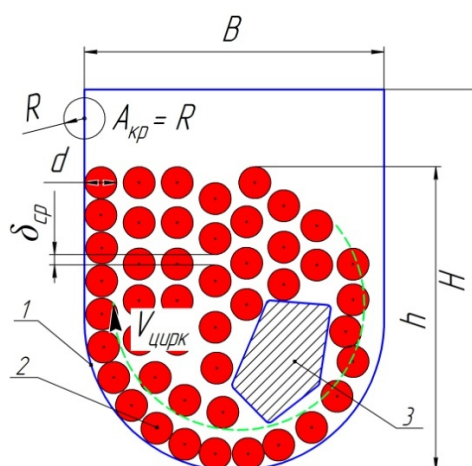


Рисунок 1 - Технологическая система «Рабочая камера – инструментальная среда – детали»

1- рабочая камера; 2 – инструментальная среда; 3 – обрабатываемая деталь; $A_{кр}$

R – амплитуда круговых колебаний; B – ширина рабочей камеры; H – высота рабочей камеры;

h – высота заполнения рабочей камеры инструментальной средой; d – диаметр гранулы;

$V_{цирк}$ – скорость циркуляции инструментальной среды; δ_{cp} – средний динамический зазор

Целью работы является интенсификация съема металла и снижения шероховатости на различных участках поверхностей деталей в процессе их виброабразивной обработки без закрепления за счет оптимизации энергетического состояния инструментальной среды на основе критерия удельной плотности полной кинетической энергии посредством компьютерного моделирования.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Обосновать критерий оптимизации процесса виброабразивной обработки по параметру удельной плотности полной кинетической энергии инструментальной среды.
2. Установить закономерности влияния амплитуды, частоты, формы траектории колебаний, ширины рабочей камеры, степени ее заполнения и размера частиц инструментальной среды на удельную плотность ее полной кинетической энергии.
3. Разработать рекомендации по выбору оптимальных режимов виброабразивной обработки деталей без закрепления на основе критерия удельной плотности полной кинетической энергии инструментальной среды.

В работе С.Н. Шевцова[7] методом компьютерного моделирования динамики гранулированных сред, доказана пропорциональная зависимость между съемом металла и плотностью кинетической энергии инструментальной среды. В настоящей работе задача интенсификации съема металла и снижения шероховатости для различных участков поверхностей деталей решается за счет выявления зависимостей энергетического состояния инструментальной среды от амплитуды, частоты, формы траектории колебаний, ширины рабочей камеры, степени ее заполнения гранулами и их размеров. В качестве критерия оптимизации энергетического состояния инструментальной среды принята величина удельной плотности ее полной кинетической энергии, которая определяется следующим соотношением:

$$E_n = \frac{\sum_{k=1}^p E_k^n}{M}, \quad (1)$$

где E_n - удельная плотность полной кинетической энергии инструментальной среды по сечению рабочей камеры; E_k^n - плотность полной кинетической энергии инструментальной среды в k -й ячейке рабочей камеры; p - число ячеек, на которые разбивается площадь загруженной части рабочей камеры; M – общая масса инструментальной среды.

$$E_k^n = \frac{2}{(t_e - t_b) \cdot d \cdot l^2} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (2)$$

где t_b - время начала наблюдения, t_e - время окончания наблюдения, d - диаметр частицы; l - длина стороны k -й ячейки, m - масса частицы; v - скорость частицы; N – число частиц, оказавшихся в k -й ячейке за время $t_b \dots t_e$.

Плотность кинетической энергии направленного движения частиц в k -й ячейке:

$$E_k^n = \frac{1}{(t_e - t_b) \cdot d \cdot l^2} \cdot \langle v \rangle_i^2 \sum_{i=1}^N m \quad (3)$$

где $\langle v \rangle_i$ - средняя скорость частиц в k -й ячейке за время $t_b \dots t_e$.

Плотность средней кинетической энергии хаотического («теплого») движения частиц в k -й ячейке:

$$E_k^x = E_k^n - E_k^n \quad (4)$$

Построение модели технологической системы

Построение дискретно-множественной модели технологической системы «Рабочая камера – инструментальная среда - детали» производилось в программе «Vibrogals» [8].

Принятые допущения:

1. Инструментальная среда дискретна и однородна, состоит из конечного множества абсолютно твердых сферических частиц.
2. Контактные взаимодействия частиц описываются теорией Герца.
3. Соударения частиц со стенками не влияют на закон стационарных колебаний.

4. Относительные скорости соударяющихся частиц до и после удара прямо пропорциональны (используется коэффициент восстановления).
5. Косые соударения абразивных частиц описываются моделью вязкого ударного трения Фойхта - Кельвина.
6. Модуль Юнга E , коэффициент Пуассона ν , плотность ρ и твердость НВ материала частиц – постоянны.

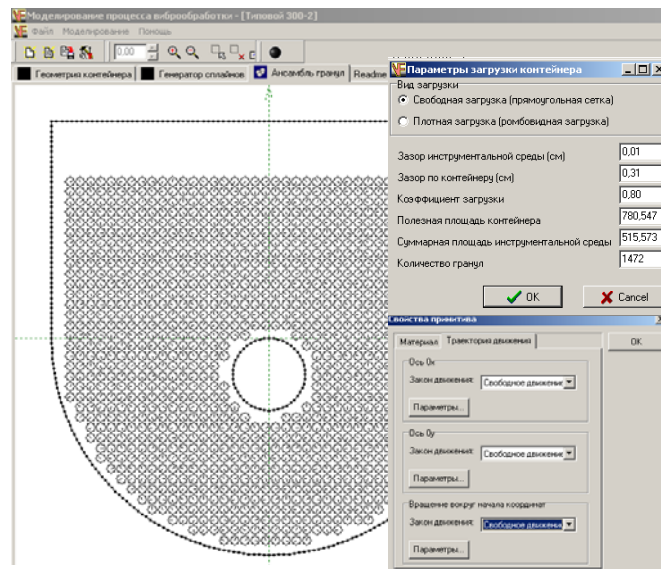


Рисунок 2 - Модель технологической системы «Рабочая камера – инструментальная среда – детали» в программе «Vibrogals»

Границы рабочей камеры произвольной формы разбиваются на сплайны, которые в двухмерном случае представляют собой отрезки прямых одинаковой длины, равных диаметру частиц, которые совершают поступательное движение в соответствии с задаваемым рабочей камере кинематическим законом движения. Инструментальная среда моделируется набором сферических частиц, положение которых в рабочей камере характеризуется координатами, радиусом r , массой m , свойствами материала.

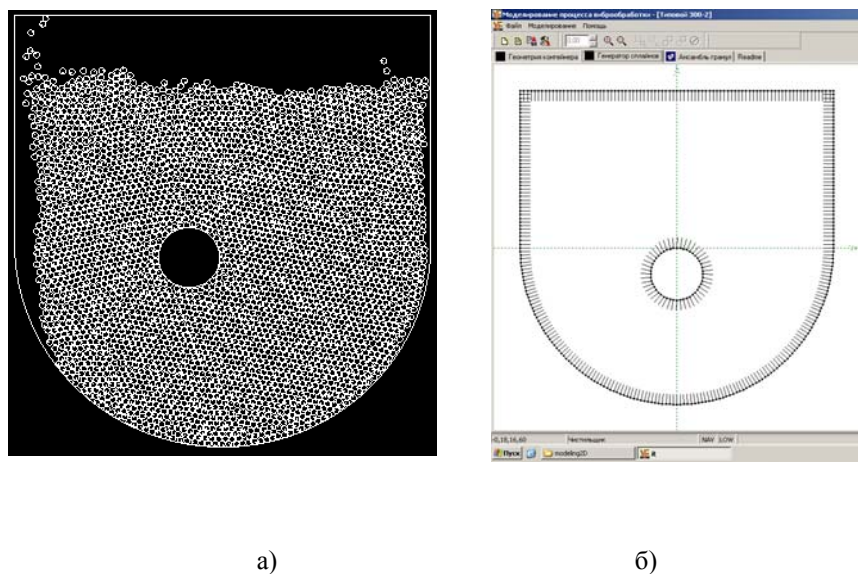


Рисунок 3 – Геометрическая модель (а); разбиение контура рабочей камеры и детали на сплайны (б)

Математическое описание динамики взаимодействия частиц инструментальной среды друг с другом и с поверхностью рабочей камеры базируется на методе прямого компьютерного моделирования динамического состояния гранулированной инструментальной среды в вибрирующей рабочей камере [7]. Решение задач соударения частиц инструментальной среды между собой и со сплайнами поверхности рабочей камеры производится на основе классической теории удара. Контактное взаимодействие частиц друг с другом и поверхностью рабочей камеры описывается на основе теории Герца.

В плоском случае система уравнений динамики частицы будет состоять из двух векторных и двух скалярных уравнений (или из шести скалярных дифференциальных уравнений, если разложить первые два векторных уравнения на скалярные):

$$\begin{cases} \dot{\vec{r}}_i = \vec{u}_i \\ m_i \cdot \dot{\vec{u}}_i = \sum_j (\vec{F}_{ij}^n(\Delta_{ij}) \cdot \vec{n}) \cdot \vec{n} + \sum_j (\vec{F}_{ij}^r(\Delta_{ij}) \cdot \vec{\tau}) \cdot \vec{\tau} \\ \dot{\varphi}_i = \omega_i \\ I_i \cdot \dot{\omega}_i = \frac{d_i}{2} \cdot \sum_j \left(\vec{F}_{ij}^r \cdot (\Delta_{ij}) \cdot \frac{u_{ij}^r}{|u_{ij}^r|} \vec{\tau} \right) \cdot \vec{\tau} \end{cases} \quad (5)$$

где \vec{u}_i, φ_i - линейные и угловые координаты частиц инструментальной среды; $\dot{\vec{r}}_i, \omega_i$ - линейные и угловые скорости частиц инструментальной среды; $\vec{n}, \vec{\tau}$ - единичные нормальные и тангенциальные векторы, связанные с точками в которых частица контактирует с ближайшими соседками или сплайнами границ; Δ_{ij} - «перекрывание» (контактные деформации) частиц; d_i, I_i - диаметр и момент инерции i -й частицы.

Задача оптимизации

В качестве критерия оптимизации принята удельная плотность полной кинетической энергии вибрирующей инструментальной среды. Ограничениями являются размер гранул, ширина рабочей камеры и форма траектории колебаний, которые назначаются на основании технологических рекомендаций ([9] и др.).

Таким образом, задача оптимизации сводится к определению технологических режимов (амплитуды и частоты колебаний) и степени заполнения рабочей камеры, обеспечивающих максимальное значение удельной плотности полной кинетической энергии инструментальной среды при заданных ограничениях.

Результаты моделирования

Моделирование проводится с помощью программы «Vibrogals». Результатом работы программы моделирования являются фазы перемещений и траектории частиц, скорости циркуляции, перемещений и соударений, плотность кинетической энергии, по которым в дальнейшем вычисляются значения интенсивности съема металла и снижения параметра шероховатости Rz. Экспериментальная проверка результатов моделирования системы «Рабочая камера – инструментальная среда» показала ее адекватность.

Теоретически установлено, что удельная плотность кинетической энергии хаотических перемещений E_x в сотни раз больше энергии направленного движения E_n (рис. 4). Плотность полной кинетической энергии E_n неравномерно распределяется по сечению рабочей камеры: наибольшие значения располагаются вблизи ее поверхности и составляют 20-25% сечения рабочей камеры. Наибольшее значение удельной плотности кинетической энергии направленного движения E_n наблюдается на верхней границе инструментальной среды, где скорость циркуляции максимальна.

Результаты исследования влияния конструктивных параметров рабочей камеры, инструментальной среды и режимов виброабразивной обработки деталей без закрепления на величину удельной плотности полной кинетической энергии приведены на рисунках 5 и 6.

Повышение амплитуды колебаний с 3 до 6 мм экстремально увеличивает среднюю удельную плотность полной кинетической энергии инструментальной среды (E_n) в 3,5-4 раза, дальнейшее увеличение амплитуды с 6 до 7 мм снижает E_n на 25% (рис. 5). Это происходит вследствие изменения степени разрыхления инструментальной среды, что приводит к изменению величины энергии, передающейся от частицы к частице.

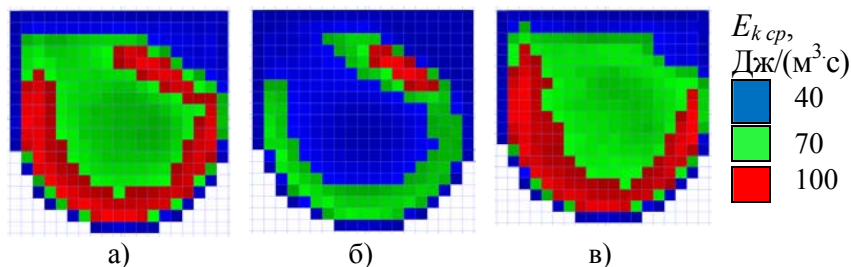


Рисунок 4 - Поля плотности кинетической энергии
 амплитуда $A=4$ мм, частота $\omega=105$ рад/с, круговая траектория, ширина камеры 250 мм, степень заполнения $\delta=67\%$: а) полной; б) направленного движения; в) хаотического движения инструментальной среды ($E_{k\text{cp}}$ – среднее значение плотности кинетической энергии в отдельной ячейке)

Увеличение частоты колебаний ω с 75 до 125 рад/с повышает E_n в 1,5-1,7 раза, при дальнейшем увеличении ω со 145 до 165 рад/с происходит монотонное снижение E_n на 10-15% в результате изменения сил трения и квазиупругих свойств инструментальной среды (рис. 5).

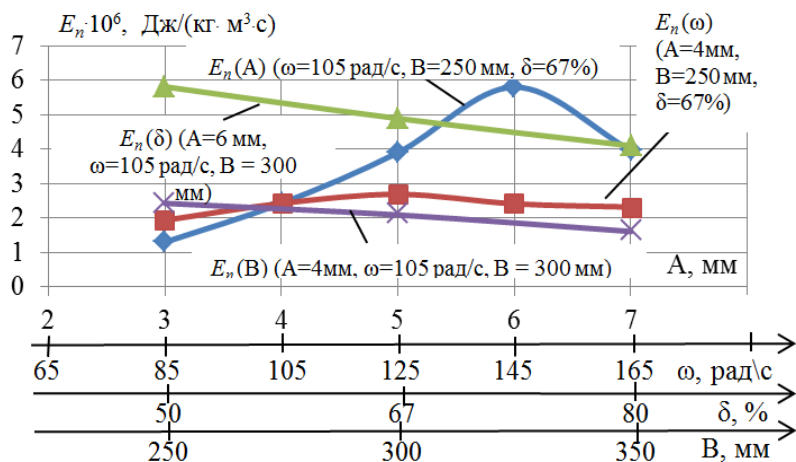


Рисунок 5 - Зависимость удельной плотности полной кинетической энергии от амплитуды $E_n(A)$, частоты $E_n(\omega)$ колебаний, ширины рабочей камеры $E_n(B)$ и степени ее заполнения инструментальной средой $E_n(\delta)$

Увеличение ширины рабочей камеры с 250 до 350 мм приводит к снижению E_n на 40-50% в результате уменьшения глубины проникновения колебаний в слой инструментальной среды.

Повышение степени заполнения рабочей камеры инструментальной средой с 50 % до 80% монотонно снижает E_n на 40-60%, что обусловлено снижением циркуляционной подвижности частиц в инструментальной среде.

Увеличение размера частиц с 3 до 11 мм изменяет E_n в 4-5 раз по полиэкстремальной зависимости: с максимумом при 6-7 мм, и двумя минимумами при 3-4 мм и 9-10 мм. Это объясняется сложным характером распространения силовых импульсов перемещения частиц в инструментальной среде (рис. 6, а).

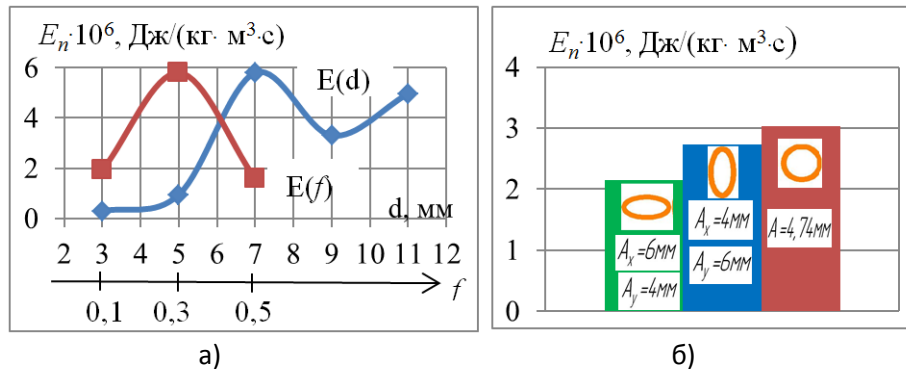


Рисунок 6 - Зависимость удельной плотности полной кинетической энергии инструментальной среды
 а) от диаметра ее частиц и их коэффициента вязкого трения ($A=4$ мм, $\omega=105$ рад/с, $B=250$ мм, $\delta=67\%$);
 б) формы траектории колебаний ($\omega=105$ рад/с, $B=250$ мм, $\delta=67\%$)

Изменение формы траектории колебаний рабочей камеры с круговой на вертикальный и горизонтальный эллипс вызывает снижение E_n , соответственно, на 20-25% и 35-40% (рисунок 6, б). Это связано с изменением влияния вертикальной и горизонтальной скоростей движения рабочей камеры на динамику частиц инструментальной среды.

Использование приведенных на рисунках 5 и 6 закономерностей позволяет оптимизировать режимы виброабразивной обработки деталей без закрепления и повысить ее интенсивность на 30% и более по сравнению с назначением режимов посредством номограмм [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2146592 РФ, МПК⁷ В24В33/00, В24В33/02. Устройство для вибрационного хонингования / Степанов Ю.С., Афонасьев Б.И., Рыбкин В.Г., Бородин В.В., Селеменев М.Ф. Заявитель и патентообладатель: Орловский государственный технический университет. № 98115177/02, 04.08.1998. Оpubл. 20.03.2000.
2. Пат. 2146593 РФ, МПК⁷ В24В33/00, В24В33/02, В24В1/04. Устройство для вибрационного хонингования / Степанов Ю.С., Афонасьев Б.И., Рыбкин В.Г., Бородин В.В., Селеменев М.Ф. Заявитель и патентообладатель: Орловский государственный технический университет. № 98115880/02, 17.08.1998. Оpubл. 20.03.2000.
3. Пат. 2163185 РФ, МПК⁷ В24В5/00, В24В7/00, В24В45/00. Устройство для вибрационного шлифования с сообщением кругу угловых колебаний / Степанов Ю.С., Афонасьев Б.И., Самойлов Н.Н., Жилин Г.П., Ушаков А.И. Патентообладатель: Орловский государственный технический университет. № 99115562/02, 14.07.1999. Оpubл. 20.02.2001.
4. Пат. 2164852 РФ. Устройство для вибрационной абразивной обработки / Степанов Ю.С., Афонасьев Б.И., Самойлов Н.Н., Жилин Г.П., Ушаков А.И. Патентообладатель: Орловский государственный технический университет. № 99115505/02, 14.07.1999. Оpubл. 10.04.2001.
5. Пат. 2192955 РФ. Устройство для вибрационного хонингования с гидроударом / Степанов Ю.С., Ушаков Л.С., Котылев Ю.Е., Афанасьев Б.И., Ушаков А.И., Бородин В.В., Рыбкин В.Г. Патентообладатель: Орловский государственный технический университет. № 2001105611/02, 27.02.2001. Оpubл. 20.11.2002.
6. Копылов, Ю.Р. Повышение качества и производительности виброабразивной обработки за счет управления съемом на различных участках детали / Ю.Р. Копылов, С.В. Емельянов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». - 2007. - №3/267 (533). - С. 24-30.
7. Шевцов, С.Н. Моделирование динамики гранулированных сред при вибрационной отделочно-упрочняющей обработке / С.Н. Шевцов: дис. докт. техн. наук. - Ростов-на-Дону, 2001. - 322 с.
8. Копылов, Ю.Р. Динамика виброударного упрочнения / Ю.Р. Копылов: монография. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2011. – 568 с.
9. Объемная вибрационная обработка / И.Е. Бурштейн, В.В. Балицкий, А.Ф. Духовский, М.Я. Дубова, Л.Ш. Гительман, А.М. Стессель, А.Н. Тоцкий / Под ред. И.Е. Бурштейна. - М.: ЭНИМС, 1977. - 108 с.

Копылов Юрий Романович

Воронежский государственный технический университет, И-т машиностроения и аэрокосмической техники доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»
 Тел.: 8-910-248-51-53
 E-mail: urkopulov@mail.ru

Ачкасов Виталий Александрович

Старооскольский технологический институт НИТУ «МИСиС»

Ст. преподаватель кафедры «Прикладная механика» Ф-т металлургических и машиностроительных технологий

Тел.: 8-951-142-16-17

E-mail: achkasov20@yandex.ru

Yu.R. KOPYLOV, V.A. ACHKASOV

OPTIMIZATION OF PROCESS OF VIBROABRASIVE TREATMENT BASED ON CRITERIA OF SPECIFIC DENSITY KINETIC ENERGY

This paper proposes a new optimization criterion of vibroabrasive processing without fixing details- specific density of the total kinetic energy of the tool environment. Laws of influence various parameters of vibroabrasive processing on this criterion are found through computer simulations.

Keywords: vibroabrasive processing, intensification, optimization of modes

BIBLIOGRAPHY

1. Pat. 2146592 RF, MPK7 B24B33/00, B24B33/02. Ustroystvo dlya vibracionnogo honingovaniya /Stepanov Yu.S., Afonasev B.I., Rybkin V.G., Borodin V.V., Selemenev M.F. Zayavitel i patentoobladatel: Orlovskiy gosudarstvennyy tehnicheckiy universitet. Zayavka: 98115177/02, 04.08.1998. Opubl. 20.03.2000.
2. Pat. 2146593 RF, MPK7 B24B33/00, B24B33/02, V24V1/04. Ustroystvo dlya vibracionnogo honingovaniya /Stepanov Yu.S., Afonasev B.I., Rybkin V.G., Borodin V.V., Selemenev M.F. Zayavitel i patentoobladatel: Orlovskiy gosudarstvennyy tehnicheckiy universitet. Zayavka: 98115880/02, 17.08.1998. Opubl. 20.03.2000.
3. Pat. 2163185 RF, MPK7 B24B5/00, B24B7/00, B24B45/00. Ustroystvo dlya vibracionnogo shlifovaniya s soobscheniem krugu uglovyh kolebaniy / Stepanov Yu.S., Afonasev B.I., Samoylov N.N., Zhilin G.P., Ushakov A.I. Patentoobladatel: Orlovskiy gosudarstvennyy tehnicheckiy universitet. Zayavka: 99115562/02, 14.07.1999. Opubl. 20.02.2001.
4. Pat. 2164852 RF. Ustroystvo dlya vibracionnoy abrazivnoy obrabotki / Stepanov Yu.S., Afonasev B.I., Samoylov N.N., Zhilin G.P., Ushakov A.I. Patentoobladatel: Orlovskiy gosudarstvennyy tehnicheckiy universitet. Zayavka: 99115505/02, 14.07.1999. Opubl. 10.04.2001.
5. Pat. 2192955 RF. Ustroystvo dlya vibracionnogo honingovaniya s gidroudalom / Stepanov Yu.S., Ushakov L.S., Kotylev Yu.E., Afanasev B.I., Ushakov A.I., Borodin V.V., Rybkin V.G. Patentoobladatel: Orlovskiy gosudarstvennyy tehnicheckiy universitet. Zayavka: 2001105611/02, 27.02.2001. Opubl. 20.11.2002.
6. Shevcov, S.N. Modelirovanie dinamiki granulirovannyh sred pri vibracionnoy otdelochno-uprochnyayuschey obrabotke /S.N. Shevcov: dis. dokt. tehn. nauk. - Rostov-na-Donu, 2001. - 322 s.
7. Kopylov, Yu.R.. Dinamika vibroudarnogo uprochneniya /Yu.R. Kopylov: monografiya. – Voronezh: IPC «Nauchnaya kniga», 2011. – 568 s.
8. Obemnaya vibracionnaya obrabotka / I.E. Burshteyn, V.V. Balickiy, A.F. Duhovskiy, M.Ya. Dubova, L.Sh. Gitelman, A.M. Stessel, A.N. Tockiy / Pod red. I.E. Burshteyna. - M.: ENIMS, 1977. - 108 s.

Kopylov Yuri Romanovich

Voronezh State Technical University, Institute of Mechanical Engineering and Aerospace technics

Ph.D., professor of "Machine-building technology"

Phone:8-910-248-51-53

E-mail: urkopulov@mail.ru

Achkasov Vitaly Alexandrovich

Stary Oskol Technological Institute NITU "MISiS"

Senior lecturer in "Applied Mechanics" Faculty of metallurgical and engineering technologies

Phone:8-951-142-16-17

E-mail: achkasov20@yandex.ru

УДК 621.787.4

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

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ФОРМООБРАЗУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДАМИ КОМПЛЕКСНОГО ЛОКАЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

В статье проанализированы результаты и поставлена новая задача для технологии комплексного локального деформирования. Рассмотрено устройство экспериментальной установки для исследования влияния геометрии формирующего инструмента на процесс комплексного локального деформирования. Приведена методика экспериментальных работ.

Ключевые слова: комплексное локальное деформирование; формообразующий инструмент; экспериментальная установка; упрочнение; геометрия инструмента.

Новые технологии обработки металлов давлением (ОМД) все больше находят свое применение в промышленности, особенно в таких высокотехнологичных областях как ВПК, авиа, космическое и атомное машиностроение [1-3]. Указанные промышленные сферы применения данных технологий предъявляют повышенные требования к деталям машин. Одной из наиболее важных групп требований являются параметры механических свойств изделия, которые в конечном итоге влияют на конструктивные решения и исполнение механизмов и машин в целом. К примеру, если повысить несущую способность подшипника скольжения, то принципиально можно уменьшить его габариты и (или) увеличить силовую нагрузку на узел. При этом необходимо оставить неизменным комплекс иных свойств (для данного примера – коэффициента трения и износостойкость); в иных случаях – тепловых, электрических и т.д. свойств изделия. Таким образом, востребованы технологии, повышающие какой-либо комплекс механических характеристик изделия, оставляя без ухудшения иные физические характеристики материала (в том числе и его химический состав). В первую очередь, данные технологии востребованы для цветных металлов и их сплавов, так как их, в отличие от сталей, затруднительно и часто невозможно термически упрочнить. Наиболее востребованной технологией (в некоторых случаях единственно возможной) является обработка металлов давлением, направленная на создание некоторого упрочненного объема. Существенное развитие получила технология поверхностного пластического деформирования (ППД), менее развиты технологии объемного упрочнения. В последнее время авторским коллективом данной работы развивается технология, сочетающая в себе поверхностное и объемное упрочнение – комплексная локальная деформация (КЛД) [4-16].

Схемы технологических процессов КЛД приведены на рисунках 1 и 2 [4-16]. Упрочнение происходит за счет накопления деформации от внедрения выступа на деформирующем ролике 5 (рис. 1) или дорна 4 (рис. 2) в металл при его винтовом перемещении относительно заготовки и заглаживании, образующейся винтовой канавки, роликами (рис. 1) и гладкими участками дорна 4 (рис. 2). Таким образом, достигается существенно большее формоизменение при единичном проходе, а также уравнивание радиальных сил на заготовке.

Кроме того, в очаге деформации создается квазигидростатическое давление, включающее следующие компоненты:

- радиальные сжимающие напряжения вследствие сжатия металла между кольцевым выступом и оправкой;
- осевые сжимающие напряжения, так как при внедрении кольцевого выступа в металл заготовки происходит пластическое истечение металла в стороны от выступа в осевом направлении, чему препятствуют недеформируемые участки заготовки и фиксация торцов заготовки;
- тангенциальные сжимающие напряжения за счет сопротивления недеформируемых участков заготовки смещению металла в тангенциальном направлении. [4-15]

На описанные способы и другие, основанные на описываемых принципах, получены патенты РФ [12-15].

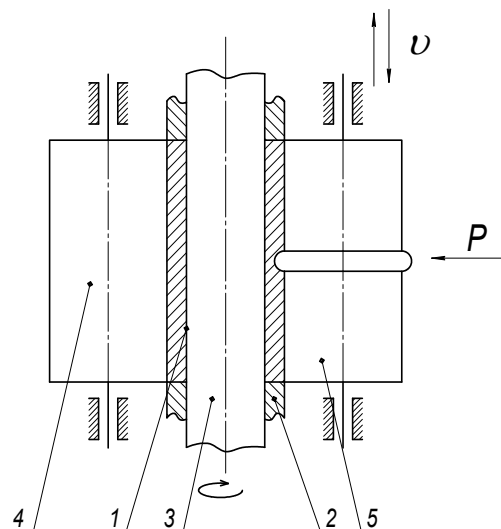


Рисунок 1 – Схема обкатки формирующим и заглаживающим инструментом

1 – заготовка; 2 – упор; 3 – оправка;
4 – заглаживающий ролик;
5 – формирующий ролик [4]

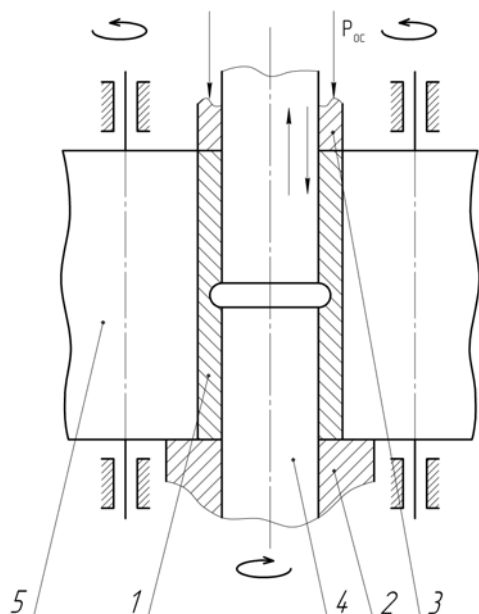


Рисунок 2 – Схема многоциклового комплексного локального деформирования с приложением осевой силы 1 – заготовка; 2 – упор; 3 – прижим;

4 – дорн; 5 – валковая матрица;
 $P_{ос}$ – осевая сжимающая сила [4]

шаг, $H_{ВЫСТ}$ – ширина выступа деформирующего ролика); при $S < 0.5 \cdot H_{ВЫСТ}$ происходит «срез» обрабатываемой поверхности, что делает невозможным дальнейшее её деформирование.

Необходимо отметить, что при достижении критического числа проходов состояние обработанной поверхности удовлетворительное – без видимых дефектов обработки, а при достижении предельного числа циклов обработки дальнейшее упрочнение становится неце-

Для достижения оптимальных для конкретного изделия свойств необходимо влиять на процесс упрочнения. Были проведены исследования по влиянию шага и количества циклов деформирования на параметры упрочнения [4 - 15]. В результате установлены следующие зависимости:

- прикладываемая сила к формирующему инструменту (глубина внедрения) не оказывает существенного влияния на характер изменения градиента упрочнения, при этом данный параметр имеет основное влияние при малых количествах проходов (циклов обработки) n на глубину упрочнения и максимальное значение параметра микротвёрдости HV_{max} в приповерхностных слоях, с ростом n влияние силы на параметры снижается;

- количество проходов (циклов обработки) n оказывает основное влияние на степень (максимальное значение) параметра микротвёрдости HV_{max} в приповерхностных слоях (при $n = 2...3$ наблюдается наибольшее увеличение, при $n = 6...7$ – устойчивый рост), при этом глубина проникновения упрочнённой зоны и характер градиента упрочнения меняются менее значительно;

- шаг осевой подачи инструмента S оказывает влияние на глубину проникновения упрочнённой зоны h_{max} и характер изменения градиента упрочнения (при постоянной глубине внедрения или силе), при этом максимальное значение параметра микротвёрдости (при неизменном количестве проходов n) остаётся практически неизменным;

- количество проходов и шаг осевой подачи инструмента не оказывает влияние на геометрические параметры заготовок.

- варьирование шага осевой подачи инструмента сказывается на состоянии поверхности: с его увеличением более отчётливо проявляется винтовая линия перемещения выступа деформирующего ролика обрабатываемого инструмента ($S > 0.5 \cdot H_{ВЫСТ}$, где S – шаг, $H_{ВЫСТ}$ – ширина выступа деформирующего ролика); при $S < 0.5 \cdot H_{ВЫСТ}$ происходит «срез» обрабатываемой поверхности, что делает невозможным дальнейшее её деформирование.

лесообразным, так как поверхностные слои, достигая максимальной степени наклёпа, начинают шелушиться и выкрашиваться.

Однако, в работах [4-15] не выявлено влияние геометрии формирующего инструмента на процесс упрочнения, и, как следствие, её роль в создании требуемых величин параметров упрочнения. Наиболее актуален вопрос о влиянии геометрии формирующего инструмента на вид кривой «микротвердость – глубина упрочнения», так как число проходов, шаг и сила, прикладываемая к инструменту (или глубина его внедрения в тело заготовки), на вид данной кривой существенного влияния не оказывают. В проведенных экспериментах кривая «микротвердость – глубина упрочнения» носит плавный характер. Кривая не имела участков с постоянным и (или) синусоидальным значениями микротвердости. Данное обстоятельство, с одной стороны, неоспоримое преимущества КЛД перед другими методами упрочнения, а с другой стороны, наличие по сечению детали зоны с постоянным повышенным значением твердости (и плавным переходом в другие зоны) может положительно отразиться на эксплуатационных характеристиках изделия.

Варьирование геометрии инструмента существенно отразится на соотношении радиальных, осевых и тангенциальных составляющих тензоров напряжений и деформаций при прочих постоянных технологических параметрах обработки, что в итоге окажет существенное влияние на характер и вид кривой «микротвердость – глубина упрочнения». Поэтому, задача по выявлению роли геометрии формирующего инструмента в процессах КЛД актуальна и является новой задачей выработки научных основ комплексного локального деформирования.

Проводить исследования по влиянию формы деформирующего инструмента на установках, реализующих схемы, представленные на рисунках 1 и 2, на первоначальных этапах технологически затруднительно. Отсюда вытекает необходимость создания универсальной оснастки, позволяющей осуществить поиск наиболее целесообразной геометрии инструмента для формирования заданных конечных свойств и их распределения по сечению заготовки. Далее геометрическая форма должна быть оптимизирована в ходе экспериментальных работ на установках, реализующих технологию КЛД.

Идея конструкции указанной универсальной оснастки основана на общей постановке задачи математического моделирования формоизменения методами ППД или КЛД [4]. Исследование заключается в решении задачи по деформированию инструментом (индентором) поверхности Θ тела, при этом инструмент находится под действием силы P и движется по пространственной кривой Ω (см. рисунок 3). Поверхности инструмента и тела описываются криволинейными поверхностями ψ и Θ . Цель исследования – установление зависимостей влияния геометрии поверхности ψ на напряженно-деформированное состояние и характер пластического течения металла в очаге деформации и, как следствие, на глубину и градиент упрочнения изделия. Для конструкторского воплощения универсальной оснастки очевидно ведение следующих упрощений: поверхность Θ – ограниченная плоскость, траектория Ω – прямая.

В итоге была разработана экспериментальная установка, в основу которой легла разрывная машина Р-0,5, характеристики которой приведены в таблице 1.

Конструкция экспериментальной оснастки для исследования влияния геометрии формообразующего инструмента на процесс КЛД приведена на рисунке 4.

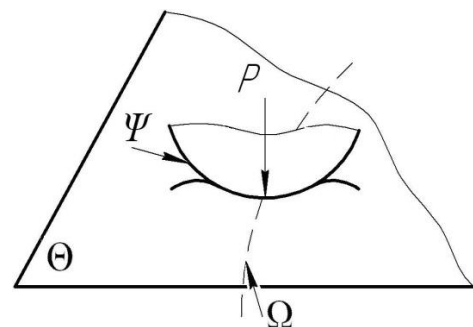


Рисунок 3 – К постановке задачи по деформированию инструментом поверхности Θ тела по траектории Ω

Таблица 1 – Технические характеристики машины разрывной Р-0,5

Характеристика	Значение
Наибольшая предельная нагрузка	5 кН (500 кгс)
Диапазон измерения нагрузки	от 2 до 5 кН
Пределы допускаемого значения относительной погрешности силоизмерителя в диапазоне от 2 до 5 кН	±1%
в диапазоне от 0 до 2 кН	±20 Н
Диапазон скоростей движения	От 1 до 100 мм/мин

Корпус 1 устанавливается на подвижную траверсу разрывной машины и фиксируется болтом крепления 2. Внутри помещается корпус-портал 4, в котором закреплена заготовка 3 (в экспериментах используется пластина 10x40x40(80) мм), которая дополнительно фиксируется с помощью двух прижимов. Корпус державки 5 соединен с разрывной машиной посредством верхнего зажима с датчиком силы. Державка выполняет несколько важных функций: позволяет закреплять формообразующий инструмент и осуществлять постоянный его контакт с заготовкой; измерять силу, с которой внедряется инструмент, посредством силоизмерительного датчика 7 на 0,5 кН (или 5 кН) с чувствительностью 0,01 Н. Прикладываемая сила изменяется с помощью нажимного винта 6. Прижимной ролик 8 предотвращает перекосы и покачивание державки. Регулировочные болты 9 фиксирует корпус-портал, а так же позволяют перемещать заготовку в горизонтальном направлении.

В качестве формообразующего инструмента могут выступать: наконечник конусный типа НК по ГОСТ 9377-81, который так же используется при измерении твердости металлов по методу Роквелла (рисунок 5, а); шарики различных диаметров (рис. 5, б), используемые при измерении твердости по Бринеллю; ролики различной формы (рис. 5, в).

В опытах конусный наконечник и шарики используются в качестве тел внедрения для определения некоторых установочных характеристик самого эксперимента, оснастки и используемого материала. Они так же позволяют проводить сравнительный анализ с уже существующими данными по упрочнению сталей и алюминиевых сплавов при обкатке. Основным исследуемым объектом являются ролики различной конфигурации и геометрии.

Перед проведением эксперимента необходимо задать начальные параметры: скорость движения и длины получаемой канавки на панели управления разрывной машины, силу внедрения инструмента с помощью нажимного винта. Далее разрывная машина осуществляет перемещение траверсы в вертикальном направлении, а ролик или индентор, закрепленный в державке, оставляют след на заготовке.

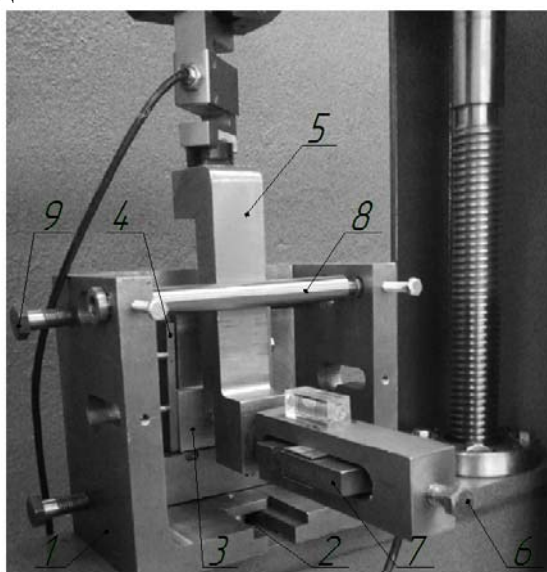


Рисунок 4 – Экспериментальная оснастка

1 – корпус, 2 – болт крепления, 3- заготовка, 4 – корпус-портал, 5 – державка, 6 – нажимной винт, 7 – датчик силы, 8 – прижимной ролик, 9 – болт регулировочный

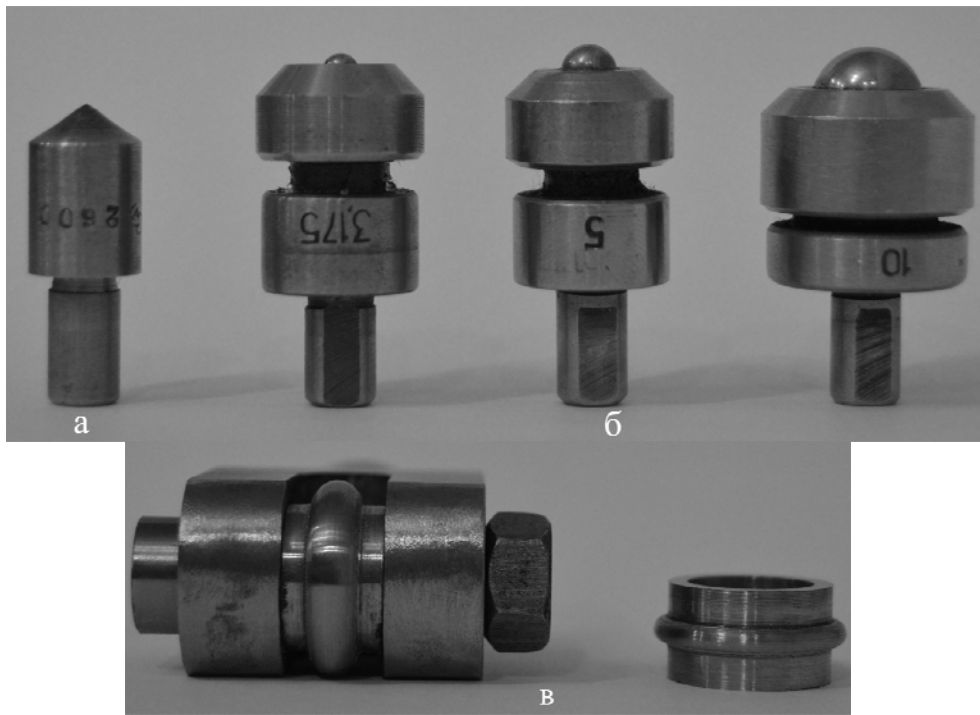


Рисунок 5 – Формообразующий инструмент
а – конус, б – шарики различного диаметра, в - ролики

В комплект разрывной машины Р-0,5 входит система измерения параметров испытания. Система предназначена для измерения текущих и конечных значений нагрузки и перемещения активного захвата при испытании, а также для управления режимом испытания, регистрации результатов, их первоначальной обработки. Программное обеспечение, поставляемое вместе с машиной, позволяет отображать в удобной для пользователя форме диаграммы и протоколы испытаний. По оси абсцисс может откладываться время, перемещение, и т. д.

Методика исследования влияния геометрии формообразующего инструмента на процесс КЛД заключается в следующем:

1. Выбирают исследуемый материал, изготавливают из него пластины размером 10x40x40 мм или 10x40x80мм;
2. Изготавливают роликовый инструмент с исследуемой геометрией (см. рис. 5, в);
3. Устанавливают исследуемую пластину и инструмент в экспериментальную оснастку на разрывной машине;
4. Задают силу (глубину) внедрения ролика в заготовку, назначают скорость перемещения ролика;
5. Включают разрывную машину. Роликовый инструмент движется по прямолинейной траектории по телу заготовки. В режиме реального времени снимают показания датчиков силы в нормальном и касательном направлениях;
6. Заменяют ролик на гладкий и повторяют п. 4 и 5, тем самым моделируя воздействие роликовой матрицы [4-16];
7. Заменяют ролик на начальный, производят смещение державки на заданную величину, моделируя движение по винтовой линии.
8. Повторяют п. 5-7 так, чтобы длина проработанного участка была не менее 15 мм;
9. Возвращают ролик в начальное положение и повторяют п. 8, моделируя многоцикловой характер процесса;
10. Извлекают заготовку с позиции обработки и проводят исследование микротвердости образца по сечению, предварительно распилив его, аналогично методике, описанной в [4].

Таким образом, данная экспериментальная установка и приведенная методика позволят выявить взаимосвязь геометрии формирующего инструмента, а также варьируемых па-

раметров процессов КЛД (сила (глубина) вдавливания, скорость деформирования, шаг подачи) на напряженно-деформированное состояние и характер пластического течения металла в очаге деформации и, как следствие, на глубину и градиент упрочнения изделия.

Полученные в результате экспериментов зависимости позволят управлять процессом и результатом упрочнения методом КЛД и в перспективе расширить номенклатуру изделий, которые можно обрабатывать по способам [12-15]; кроме того, параллельно будут получены новые данные о применимости к процессам КЛД меры деформации RD [14-18].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трегубов, В.И. Силовые режимы ротационной вытяжки цилиндрических деталей на специализированном оборудовании / В.И. Трегубов, С.П. Яковлев, С.С. Яковлев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2005. - № 1. - С. 17-23.
2. Яковлев, С.С. Силовые режимы ротационной вытяжки с утонением стенки трубных заготовок из анизотропного материала / С.С. Яковлев, В.И. Трегубов, Е.В. Осипова // Известия ТулГУ. Технические науки. - 2013. - № 1. - С. 48-58.
3. Яковлев, С.С. Механические свойства деталей, изготавливаемых ротационной вытяжкой / С.С. Яковлев, В.И. Трегубов, К.С. Ремнев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2012. - № 12. - С. 35-39.
4. Голенков, В. А. Научные основы упрочнения комплексным локальным деформированием / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, Г.П. Короткий. – М.: ООО «Издательство Машиностроение», Орел: Госуниверситет - УНПК, 2013. – 122 с.
5. Дорохов, Д.О. Управляемое формирование механических свойств в изделиях методом комплексного локального деформирования / Д. О. Дорохов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. - № 4(288). - С 31-37.
6. Голенков, В.А. Перспективы применения технологии «Валковая штамповка» для получения градиентных субмикро- и наноструктурных материалов / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // Известия ТулГУ. Технические науки. - 2008. - № 2. - С. 123-128.
7. Голенков, В.А. Классификация процессов комплексного локального деформирования / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2010. - № 6. - С. 85-89.
8. Голенков В.А. Анализ видов упрочняющей обработки пластическим деформированием / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2011. - № 1. - С. 59-62.
9. Голенков В.А. Научная технология обработки давлением с комплексным локальным нагружением очага деформации / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // Научные технологии в машиностроении. 2011. - № 3. - С. 31-37.
10. Голенков, В.А. Создание градиентных наноструктур в осесимметричных изделиях / В.А. Голенков С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Наноинженерия. 2012. - № 5. - С. 18-22.
11. Радченко, С.Ю. Экспериментальное исследование упрочняющей обработки внутренней поверхности вкладышей подшипников скольжения в условиях комплексного локального нагружения очага деформации / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Мир транспорта и технологических машин. - 2013. - № 3 (42). - С. 67-76.
12. Пат. 2340423 РФ, В 24 В 39/04. Способ получения металлических втулок/В.А. Голенков, В.Г. Малинин, С.Ю. Радченко, Г.П. Короткий, Д.О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2007110990/02; заявл. 26.03.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 13.
13. Пат. 2389580 РФ, В21D 51/02. Способ получения металлических втулок с градиентной субмикро- и нанокристаллическим состоянием материала/В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2008146754/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14.
14. Пат. 2387514 РФ, В21D 51/02. Способ получения металлических втулок с градиентной субмикро- и нанокристаллической структурой/В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ОрелГТУ». № 2008146756/02; заявл. 26.11.2008; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 12.
15. Пат. 2462327 РФ, МПК В21Н1/22. Способ получения металлических втулок с градиентно-упрочнённой структурой / В.А. Голенков, С.Ю. Радченко, И.М. Грядун (RU). - №2010153917/02; Заявлено 27.12.2010; Опубл. 27.09.2012, Бюл. №27.
14. Радченко, С.Ю. Физический смысл реальной деформации / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов // Известия ТулГУ. Технические науки. - №5. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. - С. 33-40.
15. Радченко, С.Ю. Новая форма представления меры линейной деформации /С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов //Известия ТулГУ. Технические науки. - Вып. 2. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. - С. 446-457.
16. Радченко, С.Ю. Новая форма меры деформации в тензорном виде /С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов //Известия ТулГУ. Технические науки. - Вып. 5. - Ч. 3. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. - С. 202-208.

17. Радченко С.Ю., Дорохов Д.О. Анализ мер деформации // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2012. - № 5(295). - С. 67 -75.

18. Радченко, С.Ю. Применение новой меры деформации RD к инженерному расчету процессов комплексного локального нагружения (деформирования) [Текст] / С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, И.М. Грядун // Известия ТулГУ. Технические науки. - Вып. 8. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. - С. 375-383.

Голенков Вячеслав Александрович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
доктор технических наук, профессор, президент
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
E-mail: admin@ostu.ru

Радченко Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
Доктор технических наук, проф., проректор
302020, Орел, Наугорское шоссе, 29
E-mail: sur@ostu.ru

Дорохов Даниил Олегович

Мценский филиал ФГБОУ ВПО «Госуниверситет- УНПК»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: ddostu@mail.ru,

Кисловский Александр Алексеевич

Мценский филиал ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
Аспирант
E-mail: thethe99@mail.ru

V.A. GOLENKOV, S.Y. RADCHENKO, D.O. DOROKHOV, A.A. KISLOVSKY
**TECHNIQUE OF RESEARCH OF INFLUENCE OF GEOMETRY
THE FORM-BUILDING TOOL ON HARDENING
DETAILS OF CARS METHODS OF THE COMPLEX
LOCAL DEFORMATION**

The article analyzes the results and a new task for the technology integrated local deformation. Apparatus of the experimental setup for studying the influence of the geometry of the forming tool to process complex local deformation. The technique of experimental work.

Keywords: *complex local deformation; forming tool; experimental setup, hardening, tool geometry.*

BIBLIOGRAPHY

1. Tregubov, V.I. Silovye rezhimy rotacionnoj vytjazhki cilindricheskikh detalej na speciali-zirovannom oborudovanii / V.I. Tregubov, S.P. Jakovlev, S.S. Jakovlev // Kuznechno-shtampovocnoe pro-izvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. - 2005. - № 1. - S. 17-23.

2. Jakovlev, S.S. Silovye rezhimy rotacionnoj vytjazhki s utoneniem stenki trubnyh zagotovok iz anizotropnogo materiala / S.S. Jakovlev, V.I. Tregubov, E.V. Osipova // Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. - 2013. - № 1.- S. 48-58.

3. Jakovlev, S.S. Mehanicheskie svojstva detalej, izgotavlivaemyh rotacionnoj vytjazhkoj / S.S. Jakovlev, V.I. Tregubov, K.S. Remnev // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. - 2012. - № 12. - S. 35-39.

4. Golenkov, V. A. Nauchnye osnovy uprochnenija kompleksnym lokal'nym deformirovaniem / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, G.P. Korotkij. – M.: ООО «Издательство Mashinostroe-nie», Орел: Gosuniversitet - UNPK, 2013. – 122 s.

5. Dorohov, D.O. Upravljaemoe formirovanie mehanicheskikh svojstv v izdelijah metodom kom-pleksnogo lokal'nogo deformirovanija / D. O. Dorohov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2011. - № 4(288). - S 31-37.

6. Golenkov, V.A. Perspektivy primenenija tehnologii «Valkovaja shtampovka» dlja poluchenija gradientnyh submikro- i nanostrukturnykh materialov / V.A. Golenkov S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov // Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. - 2008. - № 2. - S. 123-128.

7. Golenkov, V.A. Klassifikacija processov kompleksnogo lokal'nogo deformirovanija / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, I.M. Grjadunov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - 2010. - № 6. - S. 85-89.

8. Golenkov V.A. Analiz vidov uprochnjajushhej obrabotki plasticheskim deformirovanijem [Tekst] / V.A. Golenkov S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, I.M. Grjadunov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - 2011. - № 1. - S. 59-62.

9. Golenkov V.A. Naukoemkaja tehnologija obrabotki davleniem s kompleksnym lokal'nym na-gruzheniem ochaga deformacii / V.A. Golenkov S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov // Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii. 2011. - № 3. - S. 31-37.

10. Golenkov, V.A. Sozdanie gradientnyh nanostruktur v osesimmetrichnyh izdelijah / V.A. Golenkov S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, I.M. Grjadunov // Nanoinzhenerija. 2012. - № 5. - S. 18-22.

11. Radchenko, S.Ju. Jeksperimental'noe issledovanie uprochnjajushhej obrabotki vnutrennej po-verhnosti vkladyshej podshipnikov skol'zhenija v uslovijah kompleksnogo lokal'nogo nagruzhenija ochaga deformacii / S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, I.M. Grjadunov // Mir transporta i tehnologicheskikh ma-shin. 2013. - № 3 (42). - S. 67-76.

12. Pat. 2340423 RF, B 24 B 39/04. Sposob poluchenija metallicheskih vtulok/V.A. Golenkov, V.G. Malinin, S.Ju. Radchenko, G.P. Korotkij, D.O. Dorohov; zajavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «OrelGTU». № 2007110990/02; zajavl. 26.03.2007; opubl. 10.12.2008, Bjul. № 13.

13. Pat. 2389580 RF, B21D 51/02. Sposob poluchenija metallicheskih vtulok s gradientnoj sub-mikro- i nanokristallicheskim sostojaniem materiala/V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov; zaja-vitel' i paten-toobladatel' GOU VPO «OrelGTU». № 2008146754/02; zajavl. 26.11.2008; opubl. 20.05.2010, Bjul. № 14.

14. Pat. 2387514 RF, B21D 51/02. Sposob poluchenija metallicheskih vtulok s gradientnoj sub-mikro-i nanokristallicheskoj strukturoj/V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov; zajavitel' i pa-tentoobladatel' GOU VPO «OrelGTU». № 2008146756/02; zajavl. 26.11.2008; opubl. 27.04.2010, Bjul. № 12.

15 Pat. 2462327 RF, MPK B21H1/22. Sposob poluchenija metallicheskih vtulok s gradientno-uprochnjonnoj strukturoj / V.A. Golenkov, S.Ju. Radchenko, I.M. Grjadunov (RU). - №2010153917/02; Zajav-leno 27.12.2010; Opubl. 27.09.2012, Bjul. №27.

14. Radchenko, S.Ju. Fizicheskij smysl real'noj deformacii / S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov // Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. - №5. – Tula: Izd-vo TulGU, 2013. - S. 33-40.

15. Radchenko, S.Ju. Novaja forma predstavlenija mery linejnoy deformacii /S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov //Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. - Vyp. 2. - Tula: Izd-vo TulGU, 2011. - S. 446-457.

16. Radchenko, S.Ju. Novaja forma mery deformacii v tenzornom vide /S.Ju. Radchenko, D.O. Do-rohov //Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. - Vyp. 5. - Ch. 3. - Tula: Izd-vo TulGU, 2011. - S. 202-208.

17. Radchenko S.Ju., Dorohov D.O. Analiz mer deformacii//Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. - 2012. - № 5(295). - S. 67 -75.

18. Radchenko, S.Ju. Primenenie novej mery deformacii RD k inzhenernomu raschetu processov kompleksnogo lokal'nogo nagruzhenija (deformirovanija) [Tekst] / S.Ju. Radchenko, D.O. Dorohov, I.M. Grjadunov // Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. - Vyp. 8. - Tula: Izd-vo TulGU, 2013. - S. 375-383.

Golenkov Vyacheslav Alexandrovich,

The Federal State Higher Education Professional Institution «State University –Education-Scientific-Production Complex», Orel
Doctor of technical science. professor, president,
E-mail: admin@ostu.ru

Radchenko Sergey Yurevich,

The Federal State Higher Education Professional Institution «State University –Education-Scientific-Production Complex», Orel
Doctor of technical science. professor, prorector,
E-mail: sur@ostu.ru

Dorokhov Daniel Olegovich

Federal State Budget financed Educational Institution of Higher Education “State university - educational - scientific – production complex” Mtsensk Branch, Mtsensk
Candidate of technical science, docent
E-mail: ddostu@mail.ru,

Kislovsky Alexander Alekseevich

Federal State Budget financed Educational Institution of Higher Education “State university - educational - scientific – production complex” Mtsensk Branch, Mtsensk
post-graduate student
E-mail: thethe99@mail.ru

УДК 621.048

А.П. СЕРГИЕВ, Д.А. ПРОСКУРИН, А.В. МАКАРОВ, А.Ю. ЕРЕМЕНКО, Р.Ю. СЕКИРИН

ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ В ЦЕНТРОБЕЖНО-ПЛАНЕТАРНЫХ УСТРОЙСТВАХ

В статье дано теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение условий сочетания конструкторско-технологических параметров для оптимизации интенсивности процесса и величины шероховатости.

Ключевые слова: уплотненный слой, центробежная сила, соотношение тангенциальных и нормальных сил, интенсификация, шероховатость.

Возможности традиционных способов шлифования как жестким, так и свободным абразивом постепенно приближаются к своему пределу. Дальнейшее их развитие связано с изменением кинематических соотношений скоростей заготовки и инструмента - при использовании жесткого абразивного инструмента [1-4] и обеспечением оптимального соотношения угловой скорости водила ω_b и угловой скорости камеры ω_k , которая должна иметь угол наклона к оси вращения, для интенсивного перемешивания деталей и абразива – при использовании свободного абразива [5]. Последние условия максимально реализуют переменное силовое поле в рабочей камере с технологической загрузкой. При этом использование существенно нелинейных силовых полей открывает широкие возможности интенсификации процесса обработки, что широко применяется в современном машиностроении.

Экспериментальная установка позволяла дискретно устанавливать радиус водила R_b 272 мм; 341 мм; 410 мм при радиусе камеры r с соотношением $u = \omega_k/\omega_b = 0.5; 0.75; 1$ (рис. 1).

Величина и соотношение нормальных и тангенциальных ускорений, возникающих при действии абразивной гранулы на обрабатываемую поверхность, всецело определяет характер разрушения, а, следовательно, технологическую производительность процесса и микрорельеф поверхности.

Для создания математической модели съема металла и формообразования поверхностного слоя рабочая камера была разбита послойно в радиальном направлении на три слоя: а) слой близкий к периферии камеры с радиусом $r = 100$ мм; б) средний слой с радиусом $r = 50$ мм; в) слой близкий к оси вращения рабочей камеры с радиусом $r = 20$ мм. Цикл движения камеры был разбит на 12 точек.

Интенсивность процесса обработки складывается из единичных актов удаления элементарных частиц металла, характеризующих суммарный съем металла и формообразование поверхностного слоя. Определяющими параметрами, влияющими на соотношения между $W_{n(max)}$ и $W_{\tau(max)}$, являются r и u [6].

Скорость движения между движущимися относительно друг друга радиальными слоями « k » определяется числом оборотов водила, расстоянием между слоями и передаточным числом между камерой и водилом:

$$V_{1k} = 2(n(r_1 k - r_1(k-1))) \cdot (u - 1), \quad (1)$$

Установлено наличие зон технологической среды, уплотненных центробежными силами и зон разряжения, в которых происходит осыпание технологической среды и интенсивное перемешивание. Процесс изменения силового поля носит колебательный характер с частотой соответствующей значению передаточного числа u . Пример формирования переменного силового поля для $R_b = 272$ мм, $n = 120$ об/мин, $u = 2,5$ для слоев $r = 100$ и $r = 50$ мм показан на рисунке 2.

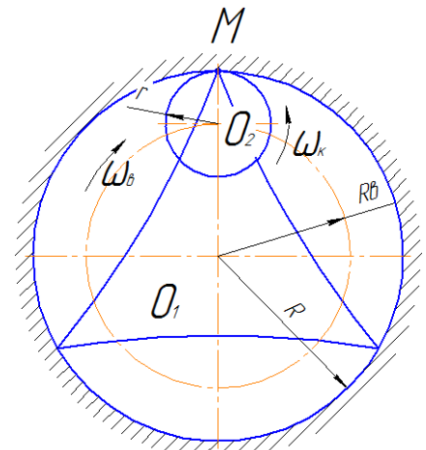


Рисунок 1 – Схема вращения камеры при противоположном направлении вращений водила и камеры

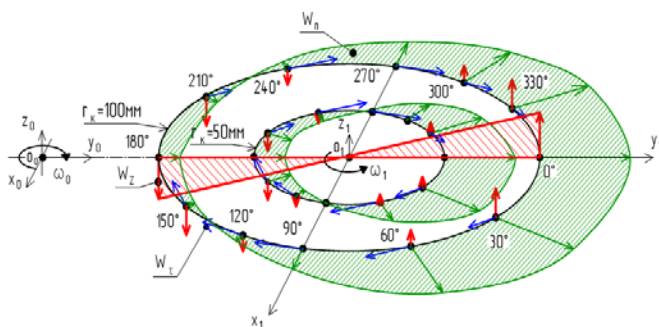


Рисунок 2 – Схема распределения силового поля рабочей камеры

На периферии камеры ($r = 100$ мм) в секторе от 120° до 240° наблюдается зона уплотнения с положительными значениями W_z и W_n в секторе от 230° до 140° наблюдается зона разрыхления, где W_z и W_n принимают отрицательные значения. В центральной зоне ($r = 50$ мм) зона уплотнения сужается до $90 - 270^\circ$, а зона разрыхления расширяется до сектора $280^\circ - 100^\circ$.

В зонах уплотнения происходит наиболее интенсивный съём металла, а в зонах разрыхления происходит «осыпание»

среды, интенсивное её перемешивание с последующим формированием нового слоя уплотнения.

Угол наклона оси камеры β увеличивает перемешивание технологической среды и производительность процесса, обеспечивая стабильность формирования поверхности и уменьшение шероховатости.

В результате построения математической модели получены аналитические зависимости определяющие величину съема металла M и шероховатость поверхностного слоя Ra в зависимости от параметров переменного силового поля [6].

Для оценки влияния доминирующих факторов был проведен полный факторный эксперимент, интервалы варьирования и уровни которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы, интервалы и уровни варьирования

№	ФАКТОРЫ	Интервалы варьирования	Уровни		
			min	0	max
1	x_1 - число оборотов водила n , об/мин	30	120	150	180
2	x_2 - модифицированное число Фруда $Fr(n)$	0,075	0,830	0,905	0,980
3	x_3 - угол наклона оси вращения камеры к оси вращения водила, β° (градусов)	5	0°	5°	10°

Модифицированное число Фруда вычисляют по формуле:

$$Fr(n) = \frac{(\omega_k + \omega_B)^2 \cdot r_k}{\omega_B^2 \cdot R_B} \quad (2)$$

Опыты проводились на плоских образцах из стали 20, меди М4, алюминия АД1. Время обработки при изучении съема металла составляло 15 мин.

Объем абразивных гранул диабазы, загружаемого в рабочую камеру, равнялся 2 дм^3 (1/3 от объема рабочей камеры). Рабочая жидкость – 3% раствор кальцинированной соды.

Производительность обработки приводилась к одной обрабатываемой детали за 15 мин.

Значения функций отклика одной детали M (мг/мин) и Ra (мкм), соответствовали следующим материалам и видам плоских образцов:

$M_{1(1;2)}$; $Ra_{1(1;2)}$ – образцы из стали 20; M_2 ; Ra_2 – образцы из меди М4;

M_3 ; Ra_3 – образцы из алюминия АД1;

После проведения регрессионного анализа и исключения незначимых коэффициентов уравнения приняли вид:

$$M_1 = 35 + 19,2x_1 + 13,7x_2 + 4x_3 + 7,3x_1x_2 + 2x_1x_3 + 2x_2x_3 + 1x_1x_2x_3;$$

$$M_2 = 60 + 32x_1 + 23,5x_2 + 6,5x_3 + 12,2x_1x_2 + 3x_1x_3 + 2,5x_2x_3 + 1x_1x_2x_3;$$

$$M_3 = 53 + 28x_1 + 20x_2 + 6x_3 + 9x_1x_2 + 3x_1x_3 + 2,2x_2x_3 + 1x_1x_2x_3;$$

$$Ra_1 = 1,4 + 0,3x_1 + 0,3x_2 - 0,25x_3 + 0,09x_1x_3;$$

$$Ra_2 = 2,78 + 0,53x_1 + 0,8x_2 - 0,4x_3 + 0,15x_1x_2 - 0,1x_1x_3 - 0,13x_2x_3;$$

$$Ra_3 = 1,64 + 0,31x_1 + 0,41x_2 - 0,24x_3.$$

Уравнения регрессии показали, что все факторы на съём металла влияют положительно, а наиболее значимым фактором для всех обработанных образцов является число оборотов водила x_1 , возрастание которого существенно влияет на интенсивность процесса. Вторым и третьим по значимости факторами являются фактор передаточного числа между водилом и камерой x_2 и фактор взаимного влияния x_1x_2 . Четвертым фактором, влияющим на съём металла, является угол наклона оси камеры к оси вращения водила x_3 .

На уменьшение шероховатости поверхности положительно влияет увеличение угла наклона оси вращения камеры к оси вращения водила x_3 . Отрицательными факторами стали два сопоставимых по значимости фактора: фактор x_1 и фактор x_2 .

Для определения эффективных решений оптимизации целевой функции был использован метод поиска Парето [7], согласно которому построены диаграммы для всех исследованных материалов, изображенные на рисунке 3.

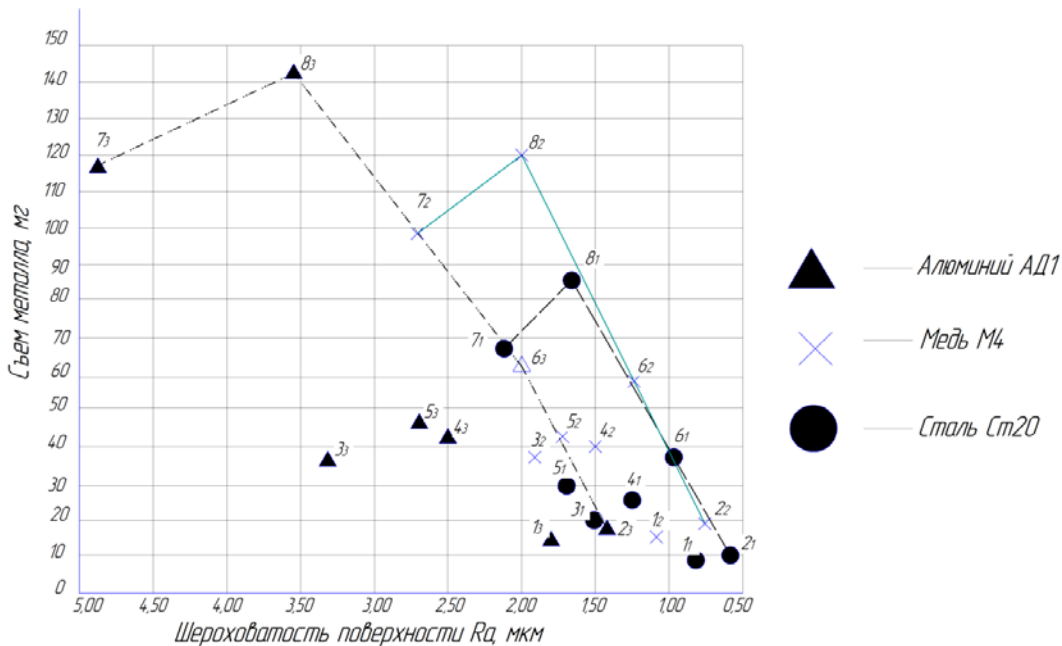


Рисунок 3 – Эффективные решения по Парето при обработке плоских образцов
1 – стали 20; 2 – медь М4; 3 – алюминий АД1.

Анализ диаграмм Парето показал, что эффективные решения одинаковы для всех видов исследованных материалов и характеризуются режимами 2, 6, 8.

Выводы:

1. Уравнения регрессии, составленные для съема металла, показали, что все факторы оказывают существенное влияние на интенсивность обработки.
2. Положительное влияние на уменьшение шероховатости поверхностей оказывает увеличение угла наклона оси вращения камеры. Противоположное воздействие оказывают факторы x_1 и x_2 .
3. Экспериментально подтверждена адекватность математической модели съема металла. Установлено, что с увеличением числа оборотов водила (от 120 до 180 об/мин) съём металла увеличился в 3,5 раза. Съём металла увеличился также с увеличением модифицированного числа Фруда и передаточного отношения «и».
4. Время формирования шероховатости поверхности кратно числу изменений силового поля рабочей камеры за один оборот водила: при числе оборотов водила $n = 120$ об/мин, $Fr(n) = 0.98$, $u = 3$ время формирования шероховатости составляет 10 минут, а при $n = 120$ об/мин, $Fr(n) = 0.98$, $u = 1$ время формирования шероховатости составило 30 минут обработки, то есть в 3 раза больше.
5. Установлено, что углы наклона осей вращения камер к оси вращения водила 5° , 10° , обеспечивая конусообразные траектории осей вращения камер, увеличивают послойное

перемешивание массы технологической среды внутри рабочих камер, что приводит к увеличению производительности обработки при угле 5° до 12% и уменьшению шероховатости поверхности до 14%, а при угле 10° - до 36% и 30% соответственно.

6. Проведенный поиск эффективных решений по методу Парето позволил выявить эффективные режимы обработки для оптимизации целевой функции.

7. Полученные уравнения регрессии позволяют в дальнейшем оптимизировать процесс обработки движением по градиенту методом Бокса-Уинстона или с использованием симплекс-метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков, Ю.М. Современные тенденции развития абразивной обработки /Ю.М. Ермаков, Ю.С. Степанов. - М: ВНИИТЭМР, 1991.- 62 с.
2. Ермаков, Ю.М., Степанов Ю.С. Современные способы эффективной абразивной обработки /Ю.М. Ермаков, Ю.С. Степанов. – М: ВНИИТЭМР, 1992. – 64 с.
3. Ермаков, Ю.М. Перспективы развития абразивно-алмазной обработки /Ю.М. Ермаков, Ю.С. Степанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. - №3. – С. 85-90.
4. Современные конкурентоспособные технологии абразивно-алмазной обработки заготовок /Ю.М. Зубарев, З.И. Кремень, Ю.М. Ермаков, Ю.С. Степанов // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2011. - № 5. – С. 39-42.
5. Сергиев, А.П. Кинематика центробежно-планетарной установки [Текст] / А.П. Сергиев, И.О. Матвеев, Д.А. Спицын // Вестник машиностроения. - 2007. - № 10. – С. 13 – 15.
6. Sergiev, A.P. Optimization principles finishing treatm in centrifugal planetary machines [Text] / A.P. Sergiev, D.A. Proskurin, A.V. Makarov, A.U. Eremenko // Science and Education. Materials of the III international research and practice conference vol. I, - Munich – Germany, 2013. – P. 176-183.
7. Копосов, В.Н. Математическое моделирование процессов в машиностроении [Электронный ресурс] / В.Н. Копосов. – Электрон. Текстовые дан. – Ивановский государственный энергетический университет: [б.и.]. – Режим доступа: <http://elib.ispu.ru/library/lessons/Koposov/>

Сергиев Аркадий Петрович Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

Профессор кафедры «Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении»

Телефон: +7 (919) 4308250

E-mail: omd_sti_misis@mail.ru

Проскурин Денис Александрович

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

Ассистент кафедры «Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении»

Телефон: +7 (960) 6235346

E-mail: deninio@mail.ru

Макаров Алексей Владимирович

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

Доцент кафедры «Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении»

Телефон: +7 (952) 4359010

E-mail: makarov.av@mail.ru

Еременко Алексей Юрьевич

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

Доцент кафедры «Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении»

Телефон: +7 (951) 1512019

E-mail: al_erenenko@mail.ru

Долгих Антон Сергеевич

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

Аспирант кафедры «Технологии и оборудование в металлургии и машиностроении»

Телефон: +7 (4725) 422989

E-mail: omd_sti_misis@mail.ru

A.P. SERGIEV, D.A. PROSKURIN, A.V. MAKAROV, A.Ju. EREMENKO, A.S. DOLGIH

THE SEARCH FOR EFFECTIVE SOLUTIONS FOR PROCESSING IN A CENTRIFUGAL PLANETARY DEVICES

In the article given a theoretical evidence and experimental confirmation of the terms of the combination of design and process parameters to optimize the intensity of the process and the value of the roughness.

Keywords: compacted layer, the centrifugal force, the ratio of the tangential and normal forces, intensification, roughness.

BIBLIOGRAPHY

1. Ermakov, Ju.M. Sovremennye tendencii razvitiya abrazivnoj obrabotki /Ju.M. Ermakov, Ju.S. Stepanov. - M: VNIITJeMR, 1991.- 62 s.
2. Ermakov, Ju.M., Stepanov Ju.S. Sovremennye sposoby jeffektivnoj abrazivnoj obrabotki /Ju.M. Ermakov, Ju.S. Stepanov. – M: VNIITJeMR, 1992. – 64 s.
3. Ermakov, Ju.M. Perspektivy razvitiya abrazivno-almaznoj obrabotki /Ju.M. Ermakov, Ju.S. Stepanov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2011. - №3. – S. 85-90.
4. Sovremennye konkurentosposobnye tehnologii abrazivno-almaznoj obrabotki zagotovok /Ju.M. Zubarev, Z.I. Kremen', Ju.M. Ermakov, Ju.S. Stepanov // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal s prilozheniem. – 2011. - № 5. – S. 39-42.
5. Sergiev, A.P. Kinematika centrobezhno-planetarnoj ustanovki [Tekst] / A.P. Sergiev, I.O. Matveev, D.A. Spicyn // Vestnik mashinostroeniya. - 2007. - № 10. – S. 13 – 15.
6. Sergiev, A.P. Optimization principles finishing treatm in centrifugal planetary machines [Text] / A.P. Sergiev, D.A. Proskurin, A.V. Makarov, A.U. Eremenko // Science and Education. Materials of the III international research and practice conference vol. I, - Munich – Germany, 2013. – P. 176-183.
7. Koposov, V.N. Matematicheskoe modelirovanie processov v mashinostroenii [Jelektronnyj resurs] / V.N. Koposov. – Jelektron. Tekstovye dan. – Ivanovskij gosudarstvennyj jenergeticheskij universitet: [b.i.]. – Rezhim dostupa: <http://elib.ispu.ru/library/lessons/Koposov>.

Sergiev Arkadij Petrovich

Sary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science and Technology «MISiS»
The professor of Department "Technology and equipment in metallurgy and machine-building"

Phone: +7 (919) 4308250

E-mail: omd_sti_misis@mail.ru

Proskurin Denis Aleksandrovich

Sary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science and Technology «MISiS»
Postgraduate, the assistant of Department "Technology and equipment in metallurgy and machine-building"

Phone: +7 (960) 6235346

E-mail: deninio@mail.ru

Makarov Aleksej Vladimirovich

Sary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science and Technology «MISiS»
The associate professor of Department "Technology and equipment in metallurgy and machine-building"

Phone: +7 (952) 4359010

E-mail: makarov.av@mail.ru

Eremenko Aleksej Jur'evich

Sary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science and Technology «MISiS»
The associate professor of Department "Technology and equipment in metallurgy and machine-building"

Phone: +7 (951) 1512019

E-mail: al_erenko@mail.ru

Sekirin Ruslan Jur'evich

Sary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science and Technology «MISiS»
Postgraduate of Department "Technology and equipment in metallurgy and machine-building"

Phone: +7 (4725) 422989

E-mail: omd_sti_misis@mail.ru

ДЕФОРМАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НАРЕЗАНИИ ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБЫ НА СВАРНЫХ КОРПУСАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

В статье показано использование трехмерного моделирования в системе SolidWorks Simulation для определения упругих перемещений элементов технологической системы под действием радиальной составляющей силы резания. Моделированием определены величины упругих деформаций, изменяющихся по углу поворота заготовки сварного корпуса и изменению его поперечной жесткости.

Ключевые слова: упругие деформации, трехмерное моделирование, нежесткие заготовки, высокопрочные стали.

Повышение требований к эффективности ответственных изделий, обеспечению заданной эксплуатационной прочности при одновременном снижении массы вынуждает конструкторов использовать высокопрочные или сверхпрочные стали типа ВП-25, ВП-28 и т.п. с пределом прочности после термообработки свыше 1800 МПа. При этом толщина стенок, например, сварных корпусов, значительно уменьшается и изделия переходят в разряд тонкостенных. При изготовлении нежестких конструкций, в том числе и тонкостенных, возникают технологические затруднения. Особенно это проявляется при обработке сварных корпусов, в которых к тонкостенному корпусу приварены дополнительные элементы, служащие для базирования в готовом изделии [1-7].

Токарную обработку конструктивных элементов сварных корпусов обычно проводят твердым сплавом. Особо сложной является операция нарезания внутренней упорной резьбы, так как под ней остается чрезвычайно тонкая стенка, а радиальные составляющие силы резания достигают значительных величин (в частном случае, рассмотренном в настоящей статье $P_y = 436,832$ Н). Процесс нарезания резьбы целесообразно смоделировать в программе трехмерного моделирования [6-8]. Для этого составим трехмерную схему (рис. 1).

Подготавливаем трёхмерную модель сварного корпуса для воздействия радиальной составляющей силы резания $P_y = 436,832$ Н. Закрепление сварного корпуса осуществляется по технологической базе, зона воздействия силы находится на резьбе в некоторой точке. В результате проведенного моделирования наблюдаем на эпюре сварной корпус, который приобрел выпучивание в месте приложения силы (рис. 2 и 3).

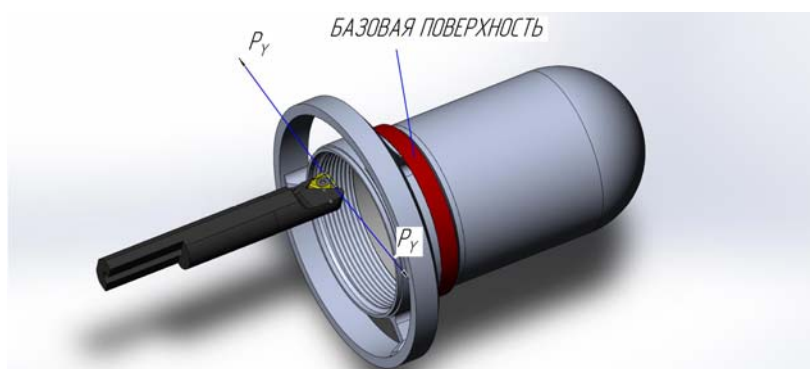


Рисунок 1 – Схема приложения нагрузки в трехмерной среде

Величина перемещения на внутреннем диаметре $\varnothing 105^{+0,07}$ составляет 0,0053 мм в месте соединения перемычек с корпусом и 0,014 - между перемычками (рисунок 3).

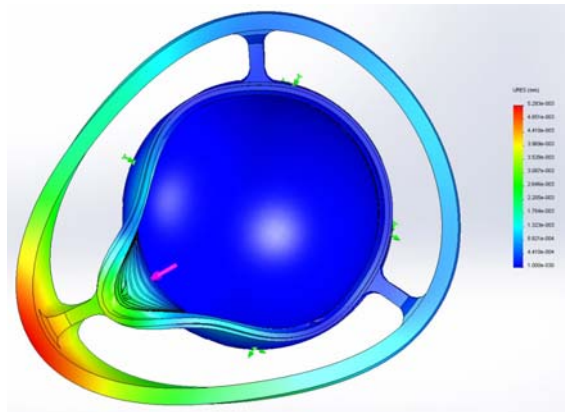


Рисунок 2 – Сварной корпус после приложения нагрузки при нарезании резьбы в месте соединения перемычки с корпусом (в SolidWorks Simulation)

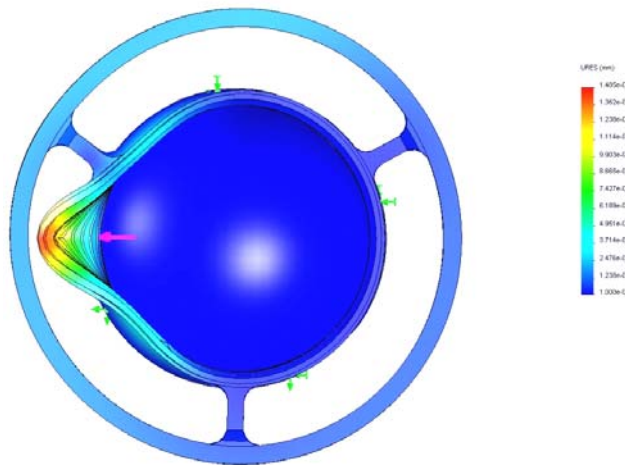


Рисунок 3 – Сварной корпус после приложения нагрузки при нарезании резьбы между перемычками (в SolidWorks Simulation)

Сравнительный анализ величин перемещения (рис. 4) на внутреннем диаметре $\text{Ø}105^{+0,07}$ показывает, что участок в месте соединения перемычек с корпусом имеет большую жесткость, чем участок между перемычками.

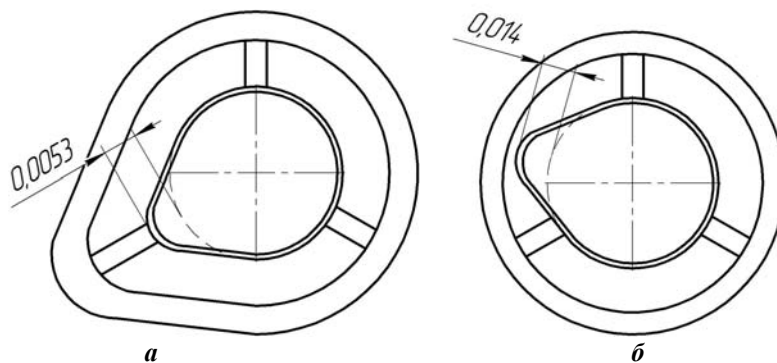


Рисунок 4 – Погрешности формы в поперечном сечении после приложения нагрузки при нарезании резьбы а) в месте соединения перемычек с корпусом; б) между перемычками

Аналогичное моделирование провели на сварном корпусе без перемычек. При этом величина перемещения на внутреннем диаметре $\text{Ø}105^{+0,07}$ составляет 0,0045 мм (рис. 5). Такое отклонение носит постоянный характер, а не как в сварных корпусах с перемычками, где подобное отклонение приводило к колебаниям.

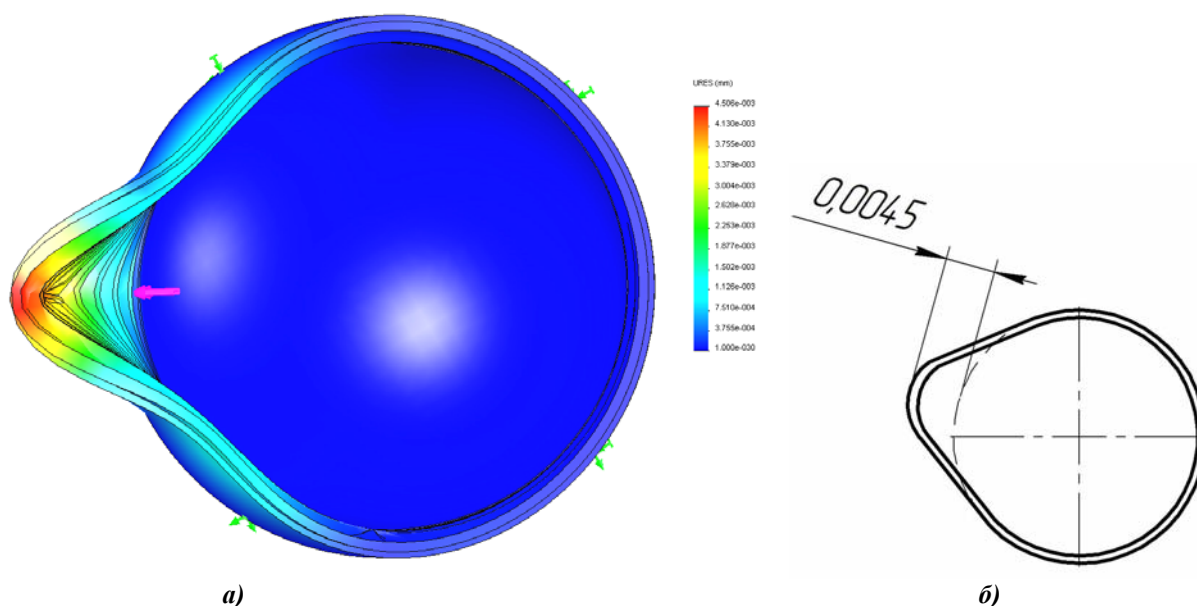


Рисунок 5 – Сварной корпус без перегородок после приложения нагрузки при нарезании резьбы
 а) в Solid Works Simulation; б) схема деформирования

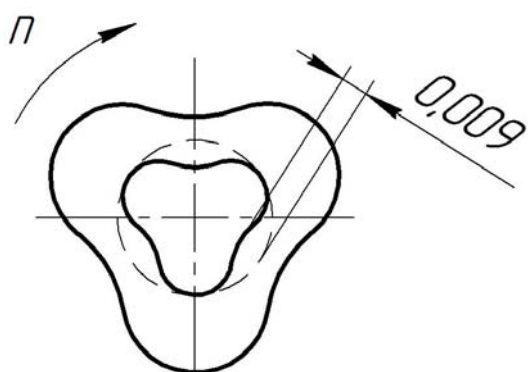


Рисунок 6 – Деформации сварного корпуса зажатого в патроне в процессе нарезания резьбы

При нарезании упорной резьбы шпиндель вращается с частотой 145 мин^{-1} и деформация перемещается по периметру сварного корпуса. При этом ее размер изменяется, что приводит резьбовой резец в колебательное движение, способствующее к возникновению вибраций (рис. 6) [9, 10]. Для определения деформаций резца также следует произвести расчет. Подготавливаем трёхмерную модель сварного корпуса для воздействия радиально составляющей силы резания $P_y = 436,832 \text{ Н}$.

Закрепление резца осуществляется за хвостовик, при этом зона воздействия силы находится в месте установки пластины (рис. 7).

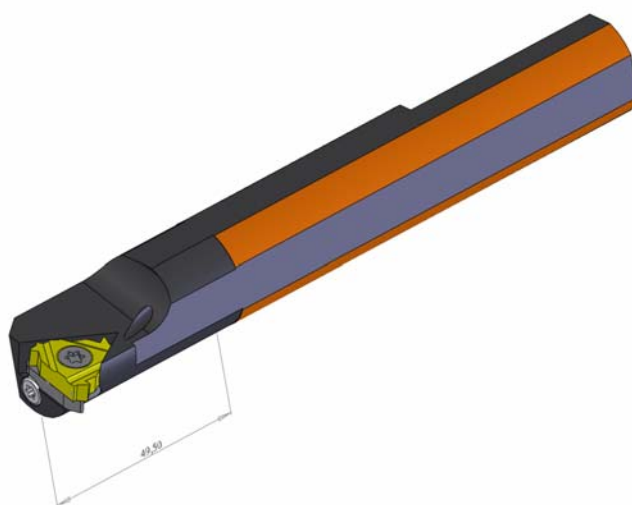


Рисунок 7 - Трёхмерная модель резьбовой державки (места крепления выделены темным цветом)

Вылет резца минимизирован экспериментальным путем. В результате проведенного моделирования наблюдаем на эпюре деформированную державку резьбового резца, которая прогнулась в месте приложения силы (рис. 8).

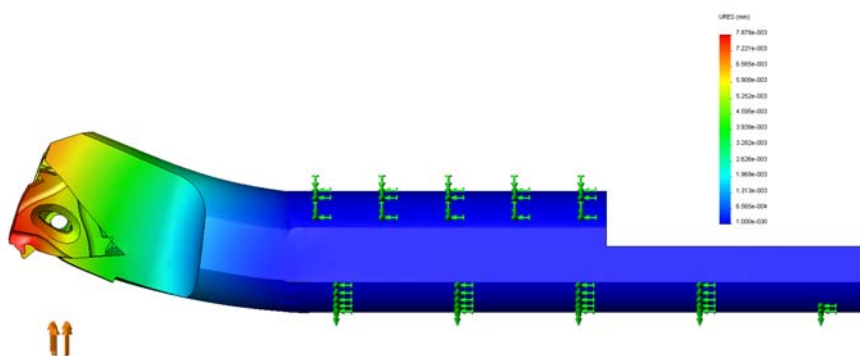


Рисунок 8- Державка резьбового резца после приложения нагрузки при нарезании резьбы в месте крепления СМП в SolidWorks Simulation

Величина перемещения составила 0,005 мм в месте крепления пластины.

Анализ вибрационных процессов при токарной обработке сварного корпуса показывает, что в результате воздействия перемычек на корпус сборки, отжим резца изменяется на 0,005 мм, вызванного переменной жесткостью по периферии сварного корпуса, как показано на рисунке 9.

Как известно, силы резания, в значительной мере зависящие от трения стружки и заготовки о резец, начиная с некоторого значения скорости резания, уменьшаются [10].

В связи с этим резец может совершать относительно сварного корпуса колебания, подобно колебаниям маятника Фруда, если скорость резания соответствует падающему участку характеристики. По-видимому, падающая характеристика является основной причиной высокочастотных колебаний резца. Вследствие колебания тонкой стенки сварного корпуса, при воздействии резца, происходит вибрационные процессы вызывающие дефекты поверхности в виде «дробленой поверхности» (рис. 10).

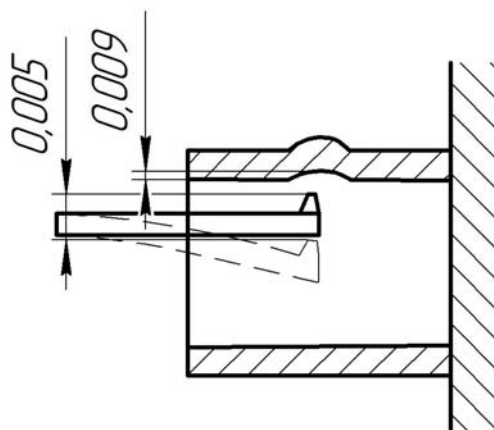


Рисунок 9 - Отжим резца в процессе нарезания резьбы

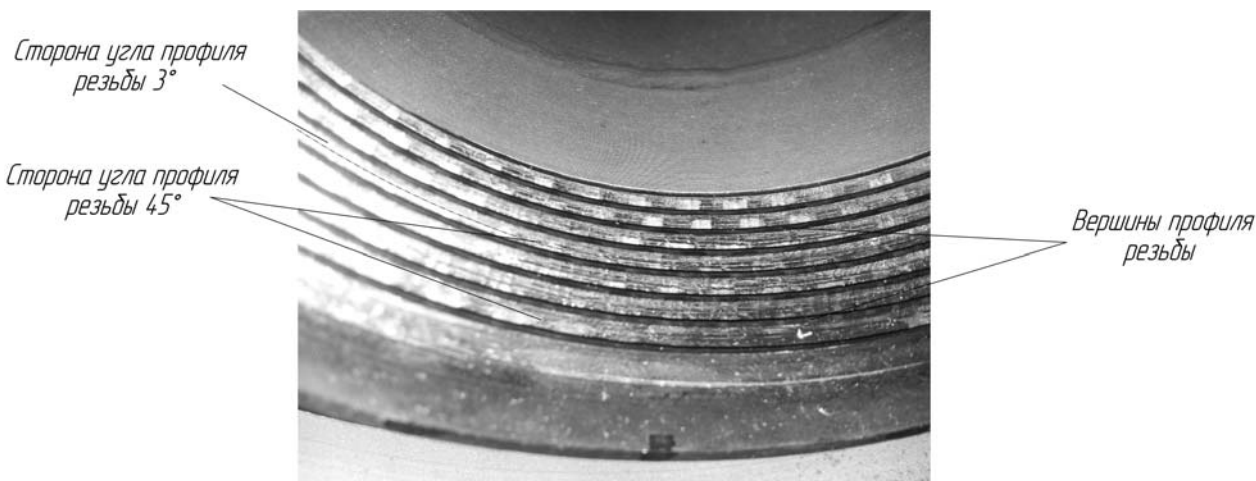


Рисунок 10- Фотография нарезанной резьбы со следами вибраций

Известно, что сила резания при углублении резца в свежий металл уменьшается, а при отталкивании под действием слоев металла повышенной твердости, прилегающего к стружке, увеличиваются [1]. Это признано одной из причин автоколебаний при резании.

Дополнительной причиной изменения сил резания является изменение мгновенной геометрии инструмента при колебаниях. Характер изменения переднего и заднего углов в условиях колебаний следующий: при врезании передний угол - больше и значит, сила резания будет меньше; при отходе передний угол - меньше, сила резания будет больше. Возникающая за счет разности сил резания по перемещению положительная работа идет на поддержание автоколебаний.

Переменные силы создаются также благодаря переменной толщине стружки, определяемой неровностью поверхности, полученной на предыдущем обороте. При точении проходными, отрезными и другими резцами решающее значение на развитие вибрации оказывают следы резов на предыдущих оборотах, благодаря которым в систему вносится 85 % всей работы, идущей на колебания, и только 15 % вносится изменениями сил, обусловленных другими причинами.

Компьютерное моделирование в среде SolidWorks позволило установить, что минимальные значения диаметра внутренней поверхности приходится на сечения, в которых соединяются переключки с тонкостенным нежестким сварным корпусом, а максимальные значения - в средней части и у торцов сварного корпуса. Это свидетельствует о получении невысокой точности цилиндрических поверхностей тонкостенных сварных корпусов, вследствие образования погрешностей формы в поперечном сечении.

Переменность величины упругих деформаций является начальной причиной автоколебаний при нарезании внутренней резьбы и, по аналогии, растачивании отверстий в нежестких сварных корпусах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ямников, А.С. Основы технологии машиностроения: учебник / А.С. Ямников [и др.]; под ред. Ямникова А.С. – Тула: Изд-во ТулГУ. 2006. - 269 с.
2. Чуприков, А.О. Обеспечение точности при токарной обработке нежестких деталей / А.О. Чуприков // Известия ТулГУ. Технические науки. - 2012.- Вып. 10. - С. 79 – 83.
3. Чуприков, А.О. Повышение точности токарной обработки тонкостенных деталей / А.О. Чуприков, В.В. Иванов / Вестник Машиностроения. №6, 2012. С. 60 – 61.
4. Ямников, А.С. Снижение систематических погрешностей при токарной обработке тонкостенных сварных корпусов / А.С. Ямников, В.В. Иванов, А.О. Чуприков / Справочник. Инженерный журнал. – 2013. - № 9. - С. 31-36.
5. Ямников, А.С. Специфика сборки соединений с избыточными связями / А.С. Ямников, А.Ю. Илюхин // Известия ОрелГТУ. Машиностроение. - №2. - 2006. - С. 132-136.
6. Ямников, А.С. Относительная производительность фрезоточения резьб / А.С. Ямников, Д.Ю. Солянкин / Известия ОрелГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - №6 (284). - 2010. - С. 109-114.
7. Ямников, А.С. Изготовление винтовых выступов на пуансоне / А.С. Ямников, Д.П. Волков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии № 4/3 (288). - 2011. - С. 99-104.
8. Алямовский, А.А. Инженерные расчёты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. – М.: Изд-во ДМК-Пресс, 2010. – 230 с.
9. Дальский, А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин / А.М. Дальский. – М.: Машиностроение. 1975. - 225 с.
10. Соколовский, А.П. Научные основы технологии машиностроения / А.П. Соколовский. - М.: Машгиз, 1955. - 515 с.

Чуприков Артем Олегович

Тульский оружейный завод, г. Тула
Кандидат технических наук, начальник бюро
E-mail: artemline@rambler.ru

Ямников Александр Сергеевич

Тульский государственный университет, г. Тула
Доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения
E-mail: yamnikovas@mail.ru

A.O. CHUPRIKOV, A. S. YAMNIKOV

DEFORMATIONS OF ELEMENTS OF TECHNOLOGICAL SYSTEM WHEN CUTTING THE FEMALE THREAD ON WELDED CASES UNDER THE INFLUENCE OF THE RADIAL THE MAKING FORCE OF CUTTING

Use of three-dimensional modeling is shown in article in SolidWorks Simulation system for definition of elastic movements of elements of technological system under the influence of a radial component of force of cutting. Modeling determined sizes of the elastic deformations changing on an angle of rotation of preparation of the welded case and change of its cross rigidity.

Keywords: elastic deformations, three-dimensional modeling, nonrigid preparations, high-strength became.

BIBLIOGRAPHY

1. Yamnikov, A.S. Osnovy tekhnologii mashinostroeniya: uchebnik / A.S. Yamnikov [i dr.]; pod red. Yamnikova A.S. – Tula: Izd-vo TulGU, 2006. - 269 s.
2. Chuprikov, A.O. Obespechenie tochnosti pri tokarnoj obrabotke nezhestkih detalej /A.O. Chuprikov // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. - 2012.- Vyp. 10. - S. 79 – 83.
3. Chuprikov, A.O. Povyshenie tochnosti tokarnoj obrabotki tonkostennykh detalej / A.O. Chuprikov, V.V. Ivanov / Vestnik Mashinostroeniya. - №6. - 2012. - S. 60 – 61.
4. Yamnikov, A.S. Snizhenie sistemacheskikh pogreshnostej pri tokarnoj obrabotke tonkostennykh svarnykh korpusov/ A.S. Yamnikov, V.V. Ivanov, A.O. Chuprikov / Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. – 2013. - № 9. - S. 31-36.
5. Yamnikov, A.S. Specifika sborki soedinenij s izbytochnymi svyazyami / A.S. Yamnikov, A.YU. Ilyuhin // Izvestiya OrelGTU. Mashinostroenie. - №2. - 2006. - S. 132-136.
6. Yamnikov, A.S. Otnositel'naya proizvoditel'nost' frezotocheniya rez'b / A.S. Yamnikov, D.YU. Solyan-kin / Izvestiya OrelGTU. /Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. №6 (284) 2010. - S. 109-114.
7. Yamnikov, A.S. Izgotovlenie vintovykh vystupov na puansone / A.S. Yamnikov, D.P. Volkov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii № 4/3 (288), 2011. - S. 99-104.
8. Alyamovskij, A.A. Inzhenernye raschyoty v SolidWorks Simulation /A.A. Alyamovskij. – M.: Izd-vo DMK-Press, 2010. – 230 s.
9. Dal'skij, A.M. Tekhnologicheskoe obespechenie nadezhnosti vysokotochnykh detalej mashin /A.M. Dal'skij. – M.: Mashinostroenie. 1975. - 225 s.
10. Sokolovskij, A.P. Nauchnye osnovy tekhnologii mashinostroeniya /A.P. Sokolovskij. - M.: Mashgiz, 1955. - 515 s.

Chuprikov Artem Olegovich

Tula small-arms factory, Tula
Candidate of Technical Sciences, chief of bureau
E-mail: artemline@rambler.ru

Yamnikov Alexander Sergeevich

Tula state university, Tula
Doctor of Engineering, professor of chair of technology of mechanical engineering
E-mail: yamnikovas@mail.ru

МАШИНЫ, АППАРАТЫ, ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК687.022

Е.В. ПРОКОПОВА, Е.Л. МОСЬКИНА, А.А. МОСЬКИН

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА НАСТРАЧИВАНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ КОНФИГУРАЦИИ СРЕЗОВ В ПЛЕЧЕВЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Выявление отклонений размерных параметров проймы и плечевого среза полочки при настрачивании декоративных элементов в разных направлениях и количестве от базовых срезов лекала.

Ключевые слова: декоративные элементы, размерные параметры конструктивных срезов полочки, конфигурация срезов.

Современный рынок достиг значительного насыщения различными видами одежды. Работа по созданию новых моделей приобретает особо важное значение. Встречающееся однообразие выпускаемых моделей является серьёзным недостатком в работе промышленности. Достичь разнообразия и новизны моделей можно с помощью декорирования поверхности формы изделия, например, использование орнаментированных материалов, различных вариантов комбинирования цвета и качества тканей, настрочных декоративных элементов, таких как рюши, воланы, тесьма и др.

При этом следует учесть, что при настрачивании декоративных деталей и элементов, например воланов, на верхнюю часть полочки, может происходить стягивание материала вдоль линии строчки и поперёк линии строчки, особенно когда декоративных элементов несколько, и они настрачиваются параллельно друг другу. В связи с этим могут возникать изменения линии горловины, линии проймы и линии плеча, которые являются ответственными участками конструкции (рис. 1).

На данные изменения оказывают влияния: структурная характеристика используемого материала, количество настрачиваемых элементов и расстояние между ними, расположение настрачиваемых элементов относительно нитей основы материала. Тщательно подбирая швейные нитки и правильно устанавливая технологические режимы пошива (уменьшение натяжения верхней и нижней ниток, частоту строчки, давление лапки, применяя необходимую игольную пластину, рейку с мелкими зубцами, регулируя высоту подъёма рейки в пределах 0,5-0,75 высоты зубца), можно уменьшить стягивание материалов. Но искажения вышеуказанных линий не избежать.

Для проведения испытаний была использована базовая конструкция полочки, построенная по методике ЕМКО СЕВ. Для наиболее точного определения изменения формы ответственных участков конструкции (линия проймы и плечевой срез) при настрачивании на полочку воланов были выполнены образцы технологических узлов [1]. Для образцов использовалась ткань из вискозных комплексных нитей, которую достаточно часто применяют для изготовления блузок, платьев и платьев-костюмов.

Эстетические требования, предъявляемые к материалам для данных ассортиментных групп, очень велики, причём они меняются от сезона к сезону в зависимости от направления

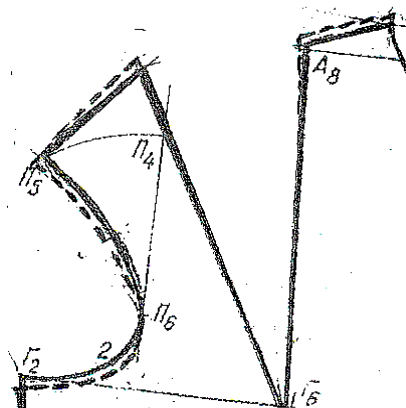


Рисунок 1 – Возможные изменения конфигурации проймы и линии плечевого среза при настрачивании декоративных деталей

моды. Неизменными остаются физиолого-гигиенические требования: небольшая масса, повышенная гибкость и упругость материалов, ограниченная жёсткость, хорошие гигроскопичность, воздухопроницаемость, высокая влагопоглощаемость. Кроме того, материалы для повседневных моделей одежды должны обладать достаточной формоустойчивостью, стойкостью к истиранию, а также сохранять линейные размеры во время эксплуатации одежды, во время стирок не усаживаться, после чего хорошо разглаживаться, не должны вызывать аллергических реакций кожи человека. Ткани из синтетических и искусственных волокон в достаточной мере удовлетворяют запросам потребителей. Ткани из вискозных волокон обладают рядом положительных свойств: светостойкость, мягкость, растяжимость, устойчивость к истиранию, высокие гигиенические свойства. Гигроскопичность способствует впитыванию пота, выделяемого на поверхности тела человека. Паропроницаемость – выведению паров пота в окружающую среду, что позволяет создавать и поддерживать комфортные условия для организма человека. Однако им свойствен ряд недостатков: повышенная усадка, потеря прочности в мокром состоянии, повышенная сминаемость [2]. Поэтому чаще для изготовления моделей блузок, платьев и др. используется ткань из высокомолекулярного вискозного волокна, которое имеет более упорядоченную структуру, что позволяет избежать присущих недостатков: снизить сминаемость и усадку.

Но также очевидно, что данные ткани обладают достаточной осыпаемостью и раздвигаемостью нитей. Раздвижка нитей в тканях характеризуется смещением нитей одной системы относительно нитей другой системы. В готовых изделиях раздвижка нитей проявляется преимущественно в области швов [3]. Уменьшить её можно соответствующим подбором конструкции и модели изделия. Поэтому модели чаще имеют полуприлегающий силуэт и минимум членений. Осыпаемость характеризуется смещением нитей около срезанного края ткани до спадения нитей одной системы с нитей другой. Большое влияние на осыпаемость оказывает переплетение. Так полотняное переплетение способствует снижению показателей осыпаемости и раздвигаемости нитей. При расположении срезов под углом 45° осыпаемость наименьшая, что очень благоприятно для выполнения декоративных элементов, например воланов. Также для предупреждения разрушения швов обмётывают все срезы, величина припусков на стачные швы составляет 5-6 мм, число стежков составляет от 3 до 4 в одном сантиметре, в результате чего возрастает устойчивость срезов к осыпанию в 2,5-5 раз.

Повышенная усадка проявляется в результате ВТО и приводит к усложнению технологического процесса. Поэтому для придания усадки всему полотну необходимо провести декатировку. Во избежание опалов необходимо на оборудовании ВТО установить соответствующие данному виду ткани параметры. Вискоза является термостойким волокном, температура глажения составляет 150- 160°.

Именно вышеизложенные данные объясняют выбор ткани из вискозного волокна для образцов.

Образцы деталей полочек выполнялись на размеры 96,104,112, два из которых наиболее встречающиеся (164-96-104 и 164-104-112), с различно расположенными настрочными декоративными элементами (ДЭ) на полочке и в различном количестве (таблица 1).

Таблица 1 – Расположение декоративных элементов на полочке

Размер	Направление воланов		
	горизонтальное	вертикальное	Под углом 45° (к направлению нитей основы)
96 104 112			

Интервалы между ДЭ для всех выбранных размеров одинаковые. Выбор месторасположения настрочных элементов на полочке соответствует наиболее информативным и чаще выбираемым зонам для размещения декоративных элементов [4]. Это верхняя часть полочки и вдоль края борта.

Для выявления зависимости количества настрочиваемых элементов на изменение конфигурации проймы и плечевого среза выполнялись образцы с одним и тремя воланами, настроченными на полочку. Результаты визуальноегеометрических измерений отклонений формы проймы и плечевого среза, экспериментальных образцов от основного лекала отображались на графиках. Два из них приведены ниже (рис. 1, 2).

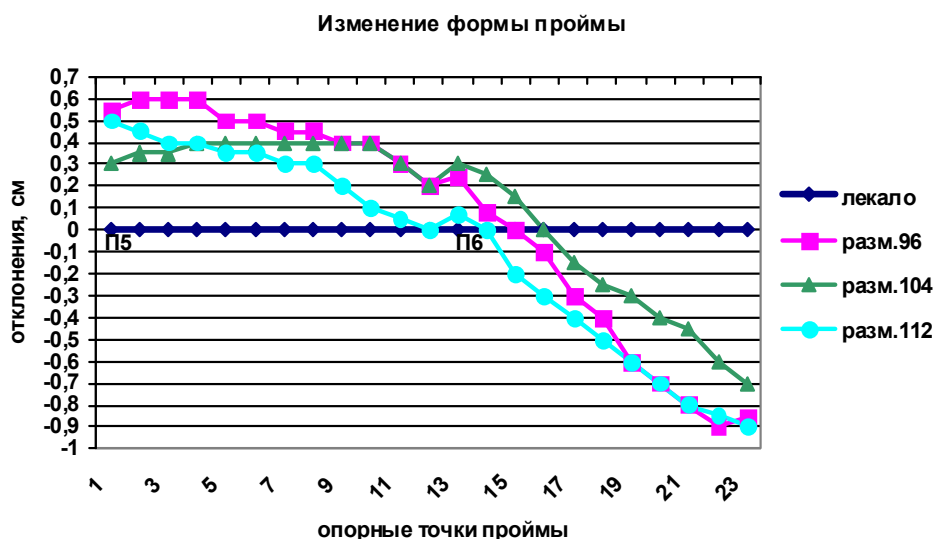


Рисунок 2 - График изменения конфигурации проймы при настрочивании на полочку 1 волана по горизонтали

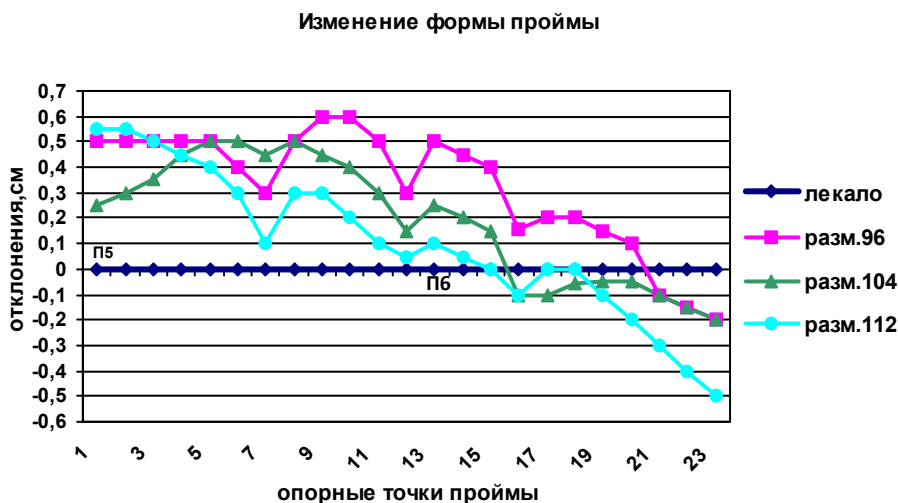


Рисунок 3 - График изменения конфигурации проймы при настрочивании на полочку 3-х воланов по горизонтали

Анализируя полученные результаты можно отметить что отклонения конфигурации проймы от основного лекала зависят от расположения воланов относительно точки П₆ (рис. 1).

Для одного горизонтально расположенного волана желательно не выбирать уровень точки П₆ ± 1 см. При расположении воланов на уровнях выше точки П₆ кривая П₆Г₂ отклоняется от основного лекала вниз (рис. 1). Если воланы расположены на уровне точки П₆

или на уровнях ниже по линии проймы, то кривая $\Pi_6\Gamma_2$ отклоняется от основного лекала вверх. Минимальные отклонения размеров проймы от основного лекала происходят, когда горизонтально настрачиваемые элементы (в данном случае воланы) находятся на участке конструкции ниже уровня плечевого среза на 1,5 – 2 см и ниже точки Π_6 , не более чем на 1 см от неё.

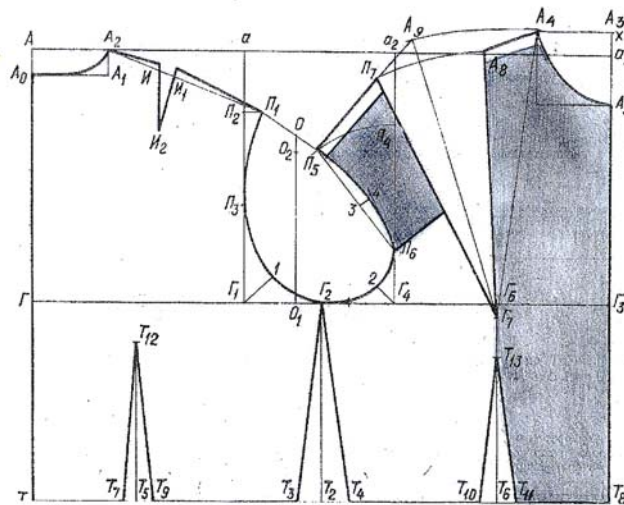


Рисунок 4 – Чертёж конструкции лифа с зонами оптимального расположения настрочных декоративных элементов на полочке

При настрачивании одного волана по-вертикали наибольшее отклонение конфигурации проймы происходит когда он настрачивается на уровне точек лежащих на участке от A_4 и до точки пересечения линии горловины с отрезком a_1a_2 (рисунок 4).

Что касается расположения вертикально направленных воланов, верхние точки которых находятся на плечевом срезе, то наблюдается такая зависимость: наибольшее отклонение размеров проймы от размеров основного лекала происходит когда воланы расположены от точки Π_7 и далее к точке Π_5 . Наименьшие отклонения размеров проймы от размеров основного лекала происходит когда воланы расположены от точки A_4 до точки A_8 (рисунок 4). Изменение формы проймы от основного лекала зависит от площади занимаемой воланам. Максимальные отклонения от размеров основного лекала происходят когда площадь занимаемая вертикально настроенными элементами превышает уровень середины плечевого среза (от точки Π_7).

Следовательно, можно сделать вывод, что минимальные отклонения размеров проймы от основного лекала происходят, когда вертикально настрачиваемые элементы (в данном случае воланы) находятся на участке конструкции $A_5 A_4 A_8 T_{11} T_8$. Эта зависимость наблюдается на рисунке 4.

При настрачивании одного волана под углом 45° к направлению нитей основы, верхние точки, на выбранных размерах, находятся выше точки Π_6 . Это объясняет изменения размера проймы относительно основного лекала, увеличение размера на участке $\Pi_5 \Pi_6$ и уменьшение размера на участке $\Pi_6 \Gamma_2$. Отклонения размеров от основного лекала наблюдаются от +0,6 до -0,6см. Наибольшие отклонения размеров проймы от размеров основного лекала возникают когда верхние точки воланов расположены от точки Π_6 до точек находящихся на линии плечевого среза, при этом чем ближе они расположены к точке Π_5 , тем более наблюдаются изменения размеров проймы.

Результаты визуально-геометрических измерений отклонений формы плечевого среза, экспериментальных образцов от основного лекала показали, что отклонения в основном незначительные от +0,5 до -0,4 см. Наибольшее отклонение (0,8 см) от основного лекала наблюдалось, когда вертикально настрачиваемые воланы располагались дальше уровня (к точке Π_5) грудной вытачки (рисунок 4). При настрачивании воланов под углом 45° к направ-

лению нитей основы наибольшее отклонение от основного лекала наблюдалось на образце 96-го размера в точке П₅, оно составило + 0,65см. Размерные отклонения на образцах 104-го и 112-го размеров находятся в пределах + 0,25 и -0,4. На величину отклонений оказало влияние расположение воланов, оно возрастает, когда верхние точки воланов расположены ближе к точке П₆, по линии проймы и ближе к точке П₅, на плечевом срезе.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что наименьшие изменения конфигурации проймы и плечевого среза происходят когда, горизонтально настрачиваемые элементы находятся на участке конструкции ниже уровня плечевого среза на 1,5 - 2см, и ниже точки П₆ не более чем на 1см от неё и вертикально настрачиваемые элементы находятся на участке конструкции А₅А₄А₈Т₁₁Т₈ (рисунок 4). В этих случаях из технологической последовательности обработки исключается осноровка.

Композиционных вариантов расположения настрочных декоративных элементов (воланов) на полочке достаточно много. В каждом случае может меняться их направление, месторасположение, количество на полочке и размер самих декоративных элементов. Данные факторы будут оказывать влияние на изменения размеров проймы и плечевого среза относительно основного лекала. Зависимость изменения размеров проймы и плечевого среза от размеров основного лекала при различном расположении, количестве настрачиваемых декоративных элементов, выполняемых из разного материала – это тема мало изученная. Поэтому в большинстве случаев предварительно выполняют проработку узлов и фиксируют отклонения от размеров основного лекала. Если отклонения превышают предельные допуски, то деталь выкраивают по шаблону (лекало с прибавками на искажение) на которую настрачивают воланы с последующей осноровкой. Во избежание введения в технологическую последовательность обработки этапа осноровки следует придерживаться вышеизложенных рекомендаций.

Отметим, что влияние конфигурации формы функционально-декоративных элементов на эффективность работы оборудования и технологическую однородность моделей рассмотрена нами в работе [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булычева, Е.Б. Конструктивное моделирование одежды / Е.Б.Булычева, М.Н. Евсеева: учебное пособие для студентов вузов. - 2-е изд. – М.: Издательский центр «Академия»: 2004 – 302 с.
2. Моськина, Е. Л. Влияние настрочных декоративных элементов на изменение конфигурации конструктивных срезов / Е. Л. Моськина, Е. В. Прокопова // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – 2008. – № 2. – С. 91-93.
3. Кокеткин, П.П. Одежда: технология – техника, процессы – качество. Справочник /П. П. Кокеткин: - М.: МГУДТ, 2001. – 560 с.
4. Шершнёва, Л. П. Проектирование и производство женского платья / Л.П. Шершнёва, А. П. Рогова. - М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. - 224 с.
5. Кваскова, Т.В. Влияние конфигурации формы функционально-декоративных элементов на технологическую однородность моделей и эффективность работы двухигольного оборудования /Т.В. Кваскова, Е.В. Прокопова //Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. - № 1 (297). - С. 98-102.

Прокопова Елена Владимировна

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры ТиКШИ
Тел. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: flptikshi@gmail.com

Моськина Елена Леонидовна

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры ТиКШИ
Тел. (4862) 55 – 11- 20
E-mail: flptikshi@gmail.com

Моськин Артем Александрович

Студент ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Тел. (4862) 77-97-20

E-mail: topich94@mail.ru

E. V. PROKOPOVA, E. L. MOSKINA, A. A. MOSKIN

THE INFLUENCE OF PROCESS OF STITCHING OF DECORATIVE ELEMENTS ON THE CHANGE IN CUTS CONFIGURATION IN HUMERAL PRODUCTS

Revealing of deviations of dimensional parametres of armhole and humeral cut of a fillet at stitching of decorative elements divergently and quantity from base cuts of a curve.

Keywords: *decorative elements, dimensional parametres of constructive cuts of a fillet, configuration of cuts.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bulycheva, E.B. Konstruktivnoe modelirovanie odezhdy / E.B.Bulycheva, M.N. Evseeva: uchebnoe posobie dlja studentov vuzov. - 2-e izd. – M.: Izdatel'skij centr «Akademija»: 2004 – 302 s.
2. Mos'kina, E. L. Vlijanie nastrochnyh dekorativnyh jelementov na izmenenie konfiguracii konstruktivnyh srezov / E. L. Mos'kina, E. V. Prokopova // Izvestija OreIGTU. Serija «Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii». – 2008. – № 2. – S. 91-93.
3. Koketkin, P.P. Odezhda: tehnologija – tehnika, processy – kachestvo. Spravochnik /P. P. Koketkin: - M.: MGUDT, 2001. – 560 s.
4. Shershnojova, L. P. Proektirovanie i proizvodstvo zhenskogo plat'ja / L.P. Shershnojova, A. P. Rogova. - M.: Ljogkaja i pishhevaja promyshlennost', 1983. - 224 s.
5. Kvaskova, T.V. Vlijanie konfiguracii formy funkcional'no-dekorativnyh jelementov na tehnologicheskuju odnorodnost' modelej i jeffektivnost' raboty dvuhgol'nogo oborudovanija /T.V. Kvaskova, E.V. Prokopova //Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2013. - № 1 (297). - S. 98-102.

Prokopova Elena Vladimirovna

FGBOU VPO "State University — UNPK". Eagle

Candidate of Technical Sciences, associate professor TIKShI

Ph. (4862) 55 - 11 - 20

E-mail: tikshi@ostu.ru

Moskina Elena Leonidovna

State University - ESPC

Cand. Sci. tech., associate professor of TIKShI

Tel. (4862) 55 – 11- 20

E-mail: flptikshi@gmail.com

Moskin Artyom Aleksandrovich

State University - ESPC

student

Tel. (4862) 77-97-20

E-mail: topich94@mail.ru

ИННОВАЦИИ И КАДРЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК338.36

Е.Ю. СТЕПАНОВА

НАУКОЕМКИЕ ОТРАСЛИ И ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ - ОСНОВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И НЕЗАВИСИМОСТИ СТРАНЫ

В статье автором рассмотрена роль высоких технологий в обеспечении технологической безопасности и независимости страны: терминология, понятия, критерии. Создание и развитие отечественного производства высокотехнологичной продукции, особенно в оборонно-промышленном комплексе – реальный путь преодоления этих проблем.

Ключевые слова: наукоемкие отрасли, высокие технологии, инновации, наукоемкая продукция, термины, критерии, сравнительный анализ.

В экономически развитых странах от 70 до 95% прироста ВВП приходится за счет новых знаний, воплощенных в технике и технологиях. Инновационный путь развития эти страны используют как эффективное средство реструктуризации производства, приоритетной поддержки конкурентоспособной продукции, формирования новых сегментов рынка высоких технологий, овладения механизмом их реализации, технологическим менеджментом. Этот же путь выбран и Россией [1, 2].

Пока что доля России на мировом рынке наукоемкой и высокотехнологичной продукции несколько десятилетий составляет порядка 0,3%. Если ситуация не изменится, то может произойти смена положения нашей страны с сырьевого придатка Европы на сырьевой придаток Китая и стран АТР.

Конечно, Правительством РФ принимаются меры по изменению этого положения. Одним из последних шагов в этом направлении было утверждение Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы» (Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 года № 301), ранее началась реализация Государственной программы вооружения на период 2011-2020 гг. на 23 трлн. руб., из которых 3 трлн. руб. – будут направлены на модернизацию производства.

В 2012 году объем внутренних затрат на научные исследования и разработки в РФ составил по предварительным оценкам 699,9 млрд. рублей, что составляет 1,12 % ВВП. Значения аналогичного показателя для Китая - 1,7 %; в среднем по странам ОЭСР - 2,33 %; для США - 2,79 %; Японии - 3,33 % [3]. Согласно известной Стратегии 2020 этот показатель должен подняться до уровня 3 %.

Последние годы появилось много работ, посвященных инновациям, высокотехнологичным и наукоемким отраслям, продуктам и отраслям. Хотя эти понятия появились давно и стали употребляться более трех десятков лет назад, а термин «инновация» было введено Й. Шумпетером еще в тридцатые годы прошлого века, особо модными они стали в последние десятилетия. Их использует власть, бизнес, ученые, журналисты, защищаются сотни, если не тысячи диссертаций.

Можно встретить такие выражения как «высокие наукоемкие технологи» [4]; «тонкие наукоемкие технологии» [5].

Есть мнение [6], что «...модернизация возможно только на базе новых наукоемких технологий. Причем не высоких, не низких, не критических, не только нанотехнологий, а именно наукоемких технологий по всем технологическим переделам изготовления машин, базирующихся на последних достижениях науки и техники».

Вместе с тем до 2012 года в структуре Правительства РФ находился Департамент науки, высоких технологий и образования, одной из функций которого было осуществление организационно-технического обеспечения деятельности правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям. В 2012 году эта комиссия была упразднена в связи образованием Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России (Указ Президента РФ от 18 июня 2012 г. № 878). В ряде вузов есть специальность «Менеджмент высоких технологий», созданы факультеты высоких технологий (ЮФУ), инженерно-физические факультеты высоких технологий (УлГУ), факультеты инноваций и высоких технологий (МФТИ), институты высоких технологий (ВГТУ), техникумы высоких технологий в машиностроении (Омский техникум ВТМ) ит.п.

В то же время есть программа магистерской подготовки «Научоемкие технологии и экономика инноваций», журналы «Научоемкие технологии в машиностроении» (Издательство «Машиностроение», «Современные научоемкие технологии» (РАЕ), «Научоемкие технологии» (Издательство «Радиотехника») и др.

Некоторые распространенные определения научоемких отраслей и высоких технологий представлены в таблице 1 и 2, а инноваций и научоемкой продукции – в таблицах 3 и 4.

Таблица 1 – Определение научоемких отраслей

Определение	Источник
<p>Научоемкие отрасли - отрасли, характеризующиеся передовым в научно-техническом плане производственным аппаратом; высококвалифицированным кадровым потенциалом исследователей и работников; относительно высокими затратами на научные исследования.</p> <p><i>Продукция таких отраслей создается на основе последних достижений науки и техники, обладает высокой конкурентоспособностью</i></p>	<p>1. Экономический словарь. - http://abc.informbureau.com/html/iaoeiaieea_iodanee.html</p>
<p>Научоемкие отрасли - отрасли экономики, выпускающие продукцию, выполняющие работы и услуги с использованием последних достижений науки и техники.</p> <p><i>Деятельность таких отраслей включает проведение обеспечивающих ее научных исследований и разработок, что приводит к дополнительным затратам средств и к необходимости привлечения к работам научного персонала.</i></p>	<p>2. Райзберг, Б.А. Современный экономический словарь /Б.А. Райзберг, Л.Ш. Лозовский, Е.Б. Стародубцева. - М.: ИНФРА-М, 1999. - 479 с.</p> <p>3. Кураков, Л.П., Кураков В. Экономика и право: словарь-справочник /Л.П. Кураков, В.Л. Кураков, А.Л. Кураков.- 2004. - 1072 с.</p>
<p>4. Экономика инновационной деятельности научоемких предприятий: Учебник / А.А. Колобов, В.В. Кочетов, И.Н. Омельченко и др.; под ред. А.А. Колобова, И.Н. Омельченко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 384 с. (С. 362)</p>	
<p>Научоемкие отрасли - современные отрасли, выпускающие продукцию на базе последних достижений науки и техники, где доля расходов на научные исследования по совершенствованию технологии и продукции - не менее 4-5% всех расходов, а численность научного персонала - не менее 3-4% всей численности работников</p>	<p>5. Булатов А. Учебник "Экономика": глоссарий. - http://business.polbu.ru/bulatov_economy/ch167_xix.html</p>
<p>Научоемкие отрасли – наиболее современные отрасли экономики, создающие и выпускающие высокоинтеллектуальную продукцию, выполняющие работы и услуги с использованием последних достижений науки и техники.</p> <p><i>Деятельность этих отраслей основывается на крупных затратах на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР), на значительном кадровом потенциале учёных и исследователей</i></p>	<p>6. Портал МУРЗИМ – База Знаний /http://murzim.ru/nauka/jekonomika/21955-naucoeimkie-otrasli.html</p>

Таблица 2 – Определение высоких технологий

<p>Высокие технологии - система знаний, производственных и иных операций, методов и процессов, соответствующая или превосходящая по своим качественным показателям мировые аналоги и позволяющая достигать показателей производительности труда высшего мирового уровня...</p>	<p>Решение N 475 Межгосударственного Совета Евразийского экономического сообщества "О Концепции создания Евразийской инновационной системы" (Принято в г. Санкт-Петербурге 11.12.2009). - Официальная терминология. Академик.ру. 2012</p>
<p>Высокие технологии - совокупность информации, знаний, опыта, материальных средств при разработке, создании и производстве новой продукции и процессов в любой отрасли экономики, имеющих характеристики высшего мирового уровня</p>	<p>Экономика инновационной деятельности наукоемких предприятий: Учебник / А.А. Колобов, В.В. Кочетов, И.Н. Омельченко и др.; под ред. А.А. Колобова, И.Н. Омельченко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. -384 с. (С.362)</p>
<p>Высокие технологии - современный сленг, обозначающий процессы с использованием передовой технологии. <i>Высокая технология ассоциируется главным образом с узким кругом отраслей, включая аэрокосмическую, химическую и фармацевтическую промышленность, атомную энергетику, производство электронно-вычислительной техники и телекоммуникации</i></p>	<p>Словарь бизнес-терминов. Академик.ру. 2001</p>
<p>Высокие технологии – это наиболее новые и прогрессивные технологии современности, которые являются важнейшим звеном научно-технической революции (НТР) на современном этапе. <i>К высоким технологиям обычно относят самые наукоёмкие отрасли промышленности: микроэлектроника, вычислительная техника, робототехника, атомная энергетика, самолётостроение, космическая техника, микробиологическая промышленность</i></p>	<p>Философия науки и техники: тематический словарь. — Орёл: ОГУ. С. И. Некрасов, Н. А. Некрасова. 2010</p>
<p>Высокие технологии (high technology, high tech, hi-tech) - наиболее новые и прогрессивные технологии современности. <i>К высоким технологиям обычно относят самые наукоёмкие отрасли промышленности. Возможно также отнесение технологий к разряду "высоких" в зависимости от меры неучастия в них человека, - чем меньше участие человека в технологическом процессе, тем выше технология. К высоким технологиям относятся не только промышленные технологии, но также социальные технологии, например, системы распространения новостей, технологии коллективной работы и обучения. В связи с этим, можно говорить о высоких социальных технологиях</i></p>	<p>http://ru.wikipedia.org/</p>
<p>Высокие технологии - технологии, развивающиеся в ходе научно-технической революции. <i>К ним обычно относят: информатику, программное обеспечение, искусственный интеллект, робототехнику, телекоммуникации, биотехнологию. Высокие технологии характеризуются высокой культурой и точностью производства, большой наукоёмкостью и универсальным характером их применения</i></p>	<p>Терминологический словарь библиотекаря по социально-экономической тематике. – СПб.: Российская национальная библиотека, 2011</p>

Таблица 3 - Определение инноваций

Инновация есть введение в употребление какого-либо нового или значительно улучшенного продукта (товара или услуги) или процесса, нового метода маркетинга или нового организационного метода в деловой практике, организации рабочих мест или внешних связях	Руководство Осло. Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям. 3 –е издание. - http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/
Инновации - введенный в употребление новый или значительно улучшенный продукт (товар, услуга) или процесс, новый метод продаж или новый организационный метод в деловой практике, организации рабочих мест или во внешних связях	Федеральный закон от 23 августа 1996 г. N 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике" (глава 1, статья 2 «Основные понятия...» (в ред. Федерального закона от 21.07.2011 N 254-ФЗ)

Таблица 4 – Определение наукоемкой продукции

Наукоемкая продукция - это продукция, в стоимости которой затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР) занимают не менее 10%	Экономический словарь http://abc.informbureau.com/html/iaoeiaieea_iodanee.html
Наукоемкая продукция – продукция, в составе затрат на производство которой доля затрат на НИОКР, включая расходы на приобретение и (или) создание продуктов интеллектуальной деятельности (исключительных прав на них), составляет более 3,5 %	Методические рекомендации по подготовке документов о присвоении муниципальному образованию статуса наукограда Российской Федерации» (утв. Минобрнауки России 31.07.2006) - http://base.consultant.ru

Глубокий анализ роли в современной экономике наукоемких отраслей, формирования рынков высокотехнологичной продукции, проблем классификации высоких технологий, терминов и определений дан в работах [6-10]. Рассматривая эти работы и определения в вышеприведенных примерах (таблицы 1-4) можно сделать вывод, что устоявшихся, стандартизованных, единых определений нет. Нередко они носят противоречивый характер, неоднозначный, например, «к высоким технологиям ... относят ... наукоёмкие отрасли ...» (таблица 2). По мнению А.Е. Варшавского [7], до настоящего времени еще не разработана единая методология, которая позволяла бы соответствующим образом идентифицировать технологии, отрасли и производства. Подобного же мнения, которые приводятся в этих работах, придерживаются и специалисты ОЭСР.

В целом разделение отраслей, производств, продукции к числу наукоемких или высокотехнологичных достаточно условно и определяется по соотношению затрат на НИОКР и объема выпускаемой продукции, уровень которой превышает некоторый средний, например, по отрасли. Точность подсчета этих затрат также вызывает сомнение. Общепринятой мировой методологии, определяющей это соотношение, нет, что приводит к существенному различию этих соотношений в разных странах.

Так ОЭСР [11] относит к наукоемким отраслям те, для которых показатель наукоемкости превышает 3,5%. Если он находится в диапазоне 3,5-8,5%, то производство соответствующих продуктов относят к группе технологий высокого уровня; если превышает 8,5% - к «ведущим

технологиям». К высокотехнологичным относят авиакосмическую, электронную, фармацевтическую промышленность и производство коммуникационного оборудования, которые характеризуются наибольшим значением наукоемкости. В США и ООН за критерий отнесения к наукоемким производствам был принят объем затрат на НИОКР в процентах от добавленной стоимости (условно чистой продукции). Для обрабатывающей промышленности США средний уровень затрат на НИОКР равен 2,36% от добавленной стоимости. Если в некоторой отрасли этот показатель превышает его, то такую отрасль относят к наукоемкой. Если средний уровень затрат на НИОКР превышает не менее, чем вдвое, то та отрасль относится к высокотехнологичной. В США к таким отраслям относят производство ЭВМ, средств связи, научных приборов, медицинских препаратов, авиационно-космической техники, пластмасс и продуктов неорганической химии, включая химикаты для сельского хозяйства и др.

Согласно словарям Ожегова в Интернете и Грамота.ру, *«наукоемкий»* - требующий глубокого и сложного научного обоснования, *«высокотехнологичный»* - связанный с использованием сложных технологий.

Для большей ясности в данном вопросе ряд российских министерств издали нормативные документы для практического использования при закупках. Приведем для примера приказы пяти министерств (Минпромторга, Минобрнауки, Минздрава, МЧС, Минкомсвязи), которые находятся в открытом доступе в системах «Гарант» и «Консультант плюс» и «Российской газете», в которых приводятся Критерии отнесения к инновационной и высокотехнологичной продукции (таблица 5).

Критерии Минздрава России полностью идентичны критериям Минобрнауки России.

Согласно приказам Минобрнауки, Минздрава и Минпромторга *к высокотехнологичной продукции относят товары, работы и услуги, удовлетворяющие всем критериям:*

- товар, работа, услуга соответственно изготавливается, выполняется и оказывается предприятиями наукоемких отраслей;
- товар, работа и услуга соответственно производится, выполняется и оказывается с использованием новейших образцов технологического оборудования, технологических процессов и технологий;
- товар, работа и услуга соответственно производится, выполняется и оказывается с участием высококвалифицированного, специально подготовленного персонала.

Согласно Приказу МЧС России *к высокотехнологичной относят продукцию, если выполняется хотя бы один из указанных выше критериев.*

В приказах Минобрнауки, Минздрава и МЧС приведен еще такой критерий как соответствие Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в РФ и Перечню критических технологий РФ (утв. Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899). В приказе Минпромторга такой критерий отсутствует.

В приказе Минкомсвязи России Критерии отнесения к высокотехнологичной и для инновационной продукции одни и те же (не различаются).

В приказе Минпромторга России инновационной продукцией признается товар, работа и услуга при соответствии одному или нескольким критериям:

В соответствии с приказами Минобрнауки и Минздрава **к инновационной продукции** относятся товары, работы и услуги, удовлетворяющие *совокупности* критериев:

- 1.1. Научно-техническая новизна;
- 1.2. Внедрение, товаров, работ, услуг;
- 1.3. Экономический эффект от реализации;
- 1.4. Наукоемкость.

Таблица 1 – Сравнение критериев отнесения товаров, работ, услуг к высокотехнологичной продукции

Министерство	Минпромторг	Минобрнауки	Минздрав	МЧС	Минкомсвязи
1	2	3	4	5	6
Приказ: дата, №, наименование	От 1 ноября 2012 г. № 1618 "Об утверждении критериев отнесения товаров, работ и услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции по отраслям, относящимся к установленной сфере деятельности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации"	От 1 ноября 2012 г. № 881 "Об утверждении критериев отнесения товаров, работ, услуг к инновационной и высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупок такой продукции"	От 31 июля 2013 г. № 514н «Об утверждении критериев отнесения товаров, работ, услуг к инновационной и высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупок такой продукции»	От 14 декабря 2012 г. № 768 «Об утверждении критериев отнесения товаров, работ, услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупок такой продукции»	От 10 октября 2013 г. № 286 «Об утверждении критериев отнесения товаров, работ, услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупок такой продукции»
Критерии отнесения товаров, работ, услуг к высокотехнологичной продукции. Примечание: нумерация пунктов такая же, как в текстах приказов	11. Товар, работа, услуга соответствует, но изготавливается, выполняется и оказывается предприятиями наукоемких отраслей. Примечание: Товар, работа, услуга соответствует, но изготавливается, выполняется и оказываются предприятиями наукоемких отраслей экономики	2.2. Высокотехнологичность товаров, работ, услуг: - товар, работа, услуга соответственно изготавливаются, выполняются и оказываются предприятиями наукоемких отраслей экономики	2.2. Высокотехнологичность товаров, работ, услуг: - товар, работа, услуга соответственно изготавливаются, выполняются и оказываются предприятиями наукоемких отраслей экономики	6. Высокотехнологичность товаров, работ, услуг: - товар, работа, услуга изготавливаются, выполняются и оказываются предприятиями наукоемких отраслей;	К инновационной и (или) высокотехнологичной продукции относятся товары, работы и услуги удовлетворяющие следующим критериям: - 1. Научно-техническая новизна. 1.1. Данный критерий в отношении товаров характеризуется следующими признаками: - характеристики товаров (по функциональному назначению, конструктивному выполнению, составу применяемых материалов и компонентов, области использования) являются принципиально новыми или существенно отличаются от характеристик ранее произведенного аналогичного товара;

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Критерии отнесения товаров, работ, услуг к высокотехнологичной продукции.	12. Товар, работа, услуга соответствуют, выполняются и оказываются с использованием новейших образцов технологического оборудования, технологических процессов и технологий.	- товар, работа, услуга производятся, выполняются с использованием новейших образцов технологического оборудования, технологических процессов и технологий;	- товар, работа, услуга производятся, выполняются с использованием новейших образцов технологического оборудования, технологических процессов и технологий;	- товар, работа, услуга производятся, выполняются с использованием новейших образцов технологического оборудования, технологических процессов и технологий;	- потребительские свойства товара являются улучшенными по сравнению с имеющимися аналогами или, в отсутствие прямых аналогов, имеются качественно новые потребительские (функциональные) характеристики, в т.ч. повышающие конкурентоспособность товара, или выявлен новый способ применения товара, позволяющий расширить область использования такого товара;
Примечание: нумерация пунктов такая же, как в текстах приказов	13. Товар, работа, услуга соответствуют, выполняются и оказываются с участием высококвалифицированного, специально подготовленного персонала.	- товар, работа, услуга производятся, выполняются с участием высококвалифицированного, специально подготовленного персонала.	- товар, работа, услуга производятся, выполняются с участием высококвалифицированного, специально подготовленного персонала.	- товар, работа, услуга производятся, выполняются с участием высококвалифицированного, специально подготовленного персонала.	- товар, выпуск которого основан только на применении нового или модернизированного технологического оборудования, технологических процессов или технологий, ранее не применяемых при производстве данного товара, или новых материалов, позволяющих значительно улучшить технико-экономические, конкурентоспособные эргономические, потребительские и иные показатели производимого товара.
	Примечание: Высокотехнологичной признается товар, работа и услуга при соответствии <i>всем критериям</i> , указанным в п.11-13.	2.1.Соответствие приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники (ПНРНТ) в РФ: т.е. при производстве товаров, выполнении работ, оказании услуг используются результаты НИОКР, соответствующих ПНРНТ РФ и перечню критических технологий РФ.	2.1.Соответствие приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники (ПНРНТ) в РФ: т.е. при производстве товаров, выполнении работ, оказании услуг используются результаты НИОКР, соответствующих ПНРНТ РФ и перечню критических технологий РФ.	Примечание: к высокотехнологичной продукции относятся товары, работы, услуги, соответствующие одному или нескольким признакам , указанным в п. 6.	1.2.Данный критерий в отношении работ и услуг характеризуется следующими признаками: - выполнение работ, оказание услуг связаны с существенными изменениями в производственном процессе, использованием нового или модернизированного производственного оборудования и (или) программного обеспечения, новых технологий; - работы, услуги являются принципиально новыми, ранее не выполнявшимися, оказывавшимися; - работы, услуги выполняются, оказываются в области, в которой ранее аналогичные работы и услуги не применялись...

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
<p>Критерии отнесения товаров, работ, услуг к высокотехнологичной продукции.</p> <p>Примечание:</p>	<p>2. К высокотехнологичной продукции относятся товары, работы и услуги, удовлетворяющие совокупности критериев:</p>	<p>2. К высокотехнологичной продукции относятся товары, работы и услуги, удовлетворяющие совокупности критериев:</p>	<p>2. Экономический эффект реализации товаров, работ, услуг. Данный критерий характеризуется эффективностью освоения инновации, величиной спроса, рентабельностью, а также планируемыми положительным экономическим эффектом реализации товаров, работ, услуг, обеспечивающим экономии временных и (или) материальных затрат или создающим условия для такой экономии.</p>	<p>3. Наличие защиты патентных прав (если применимо). Данный критерий применяется в случае использования при производстве товаров, выполнении работ, оказании услуг изобретений, полезных моделей, промышленных образцов и характеризуется наличием соответствующих патентов на вышеуказанные результаты интеллектуальной деятельности.</p>	<p>2. Экономический эффект реализации товаров, работ, услуг. Данный критерий характеризуется эффективностью освоения инновации, величиной спроса, рентабельностью, а также планируемыми положительным экономическим эффектом реализации товаров, работ, услуг, обеспечивающим экономии временных и (или) материальных затрат или создающим условия для такой экономии.</p>
<p>Примечание:</p> <p>нумерация пунктов такая же, как в текстах приказов</p>	<p>Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 « Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации». Приоритетные направления: 1.Безопасность и противодействие терроризму. 2.Индустрия наносистем.3.Информационно-телекоммуникационные системы. 4.Науки о жизни. 5.Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники. 6.Рациональное природопользование. 7.Транспортные и космические системы. 8.Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика. Перечень критических технологий (Т) РФ: 1.Базовые и критические военные и промышленные Т для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники. 2.Базовые Т силовой электротехники. 3.Биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные Т. 4.Биомедицинские и ветеринарные Т. 5.Геномные, протеомные и постгеномные Т. 6.Клеточные Т. 7.Компьютерное моделирование наноматериалов, наноустройств и нанотехнологий. 8.Нано-, био-, информационные, когнитивные Т. 9. Т атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. 10.Т биоинженерии. 11.Т диагностики наноматериалов и наноустройств. 12.Т доступа к широкополосным мультимедийным услугам. 13.Т информационных, управляющих, навигационных систем. 14.Т наноустройств и микросистемной техники. 15.Т новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику. 16.Т получения и обработки конструкционных наноматериалов. 17.Т получения и обработки функциональных наноматериалов. 18.Т и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем. 19.Т мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. 20.Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи. 21.Т предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. 22.Т снижения потерь от социально значимых заболеваний. 23.Т создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта. 24.Т создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения. 25. Т создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств. 26.Т создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии. 27.Т энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе.</p>				

Научно-техническая новизна товаров:

характеристики товаров (по функциональному назначению, конструктивному выполнению, составу применяемых материалов и компонентов, области использования), которые являются принципиально новыми или существенно отличаются от характеристик ранее произведенного аналогичного товара;

потребительские свойства товара являются улучшенными по сравнению с имеющимися аналогами или, в отсутствие прямых аналогов, имеются качественно новые потребительские (функциональные) характеристики, в том числе повышающие конкурентоспособность товара, или выявлен новый способ применения товара, позволяющий расширить область использования такого товара;

товар, выпуск которого основан только на применении нового или модернизированного технологического оборудования, технологических процессов или технологий, ранее не применяемых при производстве данного товара, или новых материалов, позволяющих значительно улучшить технико-экономические, конкурентоспособные, эргономические, потребительские и иные показатели производимого товара.

Научно-техническая новизна работ и услуг:

выполнение работ, оказание услуг связаны с существенными изменениями в производственном процессе, использованием нового или модернизированного производственного оборудования и (или) программного обеспечения, новых технологий;

работы, услуги являются принципиально новыми, ранее не выполнявшимися, оказываемыми;

работы, услуги выполняются, оказываются в области, в которой ранее аналогичные работы, услуги не применялись.

Внедрение товаров, работ, услуг:

товар, работа, услуга носят прикладной характер, имеют практическое применение;

товар, работа, услуга внедрены в одной или нескольких отраслях промышленности.

Экономический эффект реализации товаров, работ, услуг характеризуется планируемым положительным экономическим эффектом реализации товаров, работ, услуг (в сравнении с существующими аналогами) на стадиях жизненного цикла продукции.

Научоемкость товаров, работ, услуг характеризуется использованием при производстве товара, выполнении работ, оказании услуг высококвалифицированного интеллектуального труда, результатов интеллектуальной деятельности, подлежащих правовой охране и (или) новых (в течение последних трех лет) научно-технических, конструктивных или (и) технологических решений.

Согласно приказа МЧС к инновационной продукции относятся товары, работы, услуги, соответствующие одному или нескольким признакам по каждому из нижеприведенных критериев:

1. Соответствие приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в РФ и перечню критических технологий;
2. Научно-техническая новизна;
3. Внедрение товаров, работ, услуг;
4. Экономический эффект реализации товаров, работ, услуг;
5. Научоемкость товаров, работ, услуг

Расшифровка пп. 2-5 соответствуют признакам 1.1-1.4 Минобрнауки.

К инновационной и высокотехнологичной продукции «по МЧС» относят товары, работы, услуги, соответствующие одновременно одному или нескольким признакам по каждому из критериев отнесения к инновационной продукции, и одному или нескольким признакам отнесения к высокотехнологичной продукции.

Инновационной продукцией « по Минпромторгу» могут признаваться товары, работы и услуги в случае соответствия их одному или нескольким из 10 критериев. Коротко можно сказать, что продукция считается инновационной, если при ее производстве используются впервые внедренные результаты НИОКР, технологических работ, результаты ИД на новом или модернизированном оборудовании.

Для своего ведомства Минпромторг России утвердил Перечень высокотехнологичной продукции с учетом приоритетных направлений модернизации российской экономики (Приказ от 03.10.2013 N 1597 - http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_155503). В Перечне приводятся товарные коды Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Таможенного союза (ТН ВЭД ТС), что упрощает процедуру отнесения товаров к высокотехнологичной продукции.

Выводы. Не смотря на многочисленные определения и уточнения понятий инноваций, инновационной, наукоемкой и высокотехнологичной отрасли, технологии и продукции, окончательного и однозначного их определения до сих пор нет. Неоднозначная трактовка указанных понятий и критериев приводит к существенной неопределенности статистических данных по отраслям и ведомствам и ошибкам в принятии управленческих решений.

Но, не смотря на эти проблемы, важно понимать, что развитие высокотехнологичного сектора экономики – неотложная государственная задача, без решения которой невозможно обеспечение технологической безопасности и независимости страны, в том числе развитие как традиционных ненаукоемких отраслей, так и оборонно-промышленного комплекса как локомотива развития экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанова, Е.Ю. Инновационная деятельность и интеллектуальная собственность: проблемы и решения /Е.Ю. Степанова. – В кн. «Повышение эффективности и использования объектов интеллектуальной собственности в управлении инновационно-инвестиционными процессами / Под общ. ред. В.А. Голенкова, Ю.С. Степанова. – М.: Машиностроение_1, Орел: ОрелГТУ, 2005. – С. 86-94.
2. Поландова, Л.И. Высокие технологии в инновационной экономике // Е.Ю. Степанова, Л.И. Поландова / Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – 2007. - № 3/267(533). – С. 156–167.
3. http://xn--80abucjiibhv9a.xn--p1ai/%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/4125/%D1%84%D0%B0%D0%B9%D0%BB/3084/Dopolnitel%27nye_materialy.pdf.
4. Назаров Ю.Ф., Соловьева М.В., Сорокина И.В. Оценка эффективности при внедрении высоких наукоемких технологий //Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. - №3 (92). – С. 3-6.
5. <http://tntpress.ru>.
6. http://www.mashin.ru/files/el.versiya/naukomkie_tehnologii_v_mashinostroenii/2011/не7.pdf.
7. Варшавский А.Е. Наукоемкие отрасли и высокие технологии: определение, показатели, техническая политика, удельный вес в структуре экономики России //Экономическая наука современной России. – 2000. - № 2. – С. 61 – 83.
8. Бендиков, М.А., Фролов И.Э. Рынки высокотехнологичной продукции: тенденции и перспективы развития / М.А. Бендиков, И.Э. Фролов //Маркетинг в России и за рубежом. – 2001. - № 2. - <http://www.cfin.ru/press/marketing/2001-2/02.shtml>.
9. Авдулов, А.Н. Наукоемкие технологии и их роль в современной экономике /А.Н. Авдулов, А.Н. Кулькин //Вестник РФФИ. – 2002. - № 3. - http://w3.rfbr.ru/default.asp?doc_id=5767.
10. Жукова Е.А. Проблема классификации высоких технологий //Вестник ТГПУ. – 2008. –Вып. №7 (75). – С. 34-45.
11. Наукоемкие и высокотехнологичные отрасли. - Центр инновационной экономики ИЭ РАН. - <http://cines.ru>.

Степанова Елена Юрьевна

Государственный университет – УНПК, г. Орел
Кандидат экономических наук, доцент
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40
Тел.: 8(4862) 42-11-
E-mail: eco-nauka@ya.ru

E.Yu. STEPANOVA

THE HIGH TECHNOLOGY BRANCHES AND HIGH TECHNOLOGIES ARE THE BASIS OF TECHNOLOGICAL SECURITY AND INDEPENDENCE OF THE COUNTRY

In article the author considers the role of technology in providing high technology security independence: terminology, concepts and criteria. Creation and development of domestic production of high-tech products, especially in the military-industrial complex is the real way to overcome these problems.

Keywords: *knowledge-intensive industries, high technologies, innovations, high technology products, terms, criteria, comparative analysis*

BIBLIOGRAPHY

1. Stepanova, E.Ju. Innovacionnaja dejatel'nost' i intellektual'naja sobstvennost': problemy i reshenija /E.Ju. Stepanova. – V kn. «Povyshenie jeffektivnosti i ispol'zovanija ob#ektov intellektual'noj sobstvennosti v upravlenii innovacionno-investicionnymi processami / Pod obshh. red. V.A. Golenkova, Ju.S. Stepanova. – M.: Mashinostroenie_1, Orel: OrelGTU, 2005. – S. 86-94.
2. Polandova, L.I. Vysokie tehnologii v innovacionnoj jekonomike // E.Ju. Stepanova, L.I. Polandova / Izvestija OrelGTU. Serija «Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii». – 2007. - № 3/267(533). – S. 156–167.
3. http://xn--80abucjiibhv9a.xn--p1ai/%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/4125/%D1%84%D0%B0%D0%B9%D0%BB/3084/Dopolnitel%27nye_materialy.pdf.
4. Nazarov Ju.F., Solov'eva M.V., Sorokina I.V. Ocenka jeffektivnosti pri vnedrenii vysokih naukoem-kih tehnologij //Sborka v mashinostroenii, priborostroenii. – 2008. - №3 (92). – S. 3-6.
5. <http://tntpress.ru>.
6. http://www.mashin.ru/files/el.versiya/naukomkie_tehnologii_v_mashinostroenii/2011/ne7.pdf.
7. Varshavskij A.E. Naukoemkie otrasli i vysokie tehnologii: opredelenie, pokazateli, tehniceskaja politika, udel'nyj ves v strukture jekonomiki Rossii //Jekonomicheskaja nauka sovremennoj Rossii. – 2000. - № 2. – S. 61 – 83.
8. Bendikov, M.A., Frolov I.Je. Rynki vysokotehnologichnoj produkcii: tendencii i perspektivy razvi-tija / M.A. Bendikov, I.Je. Frolov //Marketing v Rossii i za rubezhom. – 2001. - № 2. - <http://www.cfin.ru/press/marketing/2001-2/02.shtml>.
9. Avdulov, A.N. Naukoemkie tehnologii i ih rol' v sovremennoj jekonomike /A.N. Avdulov, A.N. Kul'kin //Vestnik RFFI. – 2002. - № 3. - http://w3.rfbr.ru/default.asp?doc_id=5767.
10. Zhukova E.A. Problema klassifikacii vysokih tehnologij //Vestnik TGPU. – 2008. –Vyp. №7 (75). – S. 34-45.
11. Naukoemkie i vysokotehnologichnye otrasli. - Centr innovacionnoj jekonomiki IJe RAN. - <http://cinec.ru>.

Stepanova Elena Yurievna

State University – ESPC

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

302020, Orel, Naugorskoe chose, 29, Orel

E-mail: eco-nauka@ya.ru

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.396

Д.А. ГУЛЯЙКИН, В.А. ТАРУСОВ, Е.А. ВАСЕЧКИН

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРО- МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕК- ТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Предложена структура антенного коммутатора с дистанционным управлением, учитывающая необходимость снижения перекрестных помех с линий управления на измерительные цепи с обеспечением высокого коэффициента развязки между входами.

Ключевые слова: антенный коммутатор; дистанционное управление; автоматизация; электромагнитная совместимость.

Проведение измерений напряженности электромагнитного поля при обеспечении электромагнитной совместимости предусматривает выполнение большого количества рутинных операций по подключению/переключению первичных преобразователей (антенн, датчиков и т. п. – далее: антенны) к входу одного и того же измерителя. Трудоемкость работ возрастает при расширении полос частот, в которых требуется проводить измерения из-за увеличения количества антенн. Особенно много времени уходит на переключение антенн при проведении работ на измерительных площадках, когда оператор после каждого переключения должен покидать зону измерений. Кроме того, постоянные переключения кабелей приводят к преждевременному износу соединителей, в том числе на дорогостоящих измерителях.

Очевидно, что для повышения эффективности работ, целесообразно использовать коммутаторы антенн, которые в автоматизированном или автоматическом режиме будут подключать требуемую антенну ко входу измерителя. Использование таких коммутаторов позволит не только существенно повысить оперативность проведения измерений, но значительно снизит износ соединителей.

Рассмотрим основные требования к конструкции коммутатора антенн с учетом его использования для измерений в области электромагнитной совместимости. Для этого сравним функциональные схемы проведения измерений традиционным способом и с использованием коммутатора. Схемы приведены на рисунках 1 и 2 соответственно.



Рисунок 1 – Схема измерений без коммутатора

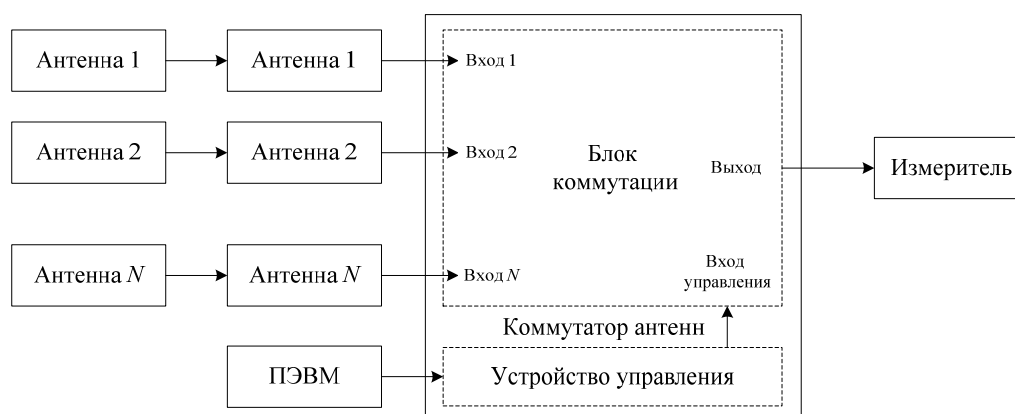


Рисунок 2 – Схема измерений с коммутатором антенн

Основные требования к коммутатору:

- минимально возможное затухание (коэффициент калибровки) между любым из входов и выходом коммутатора, при подключении данного входа к выходу;
- максимально возможное затухание (коэффициент развязки) между выходом и любым из неподключенных входов;
- минимально возможный уровень наводок по цепям управления.

Учитывая область применения коммутатора, можно определить пороговые значения для данных требований:

- коэффициент калибровки не более 3 дБ;
- коэффициент развязки не менее 60 дБ;
- ослабление помех по линиям управления не менее чем на 70 дБ.

Для обеспечения выполнения таких требований, коммутатор должен обладать следующими конструктивными особенностями:

- коммутатор должен состоять из двух физически разнесенных блоков – устройства управления УУ и блока коммутации БК;
- оба блока и все соединительные линии должны быть экранированными;
- коммутация, выполненная в БК, должна сохраняться после снятия сигналов управления;
- БК не должен содержать активных элементов и питание на него должно подаваться только на время выполнения коммутации;
- соединительные линии входа управления БК при проведении измерений в УУ должны быть заземлены (желательно через контакты механических, а не оптоэлектронных реле);
- все линии входа управления БК должны иметь фильтры нижних частот;
- отключенные входы антенн должны быть подключены на согласованные нагрузки, при необходимости – с дополнительной развязкой от тракта коммутации.

Одним из подходов к решению тестовых задач является: на первом этапе – разработка антенного коммутатора, позволяющего переключать набор первичных преобразователей на входе измерительного оборудования; на втором этапе – создание автоматизированных комплексов с дистанционно управляемыми коммутаторами антенн. В данной статье рассмотрен подход к разработке антенного коммутатора с дистанционным управлением от ПЭВМ по интерфейсу *RS-232*. Использование интерфейса *RS-232* не накладывает ограничений на наличие *COM* порта у ПЭВМ, поскольку применение переходного устройства *USB-COM* позволяет задействовать распространенный последовательный интерфейс *USB*.

Общую задачу разработки устройства можно декомпозировать на ряд подзадач, определяющих структурные элементы антенного коммутатора:

- устройство управления (УУ);
- программное обеспечение устройства управления;
- блок коммутации (БК).

Данный подход с учетом реализации УУ и БК в виде отдельных изделий позволяет унифицировать блок управления и использовать его при решении других задач автоматизации при сопряжении с ПЭВМ.

Устройство управления предназначено для преобразования команд, поступающих от ПЭВМ в сигналы управления блоком коммутации. Программное обеспечение УУ осуществляет формирование управляющих воздействий на элементы УУ в соответствии с предопределенной программой в рамках выполнения коммутации заданного входа.

Предлагаемая принципиальная схема устройства управления представлена на рисунке 3. Снижение перекрестных помех с линий управления на линии подключения первичных преобразователей достигается за счет использования в БК поляризованных реле, типа РПВ5/4, позволяющих произвести разделение процесса выполнения коммутации и проведения измерений по времени [1,2].

Основой УУ антенным коммутатором является последовательный регистр сдвига с выходной блокировкой. В предлагаемой схемотехнической реализации используется микросхема 74НС595. Для управления этой микросхемой достаточно трех сигнальных линий. При этом задействуются выходы 9-контактного разъема интерфейса RS-232: RTS, DTR и TxD [3], указанные в таблице 1.

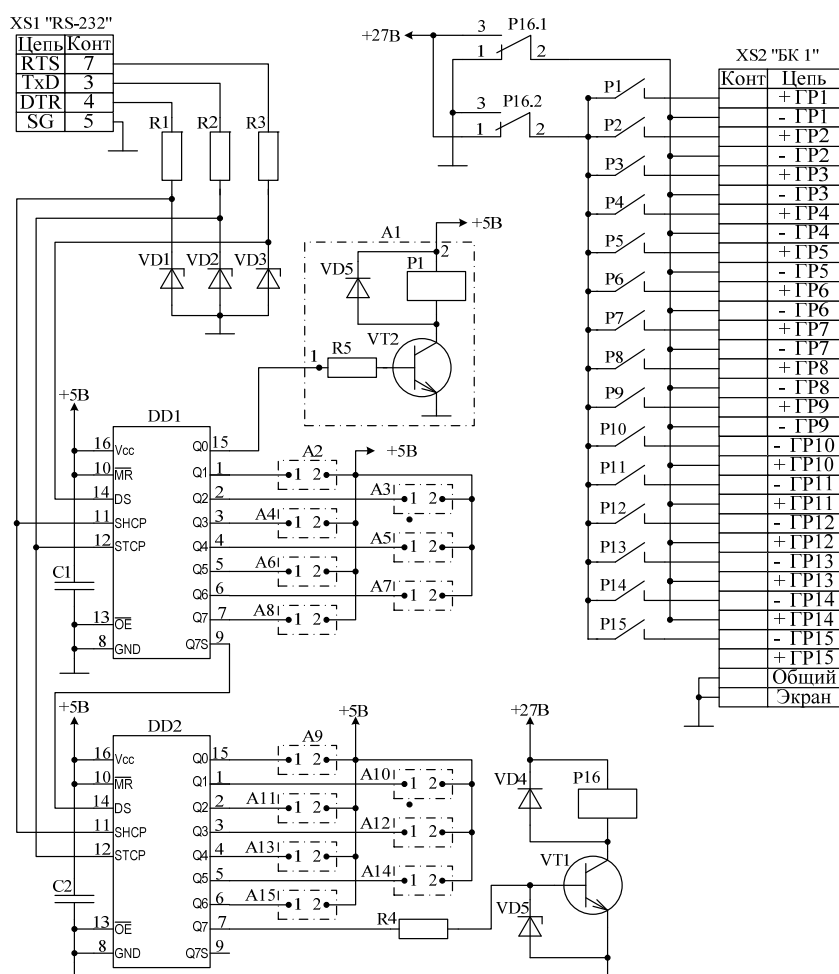


Рисунок 3 – Принципиальная схема устройства управления

Таблица 1 – Назначение выходов интерфейса RS-232

Обозначение	Сигнал	Номер контакта
RTS (Request to Send)	запрос на отправку	7
DTR (Data Terminal Ready)	готовность к приему данных	4
TxD (Transmit Data)	передача данных	3

Принцип работы регистра сдвига DD заключается в последовательной записи логических сигналов высокого и низкого уровней, подаваемых на вход DS. Запись осуществляется задним фронтом (переход из логической единицы в логический ноль) на входе тактовых сигналов SH_CP. Вывод записанных данных происходит также задним фронтом, но на входе ST_CP. Таким образом, на контактах 1-7 и 15 микросхемы 74НС595 появляются уровни последних восьми записанных сигналов.

Высокому уровню сигнала на выходах (контакты 1-7 и 15) соответствует напряжение питания микросхемы, а низкому уровню соответствует 0 В. Сигналы на выходах являются статическими, т. е. неизменными до тех пор, пока не появится очередной импульс на входе ST_CP. Снижение напряжения питания ниже минимального уровня ведет к сбросу сигналов на выходах. Согласно документации на микросхему [4] минимальное напряжение питания составляет 2 В.

Функциональное расширение разрядности устройства управления осуществляется за счет использования двух регистров сдвига. При этом выход Q7S первого регистра сдвига DD1 соединяется с входом DS DD2, в результате чего получается 16-разрядный регистр сдвига.

Сопряжение интерфейса RS-232 с микросхемой 74HC595 осуществлено посредством стабилитронов VD1-VD3 с напряжением стабилизации порядка 5 В. Для управления нагрузкой используются транзисторы VT1-VT15 (например, серия КТ315). На схеме показан вариант реализации ключа А1, остальные А2-А15 построены аналогично. Ключи обеспечивают подключение поляризованных реле к контактам источника питания +27 В при соответствующих выходных сигналах на контактах микросхем DD1 или DD2. Контакт Q7 микросхемы DD2 служит для управления полярностью источника 27 В при переключении поляризованных реле в БК.

Функциональная схема блока коммутации представлена на рисунке 4.

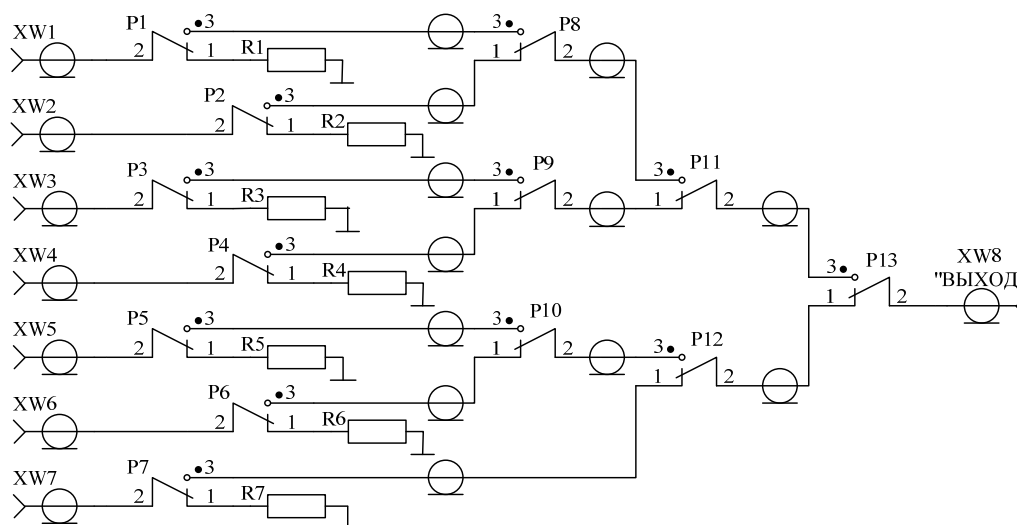


Рисунок 4 – Функциональная схема БК

С учетом необходимости согласования входа измерительного оборудования с нагрузками входов антенн и коммутационных устройств система коммутации выполнена по четырехступенчатой схеме.

Матрица коммутации для соединения заданного антенного входа с выходом коммутатора с учетом ступеней предварительного искания представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Расширенная коммутационная матрица

Антенны\ реле	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
XW1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
XW2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
XW3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
XW4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
XW5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
XW6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
XW7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Однозначное соответствие состояний реле P8, P9, P10, P12 ступеней предварительного искания P8-P13 состояниям реле P1, P3, P5, P7 позволяет перейти к сокращенной матрице коммутации, представленной в таблице 3, в соответствии с которой необходимо 9 ключей.

Таблица 3 – Сокращенная коммутационная матрица

Антенны\ реле	P1,8 A1	P2 A2	P3,9 A3	P4 A4	P5,10 A5	P6 A6	P7,P12 A7	P11 A8	P13 A9
XW1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
XW2	0	1	0	0	0	0	0	1	1
XW3	0	0	1	0	0	0	0	0	1
XW4	0	0	0	1	0	0	0	0	1
XW5	0	0	0	0	1	0	0	0	0
XW6	0	0	0	0	0	1	0	0	0
XW7	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Принципиальная схема подключения поляризованных реле показана на рисунке 5.

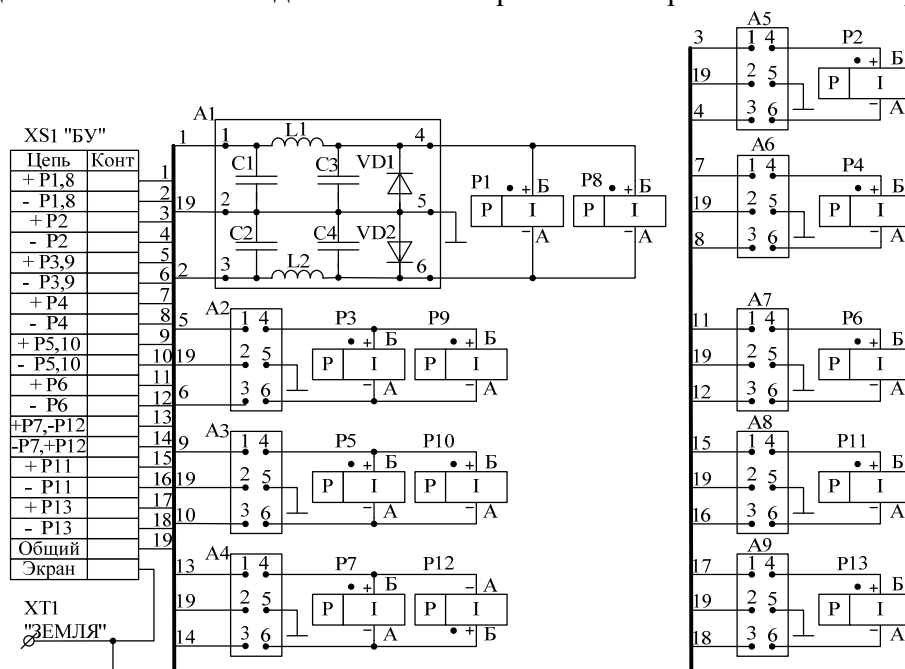


Рисунок 5 – Схема подключения поляризованных реле к разъему XS1

С учетом логики работы системы коммутации возникает необходимость в дополнительных манипуляциях на подготовительном этапе, заключающихся в добавлении в матрицу коммутаций строк 1,2..6, а также столбца состояния для реле изменения полярности источника +27 В (реле P16 на рисунке 3). Результирующая матрица коммутаций представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Коммутационная матрица с учетом особенностей функционирования блока коммутации

Антенны\ реле	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	P16
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7(XW1)	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
8(XW2)	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
9(XW3)	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
10(XW4)	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
11(XW5)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
12(XW6)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13(XW7)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Блок-схема алгоритма работы устройства управления коммутатором антенн с учетом коммутационной матрицы (табл. 3), представлена на рисунке 6.

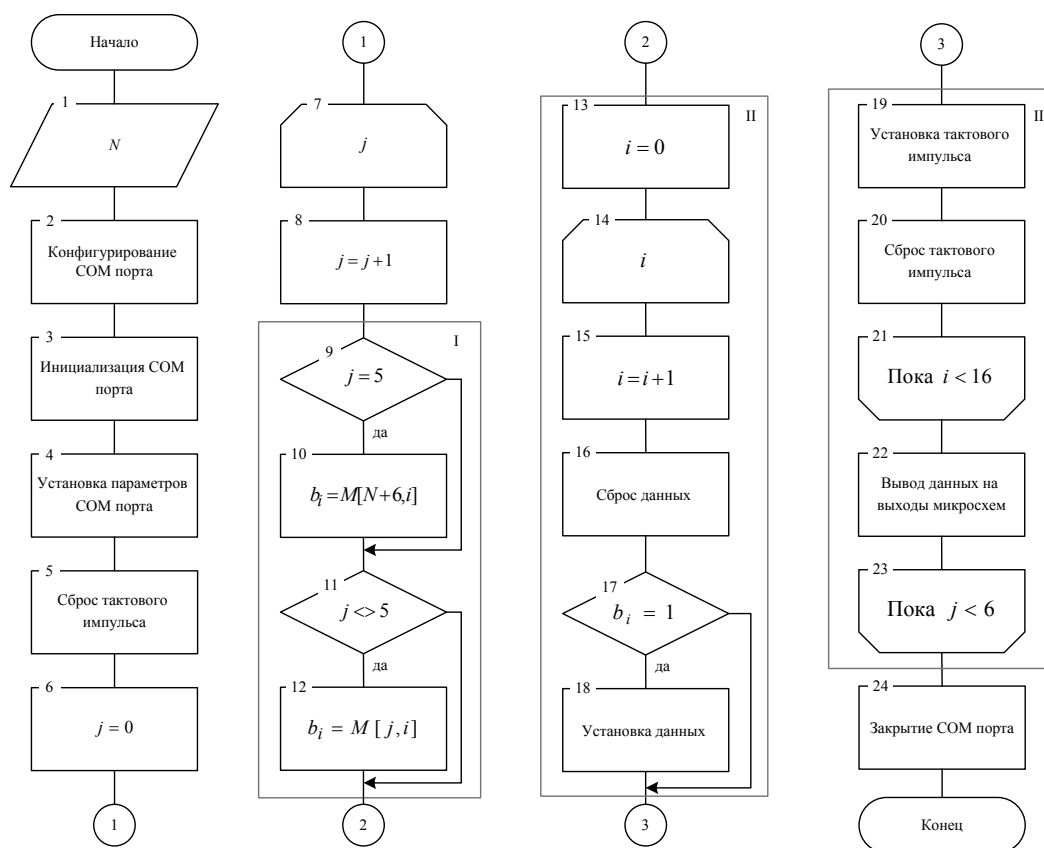


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма выполнения коммутации

Алгоритм коммутации, представленный на рисунке 6 позволяет осуществить манипуляции, необходимые для установления соединения заданного антенного входа с входом измерительного оборудования.

Блоки 2, 3, 4 и 23 реализуют обязательные процедуры работы с интерфейсом RS-232.

Заполнение регистра сдвига DD1, DD2 данными осуществляется за счет поочередного изменения состояния выхода COM порта RTS (блоки 15, 17) при тактировании с выхода DTR (блоки 18, 19).

Группа блоков I обеспечивает выбор этапа переключения реле. На первом этапе осуществляется приведение всех реле ключей A1-A9 и реле К в исходное состояние (строка 1 в таблице 3). Поскольку P16 определяет полярность источника питания 27 В, то при подключении контактов реле P1-P13 к общей шине (строка 2 в таблице 3) за счет замыкания контактов реле ключей A1-A9 происходит их переключение в исходное состояние (замыкание контактов 1-3 реле P1-P13). Третьим этапом переключения является отключение реле P1-P13 от общей шины контактами реле ключей A1-A9 (строка 3 в таблице 3). На четвертом этапе происходит смена полярности источника питания 27 В посредством переключения реле P16 (строка 4 в таблице 3). Пятым этапом является подключение контактов реле ключей A1-A9 в соответствии с матрицей коммутации в зависимости от номера коммутируемого антенного входа N. На шестом этапе осуществляется отключение реле P1-P13 от общей шины посредством размыкания контактов реле ключей A1-A9. Строка 5 таблицы 3 является вспомогательной для работы алгоритма, и поэтому ее заполнение в процессе установления соединения не учитывается.

Группа блоков II выполняет процедуры по записи данных в регистр сдвига, обеспечивает тактирование и вывод данных регистра на выходы микросхем DD1, DD2.

Таким образом, разработанный антенный коммутатор может быть использован в аппаратно-программном комплексе измерения электромагнитных излучений. При этом логика

работы коммутатора закладывается в программное обеспечение, что снижает сложность аппаратной части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игловский, И.Г. Справочник по электромагнитным реле / И.Г. Игловский, Г.В. Владимиров. – Л: Энергия, 1975. – 480 с.
2. Патент на полезную модель №130167 Российская Федерация, МКИ H03K №17/04 Переключатель линий передачи ВЧ сигналов / В.В. Юркин, Ю.Ф. Машенцев, Г.Г. Костылев : заявитель и патентообладатель ОАО Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева. Опубл. 10.07.2013.
3. Кузьминов, А.Ю. Интерфейс RS232. Связь между компьютером и микроконтроллером / А.Ю. Кузьминов. – М: Радио и связь, 2004. – 168 с.
4. Data sheet 74HC595.

Гуляйкин Дмитрий Александрович

Академия Федеральной службы охраны России, г. Орел
аспирант
E-mail: vika-1409@mail.ru

Тарусов Валерий Алексеевич

Академия Федеральной службы охраны России, г. Орел
кандидат технических наук, доцент, сотрудник
E-mail: tarusov@mail.ru

Васечкин Евгений Александрович

Академия Федеральной службы охраны России, г. Орел
аспирант
E-mail: djonv87@inbox.ru

D.A. GULYAIKIN, V.A. TARUSOV, E.A. VASECHKIN

AUTOMATION OF MEASURING OF ELECTROMAGNETIC FIELD STRENGTH WHEN SOLVING THE PROBLEMS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

The author proposes a structure of the antenna switch with remote control, taking into account the need to reduce crosstalk with control lines on the measuring circuit with high coefficient of isolation between the inputs.

Keywords: antenna switch, remote control, automation, electromagnetic compatibility

BIBLIOGRAPHY

1. Iglovsky I.G. Reference book of electromagnetic relays / I.G. Iglovsky, G.V. Vladimirov. L: Energiya, 1975. - 480 p.
2. The patent for useful model №130167 Russian Federation, MКИ H03K №17/04 Switch of transmission lines of RF signals / V.V. Urkin, U.F. Mashencev, G.G. Kostilev : State Rocket Center named after Academician V.P.Makeev. Publish 10.07.2013.
3. Kuzminov A.U. RS232 Interface. The communication between PC and microcontroller. M: Radio and communications, 2004. - 168 p.
4. Data sheet 74HC595.

Gulyaikin Dmitriy Alexandro

The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation, Oryol
Postgraduate student
E-mail: vika-1409@mail.ru

Tarusov Valerius Alexeyevich

The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation, Oryol
Candidate of technical Sciences, associate Professor, employee
E-mail: tarusov@mail.ru

Vasechkin Eugene Alexandrovich

The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation, Oryol
Postgraduate student
E-mail: djonv87@inbox.ru

ИСПЫТАНИЯ, КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 624.14+539.37

В.И. КОРОБКО, О.В. КАЛАШНИКОВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ «ЭФФЕКТИВНОГО» ЧИСЛА НАГЕЛЕЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК

В статье предлагается способ определения «эффективного» числа нагелей в двухслойных деревянных балках с использованием коэффициента нелинейных искажений. Экспериментально показано, что коэффициент нелинейных искажений функционально связан с количеством нагелей, соединяющих слои составной балки. Предлагается использовать этот динамический параметр для контроля «эффективного» числа нагелей в составной балке.

Ключевые слова: составные деревянные балки, контроль, «эффективное» число нагелей, коэффициент нелинейных искажений, жесткость горизонтального шва.

Составные балки широко используются в строительстве. Наиболее распространенными являются деревянные составные балки, слои которых соединяются нагелями. Количество нагелей определяет жесткость соединительного шва, чем их больше и чем рациональнее они расположены, тем выше коэффициент жесткости шва и, следовательно, выше жесткость всей балки. Проблемы определения коэффициента жесткости соединительного шва в балках составного сечения рассматривались в работах [1, 2], где в качестве критерия жесткости использовалась основная частота колебаний балок в ненагруженном состоянии.

В настоящей статье развивается вибрационный метод, но в качестве критерия жесткости используется коэффициент нелинейных искажений – динамический параметр, характеризующий нелинейность механических систем в виде конструкций балочного типа. Конструктивная нелинейность таких систем зависит от количества нагелей, соединяющих слои составной балки.

Для выявления функциональной связи между жесткостью соединительного шва и числом нагелей в двухслойной деревянной балке были проведены экспериментальные исследования балки цельного сечения с размерами 2800×100×50 мм, и балки составного сечения с размерами 2800×100×50 мм, которая по высоте состояла из двух слоев по 50 мм.

Испытания осуществлялись на установке, функциональная схема которой представлена на рисунке 1. Испытуемые конструкции по концам закреплялись жестко. На контролируемую конструкцию устанавливался возбудитель колебаний (моторчик с дисбалансом ротора) и датчик перемещений.

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе на установке размещалась балка цельного сечения (эталон). В ней возбуждались вынужденные колебания на резонансной частоте; наступление резонанса контролировалось с помощью электронного осциллографа, а с помощью виброанализатора «Вибран 2.0» определялись амплитуды первых 4-х гармоник. Затем, по формуле [3]:

$$K_{\text{НИ}} = 100 \% \sqrt{(A_2^2 + A_3^2 + \dots) / (A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \dots)}, \quad (1)$$

где A_1 – амплитуда основного тона колебаний;

A_2, A_3, \dots – амплитуды последующих гармоник, подсчитывались соответствующие коэффициенты нелинейных искажений. Учитывая, что в реальных колебательных механических системах с невысокой степенью нелинейности ($K_{\text{НИ}} \leq 10\%$) вкладом гармоник выше четвертой в общий спектр колебаний можно пренебречь (ввиду их незначительной амплитуды), то для нахождения $K_{\text{НИ}}$ рекомендуется пользоваться упрощенным выражением [3]:

$$K_{\text{НИ}} \approx \frac{100 \%}{A_1} \sqrt{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2}. \quad (2)$$

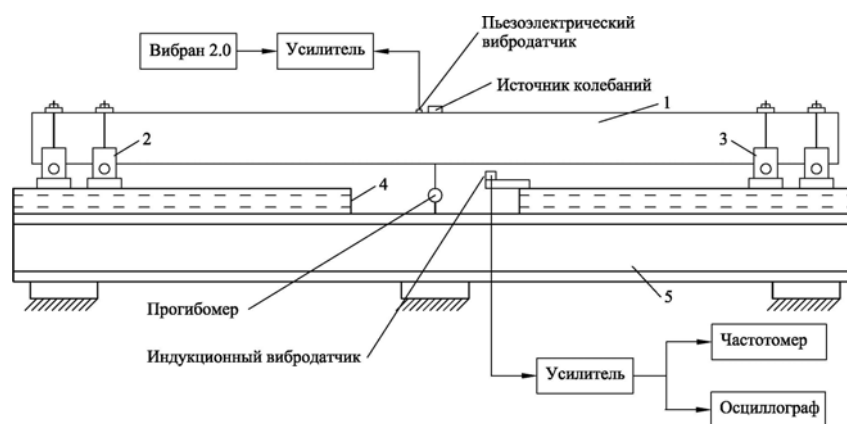


Рисунок 1 – Установка для испытаний деревянных балок

1 – испытываемая конструкция; 2, 3 – опоры; 4 – направляющие для опор; 5 – основание

Величина $K_{ни}$ численно отражает распределение энергии колебаний по их спектру между основным тоном и его гармониками. С физической точки зрения этот параметр характеризует интегральную нелинейность колебательной системы за один цикл простых гармонических колебаний.

Результаты испытаний, проведенных с деревянной балкой цельного сечения, представлены в таблице 1.

После испытаний балки цельного сечения на стенде закреплялась деревянная балка составного сечения. Вначале слои балки соединялись одним нагелем посередине, и далее, как для эталонной балки, проводилась процедура возбуждения вынужденных колебаний на резонансной частоте, измерение этой частоты, определение первых четырех гармоник и вычисление коэффициента нелинейных искажений.

Таблица 1 – Результаты испытаний деревянной балки цельного сечения

Частота (f), Гц	Амплитуда (A), мм	$K_{ни}$, %
f_1	36,8	A_1
f_2	73,6	A_2
f_3	110,4	A_3
f_4	147,2	A_4

1,73

Затем устанавливались два новых нагеля в четвертях пролета балки, и процедура определения $K_{ни}$ повторялась. Такая последовательность выполнения эксперимента осуществлялась при 5, 9 и 11 нагелях. Схема и порядок установки нагелей приведена на рисунке 2.

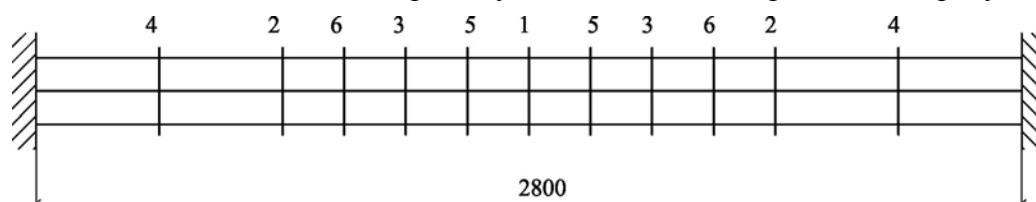


Рисунок 2 – Схема расположения и порядок установки нагелей

Результаты измерений, полученные при проведении экспериментов, и коэффициенты нелинейных искажений, подсчитанные расчетным путем, приведены в таблице 2.

По результатам этих экспериментов на рисунке 3 построен график зависимости коэффициента нелинейных искажений от количества нагелей. Как видно из рисунка, при постепенном увеличении количества нагелей в деревянной балке составного сечения происходит асимптотическое приближение графика к горизонтали $K_{ни} = 1,73$, соответствующей значению коэффициента нелинейных искажений для балки цельного поперечного сечения, принятой за эталонную конструкцию. Участок кривой с абсциссами 1-3 можно не рассматривать, поскольку при одном нагеле не обеспечивается надёжная совместная работа слоёв составной балки.

Кривую, изображённую на рисунке 3, можно аппроксимировать функцией

$$K_{ни} = \sqrt{143,193/n - 1,918},$$

где n – число нагелей. Из этой формулы можно найти число нагелей в зависимости от $K_{ни}$:

$$n = \sqrt{\frac{143,193}{K_{ни}^2 + 1,918}}. \quad (3)$$

Таблица 2 – Результаты испытаний деревянной балки составного сечения

Кол-во нагелей, шт	Частота (f), Гц		Амплитуда (A), мм		K _{ни} , %
	f ₁	f ₂	A ₁	A ₂	
1	f ₁	22,2	A ₁	0,498	6,95
	f ₂	44,4	A ₂	0,033	
	f ₃	66,6	A ₃	0,01	
	f ₄	88,8	A ₄	0,004	
3	f ₁	22,8	A ₁	0,453	6,77
	f ₂	45,6	A ₂	0,029	
	f ₃	68,4	A ₃	0,010	
	f ₄	91,2	A ₄	0,002	
5	f ₁	23,0	A ₁	0,404	5,19
	f ₂	46,1	A ₂	0,02	
	f ₃	69,1	A ₃	0,006	
	f ₄	92,1	A ₄	0,002	
7	f ₁	23,6	A ₁	0,356	4,39
	f ₂	47,2	A ₂	0,015	
	f ₃	70,8	A ₃	0,004	
	f ₄	94,4	A ₄	0,002	
9	f ₁	24,1	A ₁	0,312	3,68
	f ₂	48,2	A ₂	0,011	
	f ₃	72,3	A ₃	0,003	
	f ₄	96,4	A ₄	0,0015	
11	f ₁	24,7	A ₁	0,256	3,26
	f ₂	49,4	A ₂	0,008	
	f ₃	74,1	A ₃	0,0022	
	f ₄	98,8	A ₄	0,001	

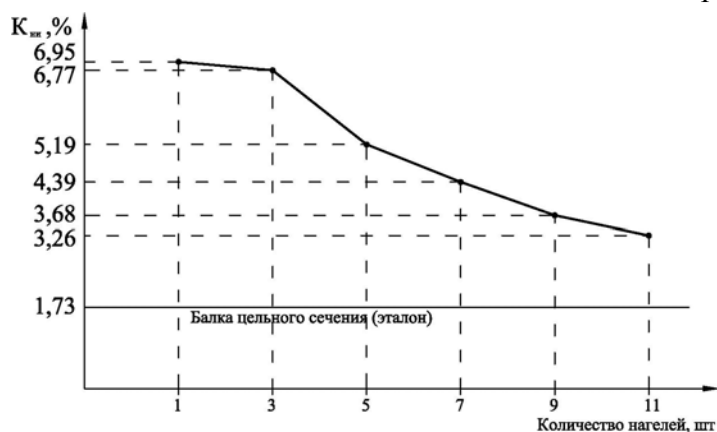


Рисунок 3 – График зависимости коэффициента нелинейных искажений от количества нагелей

в процессе динамических испытаний определяют коэффициент нелинейных искажений и строят аппроксимирующую кривую «коэффициент нелинейных искажений – число нагелей», а для составной конструкции серийного изготовления определяют коэффициент нелинейных искажений и по его значению с помощью построенной аппроксимирующей функции оценивают качество изготовления этой конструкции, используя в виде критерия качества «эффективное» число нагелей.

Как известно [4], жесткость соединительного шва составных балок функционально зависит от числа нагелей, соединяющих отдельные её слои. Вполне очевидно, что и коэффициент нелинейных искажений также будет функционально связан с жесткостью шва. Эта ги-

Поскольку нагели, находящиеся в разных местах балки, работают в различных условиях в зависимости от поперечной силы, приходящейся на сечение, в котором расположен тот или иной нагель, а также в зависимости от качества выполненного соединения, то, используя формулу (3), следует говорить об «эффективном» числе нагелей, представляющем собой некоторое усредненное количество нагелей, отвечающих вычисленному на основе эксперимента коэффициенту нелинейных искажений. Таким образом, зная значение коэффициента нелинейных искажений, можно определить «эффективное» число нагелей в конструкции конкретного типа. Этот параметр («эффективное» число нагелей) можно использовать в виде критерия для оценки качества составных конструкций.

На основе приведённых рассуждений о функциональной связи K_{ни} – n можно предложить новый способ неразрушающего контроля качества составных конструкций балочного типа, сущность которого изложим в виде формулы изобретения.

Способ неразрушающего контроля качества составных конструкций балочного типа, заключающийся в установке конструкции на стенде, закреплении ее концов

согласно условиям эксплуатации, возбуждении в конструкции колебаний на резонансной частоте, определении её динамических параметров на основе спектрального анализа колебательного процесса и сопоставлении этих параметров с соответствующими параметрами эталонной конструкции заданного типа, испытанной при тех же режимах контроля и условиях закрепления, и оценке по результатам сравнения качества изготовления контролируемого изделия, отличающийся тем, что в эталонной конструкции при постепенно возрастающем количестве нагелей в

позеа требует экспериментального подтверждения, для чего необходимо провести испытания различных составных балок с различной жесткостью шва и построить соответствующие аналитические зависимости $K_{ж.шв.} - K_{ни.}$. Возможно, этот новый динамический критерий – коэффициент нелинейных искажений – будет более информативным, чем резонансная частота колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдушкин, Р.В. Экспериментальные исследования стальных ферм с параллельными поясами на статические и вибрационные воздействия / Р.В. Алдушкин, В.И. Коробко, О.В. Калашникова // Известия ОрелГТУ. Сер. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2009. – № 2. – С. 39-43.
2. Подмастерьев, К.В. Вибрационный метод оценки жесткости горизонтального шва составных балок / К.В. Подмастерьев, О.В. Калашникова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 2. – С. 147-150.
3. Шкритек, П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике: пер. с нем. П. Шкритек. – М.: Мир. – 1991. – С. 30-42.
4. Ржаницын, А.Р. Составные стержни и пластинки / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат. – 1986. – 316 с.

Коробко Виктор Иванович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», Орел
Профессор кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: center_epb@mail.ru

Калашникова Ольга Владимировна

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», Орел
Аспирантка кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: center_epb@mail.ru

V.I. KOROBKO, O.V. KALASHNIKOVA

EXPERIMENTAL DEFINITION OF "EFFECTIVE" THE NUMBER OF PINS IN THE CONTROL DUAL LAYER WOODEN BEAMS

The article proposes a method of definition of "effective" number of pins in two-layer wood-en-governmental beams with the use of coefficient of nonlinear distortions. It is experimentally shown that co-ratio harmonic distortion functionally linked to the number of pins, connecting layers with-stationary beam. It is proposed to use this dynamic setting for the evaluation of "effective" number of pins in the composite beam.

Keywords: composite wood beams, control, "effective" number of pins, Ko ratio harmonic distortion, stiffness horizontal seam.

BIBLIOGRAPHY

1. Aldushkin, R.V. Jeksperimental'nye issledovaniya stal'nyh ferm s parallel'nymi pojasami na sta-ticheskie i vibracionnye vozdeystvija / R.V. Aldushkin, V.I. Korobko, O.V. Kalashnikova // Izvestija OrelGTU. Ser. Fundamental'nye i prikladnye problemy tehnik i tehnologii. – 2009. – № 2. – S. 39-43.
2. Podmaster'ev, K.V. Vibracionnyj metod ocenki zhestkosti gorizont'al'nogo shva sostavnyh balok / K.V. Podmaster'ev, O.V. Kalashnikova // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehnik i tehnologii. – 2011. – № 2. – S. 147-150.
3. Shkritek, P. Spravochnoe rukovodstvo po zvukovoj shemotehnike: per. s nem. P. Shkritek. – M.: Mir. – 1991. – S. 30-42.
4. Rzhanicyn, A.R. Sostavnye sterzhni i plastinki / A.R. Rzhanicyn. – M.: Strojizdat. – 1986. – 316 s.

Korobko Victor Ivanovich

State University – Education Science Production Complex, Orel
Professor of "Structures and Materials"
Tel.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: center_epb@mail.ru

Kalashnikova Olga Vladimirovna

State University – Education Science Production Complex, Orel
Postgraduate student, "Structures and Materials"
Tel.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: center_epb@mail.ru

УДК 53.087:581.451(58.02)

Л.А. БОНДАРЕВА, В.В. УТКИНА

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАЖЕННОЙ ОТ ЛИСТЬЕВ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ

В статье проводится обоснование использования отраженной мощности излучения от листьев в качестве критерия оценки функционального состояния растений, и представлены результаты экспериментального исследования изменения отраженной мощности при изменении действующих на растение факторов.

Ключевые слова: функциональное состояние, отраженная мощность излучения, факторы внешней среды, листья растений, экспериментальное исследование.

Уже более 100 лет информация о состоянии окружающей среды, об изменениях, происходящих с природой, широко используется человеком. При этом регулярно проводятся разнообразные наблюдения за погодой, климатом, экологической ситуацией, целостностью растительного и животного мира. Экологический мониторинг предполагает комплексную оценку состояния окружающей среды и прогноз её изменений под действием природных и антропогенных факторов. Одним из главных методов изучения динамики растительного покрова является ботанический мониторинг, под которым понимается специальное длительное слежение за флорой и растительностью на постоянных пробных площадях и ключевых участках [1].

Нельзя не отметить, что с каждым годом увеличивается как круг наблюдаемых объектов в процессе проведения различных мониторингов, так и число измеряемых параметров. Это, безусловно, с одной стороны, подчеркивает то, что человек заботится о состоянии среды, в которой он живет, и стремится бережно к ней относиться. Однако, с другой стороны, нарастающее загрязнение атмосферы и почвы, общее ухудшение экологической обстановки, дестабилизация погодных условий привели к тому, что растения всё в большей степени подвергаются негативному воздействию. В таких условиях совершенствование методов экологического мониторинга состояния окружающей среды является одной из самых актуальных задач современности. Однако кроме разработки новых методов и подходов исследования, по мнению многих экологов, оценка качества среды должна носить интегральный характер [2], а не основываться только на выяснении степени загрязнения среды с позиции предельно допустимых концентраций токсичных веществ, что к тому же не учитывает возможного эффекта от действия нескольких факторов в различных сочетаниях.

Естественные условия произрастания растений предполагают существование минимальных величин воздействующих факторов, которые приводят к появлению минимальных ответных реакций растений, и максимальных, превышение которых может приводить к торможению их развития или к биологической смерти. Изменение действующих факторов в этом диапазоне определяет процессы жизнедеятельности растений, которые и проявляются в такой оценке как функциональное состояние. Функциональное состояние растений – это физиологическое состояние, которое отражает уровень функционирования растения в целом или отдельных его систем, а также показывает приспособленность растения к условиям его существования [3]. В отличие от животных и человека растения способны поглощать из почвы, воды и воздуха и накапливать различные вещества, и это является одной из их важнейших жизненных функций. Соответственно от степени загрязнения окружающей среды зависит его функциональное состояние. В данном случае растения можно рассматривать как некий индикатор состояния окружающей среды, который отображает происходящие в ней изменения. Использование для этих целей объектов растительного происхождения позволит проводить оценку среды обитания, основанную на показателях «самочувствия» живого организма – представителя этого биологического сообщества, крайне чувствительного к даже самым незначительным изменениям.

Однако главная трудность осуществления функциональной диагностики объектов растительного происхождения заключается в том, что на сегодняшний день не существует общепринятой методики проведения функциональной диагностики растений, отсутствует система достоверных диагностических показателей, позволяющих быстро и корректно оценить состояние растительного организма. Стоит подчеркнуть и то, что показатели, используемые для оценки функционального состояния растений, должны носить интегральный характер и позволять в совокупности оценивать структурные, физико-химические и физиологические особенности растений, не нанося ему вреда и повреждений [4].

Традиционно в понимании человека жизнь растений связана с влагой, поэтому увядшее состояние растения ассоциируется с недостатком воды, хотя причина может быть и в отсутствии или недостатке света, тепла, минеральных и органических удобрений и т.п., а также в избытке перечисленных факторов, что тоже проявится увядшим состоянием, прежде всего, листьев растений. Состояние листа зависит не только от условий произрастания, но и обусловлено генетически детерминированными признаками, такими как закономерность временного развития, анатомическое старение, функциональная физиологическая активность [5]. Тем ни менее во взрослом состоянии, когда процессы развития и старения не являются доминирующими для того или иного листка, определяющими факторами становятся условия окружающей среды, а состояние листьев является обобщенным показателем, говорящем о функциональном состоянии всего растения в целом. Таким образом, определение параметров, характеризующих состояние листьев, позволит проводить функциональную диагностику растений.

В качестве показателя функционального состояния растений предлагается использовать отраженный световой поток от листьев растений или коэффициент отражения, так как состояние листа как отражающего объекта определяет параметры отраженного света и содержит совокупную информацию обо всех перечисленных ранее составляющих. В оптическом отношении живые листья можно рассматривать как определённые физические тела, осуществляющие поглощение, отражение и пропускание света в соответствии с законами оптики и фотометрии. Нахождение взаимосвязи между отражательными свойствами листьев и их физиологическими характеристиками позволит осуществлять бесконтактную прижизненную функциональную диагностику растений, проводя не только более детальное, но и более объективное исследование состояния живого биологического объекта.

Конечно человек, возделывающий растения, наблюдает за ними, однако наиболее часто негативные изменения, заметные человеческим глазом, проявляются в тот момент, когда процесс угнетения остановить достаточно сложно, и ведет он к неизменной гибели растений. В то же время оптические свойства поверхности листа из-за малейшего изменения в условиях произрастания растения начинают изменяться, и, хотя визуально рассмотреть малейшие изменения состояния растения не представляется возможным, зафиксировать их с использованием технических устройств можно.

На сегодняшний момент существует достаточно подтвержденных данных о том, что отражательная способность листа зависит от концентрации пигментов, содержания воды и клеточной структуры листа, причем она определяется фазой развития листа и существенно подвержена влиянию условий окружающей среды. В области спектра 750...1200 нм пигменты практически нейтральны и оптические свойства зелёного листа определяются преимущественно тканью листа [6]. В литературе имеются данные, согласно которым до 80 % ИК-излучения отражает мезофильная ткань, т.е. мякоть или основная ткань листа растений. Максимальные значения отраженного излучения получаются за счет многократного рассеяния в мезофильных тканях из-за различия в показателях преломления межклеточных воздушных полостей и оболочек клеток [6]. Морфофизиологические особенности зависят от типа листьев и претерпевают закономерные изменения, как в ходе естественного жизненного цикла, так и под воздействием условий произрастания. Это является ещё одним подтверждением того, что, находя взаимосвязь между спектральными отражательными характеристиками листьев и различными параметрами, можно оценивать функциональное состояние расте-

ния и прогнозировать его дальнейшее развитие. Наличие многопараметрической системы, т.е. явное влияние нескольких факторов внешней среды на состояние растения, делает необходимым изучение как влияния каждого отдельного фактора при фиксации изменения остальных, так и влияния всех факторов в совокупности.

Используемое оборудование. Экспериментальные исследования проводились с помощью встроенного измерителя мощности отраженного излучения аппарата лазерной терапии МИЛГА-Ф-8-01 [7]. Особенностью этого аппарата является равномерность распределения плотности мощности излучения по облучаемой поверхности, что позволяет равномерно распределить падение излучения по всей площади облучаемой поверхности, равной $3,8 \text{ см}^2$. Основные технические характеристики аппарата представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики аппарата

Характеристика	Значение
Длина волны ИК-излучения лазера и светодиодов, мкм	0,85 – 0,89
Частота повторения импульсов лазерного излучения, Гц	5, 10, 50, 80, 150, 600, 1500, 5000
Диапазон измерения мощности излучения, мВт	От 0 до 100
Таймер, мин	От 1 до 15

Цели и задачи экспериментального исследования. Целью проводимого исследования являлось выявление зависимости отраженной мощности лазерного излучения от поверхности листьев при изменении факторов внешней среды, и оценка возможности использования отраженной мощности в качестве критерия оценки функционального состояния растений.

В процессе исследования были поставлены следующие задачи:


- выделить факторы окружающей среды, определяющие физиологическое состояние растений, изменение которых отражается на изменении отражательных свойств листьев исследуемых растений;
- смоделировать в ходе экспериментального исследования влияние выделенных факторов;
- используя визуальный контроль и специализированное оборудование, определить зависимости отраженной мощности лазерного излучения от поверхности листьев от изменения факторов внешней среды.

Экспериментальное исследование. Выбор факторов внешней по отношению к растению среды, влияющих на его состояние, был основан на общеизвестных, наблюдаемых каждым исследователем, особенностях. Считается, что наиболее осязаемое влияние на растения оказывают вода и свет, т.е. в процессе экспериментального исследования необходимо варьировать интенсивностью полива растений и освещенностью помещения, в котором они находятся. Кроме этого функциональное состояние растений, как и любого живого организма, сильно зависит от поступающих из внешней среды питательных элементов, поэтому в качестве воздействующего фактора была выбрана подкормка растений комплексным удобрением.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях (диапазон температур окружающей среды $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$). В ходе проведения эксперимента осуществлялось измерение отраженной мощности лазерного излучения от поверхности листьев разных растений с периодичностью два раза в сутки – утром 7.45 и вечером 16.45. Сама измерительная процедура состояла из двенадцати измерений, проводимых через каждые пятнадцать секунд, по результатам которых были рассчитаны средние арифметические значения и построены графические зависимости изменения отраженной мощности лазерного излучения от поверхности листьев в течение времени воздействия различных внешних факторов.

В качестве объектов исследования использовались комнатные растения и растения, произрастающие в естественных условиях, которые выбирались таким образом, чтобы цвет, текстура и плотность листьев были разными, а, исходя из геометрических характеристик измерителя мощности, все растения обладали листьями, площадь которых превышала бы площадь облучаемой поверхности и позволяла провести регистрацию отраженной мощности. Примеры описания объектов исследования представлены в таблице 2 [8].

Таблица 2 – Комнатные растения, использованные в процессе исследования

№	Название	Описание листьев	Внешний вид
1	Диффенбахия 2	Цвет листьев: светло-зеленый со светлыми вкраплениями. Текстура листа: гладкая. Плотность листа: средняя.	
2	Пальма 1	Цвет листьев: темно-зеленый. Текстура листа: шероховатая. Плотность листа: средняя.	
3	Пальма кустовая 2	Цвет листьев: светло-зеленый. Текстура листа: гладкая. Плотность листа: средняя.	
4	Пальма зубчатая 3	Цвет листьев: светло-зеленый. Текстура листа: гладкая. Плотность листа: средняя.	

Экспериментальное исследование с каждым растением продолжалось 19 дней и состояло из трех этапов. Исследования влияния полива проводились в течение пяти дней, до начала измерения растение было в комфортных для него условиях, а в дальнейшем полив прекращался, и на протяжении пяти дней регистрировалась мощность отраженного от листьев лазерного излучения. После этого полив возобновлялся, и растение отдыхало два дня, восстанавливаясь после первого этапа эксперимента. Стоит подчеркнуть, что в течение этих пяти дней освещение растения старались поддерживать таким образом, чтобы не допускать излишнего затемнения, так как второй этап исследования предполагал смену воздействующего фактора. Растение после отдыха и нормализации состояния помещалось на пять дней в темное помещение, в котором даже во время эксперимента не включалось освещение. При этом полив осуществлялся ежедневно в объеме, соответствующем рекомендациям для данного вида растений [9]. Затем растение помещалось на два дня в условия естественного освещения и отдыхало перед третьим этапом исследования. На заключительном этапе в почву растений вносилось комплексное удобрение, и в течение последующих пяти дней регистрировалась реакция растения на внесенное удобрение.

Таким образом, экспериментальная зависимость, соответствующая определенному объему исследования, получилась состоящей из трех составляющих, каждая из которых характеризует реакцию растения на изменение полива, освещения или притока питательных веществ. Однако ярко выраженной особенностью живых объектов является подчиненность их жизнедеятельности суточному ритму, поэтому смена дня и ночи, приводящая к изменению не только действующих факторов, например, освещенности, сама по себе определяет ритм процессов, протекающих в растении. Для устранения влияния суточного ритма жизнедеятельности растений зависимости, полученные в утреннее и вечернее время, были построены отдельно. При-

меры экспериментальных зависимостей отраженной мощности лазерного излучения от поверхности листьев различных растений представлены на рисунках 1-3, где сплошной линией показана зависимость, полученная в утреннее время, а штриховой – в вечернее.

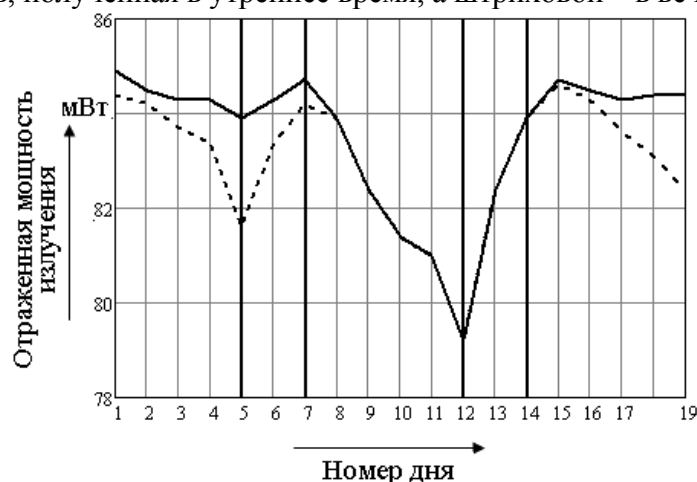


Рисунок 1 – Изменение отраженной мощности излучения от листьев Диффенбахии 1 во время экспериментального исследования

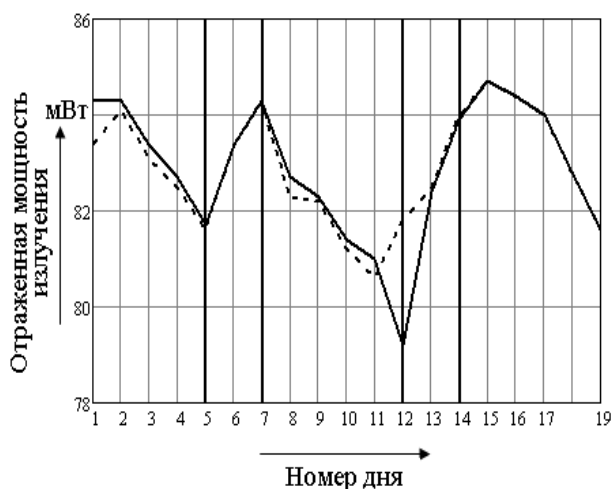


Рисунок 2 – Изменение отраженной мощности излучения от листьев Диффенбахии 2 во время экспериментального исследования

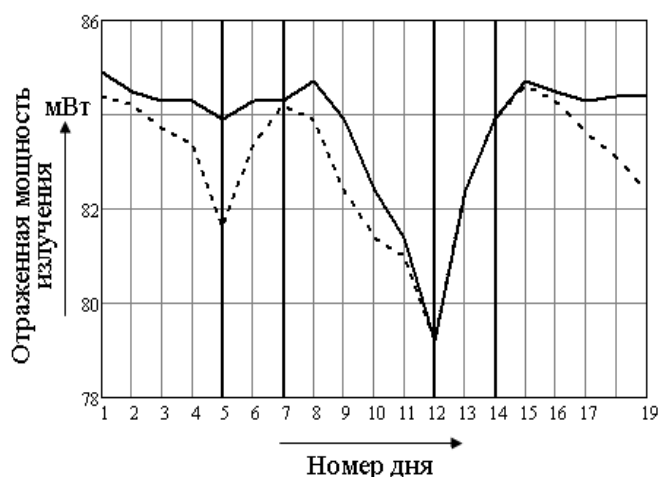


Рисунок 3 – Изменение отраженной мощности излучения от листьев Пальмы во время экспериментального исследования

Анализ полученных экспериментальных зависимостей, как приведенных в качестве примера, так и зафиксированных у всех остальных листовых растений, участвовавших в эксперименте, показал, что наблюдается одинаковая динамика процессов изменения отражательной способности листьев в течение всего времени эксперимента.

Отсутствие полива неизменно приводило к уменьшению отраженной мощности, причем отсутствие воды в течение пяти дней для большинства растений не является критическим, поэтому изменения в целом носили небольшие значения порядка 5 мВт. Более влаголюбивые растения реагировали более интенсивными изменениями, более засухоустойчивые меньше изменяли свои характеристики. Безусловно, интересным является оценка максимально возможных изменений, происходящих с листьями при отсутствии полива длительное время, когда даже визуально можно увидеть увядание, но в процессе проведенного исследования выбирался временной интервал, когда визуальная оценка говорила о неизменном состоянии растений, а результаты измерений отмечали начавшийся процесс угнетения функционального состояния. Реакция на отсутствие освещения носила аналогичный характер, причем здесь также можно выделить растения более или менее приспособленные к недостатку света. В качестве примера приведены зависимости, характерные для растений, реакция

которых на отсутствие света в течение пяти дней оказалась даже более интенсивной, чем на отсутствие полива. Хочется подчеркнуть, что визуальная оценка как и в предыдущем случае, показывала нормальное состояние растений, процессов увядания не отмечалось, но оптические характеристики изменились за это время примерно на шесть процентов.

На последней стадии эксперимента были внесены комплексные удобрения, причем особенностью этого этапа является то, что выбор удобрения был проведен неправильно, и использованный комплекс был рекомендован для растений другой группы для подкормки в другой период времени. Реакция экспериментальных растений на внесение таких удобрений была достаточно разнообразной. Часть растений (рисунки 1-3) в той или иной степени отреагировали несущественным повышением отражательной способности в течение следующего за внесением удобрения дня. Однако дальнейшая реакция была связана не с поддержанием достигнутого уровня, а с неизменным уменьшением отражательной способности, поэтому реакция может быть оценена как негативная. Однако часть растений, в частности некоторые пальмы, отреагировали значительным (до 15 мВт) увеличением отражательной способности, что подчеркивает соответствие потребностей этих растений внесенным микроэлементам. Подобный результат подтверждает возможность не только оценки угнетенного состояния растений путем фиксации их оптических характеристик, но и позитивных процессов, которые также существенно меняют отражательную способность. Изменение функционального состояния растений независимо от причин, способствующих этому, неизменно приводит к изменению процессов, протекающих внутри листьев, и состояния их поверхности [10], что в совокупности и меняет оптические характеристики листьев.

Таким образом, в процессе эксперимента было смоделировано воздействие на листовые растения трех факторов (недостаток воды, недостаток света, внесение питательных веществ). Растения, реагируя на оказываемое воздействие, демонстрировали ответную реакцию, заключающуюся в уменьшении или увеличении отраженной мощности падающего на листья растений излучения. Обобщенные результаты эксперимента сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Изменение отраженной мощности излучения, зафиксированное в процессе эксперимента

Воздействующий фактор	Недостаток влаги	Недостаток освещения	Внесение удобрений
Изменение отраженной мощности излучения, мВт	4,0±1,0	6,7±1,0	7,8±1,0

Вывод. Несмотря на отсутствие визуальных признаков, которые способен зафиксировать глаз человека, использование в качестве критерия оценки отраженной мощности падающего на листья излучения позволило зарегистрировать изменение функционального состояния растений. Связано это с тем, что оптические свойства листьев значительно изменяются под действием различных факторов окружающей среды, а эти изменения носят закономерный характер, что подтверждает возможность использования в качестве критерия оценки функционального состояния отраженной мощности излучения. Стоит отметить, что чувствительность метода измерения отраженной мощности существенно превышает чувствительность человеческого глаза, используемого для наблюдений за состоянием растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степановских, А.С. Общая экология: учебник для вузов / А.С. Степановских. – М.: ЮНИТИ. – 2001. – 510 с.
2. Шмаль, А.Г. Факторы экологической опасности & экологические риски / А.Г. Шмаль. – Издательство: МП «ИКЦ БНТВ». – 2010. – 191 с.
3. Бондарева, Л.А. Устройство контроля и диагностики электрофизиологических параметров растений / Л.А. Бондарева, А.Н. Жучков // Вести ОрелГТУ. Сер. Машиностроение. Приборостроение. – 2005. – № 1. – С. 30–32.
4. Опритов, В.А. Биоэлектrogenез у высших растений / В.А. Опритов, С.С. Пятачин, В.Г. Ретивин. – М.: Наука. – 1991.

5. Прекрасный мир растений. Листья растений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://beaplanet.ru/listya_rasteniy.html. – Загл. с экрана.
6. Кочубей, С.М. Спектральные свойства растений как основа методов дистанционной диагностики / С.М. Кочубей, Т.М. Шадчина, Н.И. Кобец. – Киев: Наукова думка. – 1990. – 134 с.
7. Руководство по эксплуатации аппарата лазерной терапии «МИЛТА-Ф-8-01».
8. Рак, Я. Энциклопедия комнатных растений / Я. Рак. – Ниола 21-й век. – 2004. – 193 с.
9. Справочник растений [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.plam.ru/hobbirem/yenciklopedija_komnatnyh_rastenii/p8.php. – Загл. с экрана.
10. Бондарева, Л.А. Исследование шероховатой поверхности листьев растений / Л.А. Бондарева, М.В. Суханова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 1. – С. 144-149

Бондарева Людмила Александровна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», Орел

к.т.н., доцент, доцент кафедры «Приборостроение метрология и сертификация»

E-mail: 270174@mail.ru

Уткина Вера Владимировна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», Орел

Магистр кафедры «Приборостроение метрология и сертификация»

E-mail: verabykow@mail.ru

L.A. BONDAREVA, V.V. UTKINA

FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF PLANTS USING REFLECTED FROM THE LEAVES RADIATION POWER

The article substantiates the feasibility of the use of reflected radiation power of the leaves as the criteria of evaluation of the functional state of plants, and presents the results of experimental studies the changes reflected power when changing factors operating on the plant.

Keywords: *functional state, reflected radiation power, environmental factors, leaves of plants, experimental research.*

BIBLIOGRAPHY

1. Stepanovskih, A.S. Obshhaja jekologija: uchebnik dlja vuzov / A.S. Stepanovskih. – М.: JuNITI. – 2001. – 510 s.
2. Shmal', A.G. Faktory jekologicheskoy opasnosti & jekologicheskie riski / A.G. Shmal'. – Izdatel'-stvo: MP «IKC BNTV». – 2010. – 191 s.
3. Bondareva, L.A. Ustrojstvo kontrolja i diagnostiki jelektrofiziologicheskikh parametrov rastenij / L.A. Bondareva, A.N. Zhuchkov // Vesti OreIGTU. Ser. Mashinostroenie. Priborostroenie. – 2005. – № 1. – S. 30–32.
4. Opritov, V.A. Biojelektroenez u vysshih rastenij / V.A. Opritov, S.S. Pjatychin, V.G. Retivin. – М.: Nauka. – 1991.
5. Prekrasnyj mir rastenij. List'ja rastenij [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://beaplanet.ru/listya_rasteniy.html. – Zagl. s jekrana.
6. Kochubej, S.M. Spektral'nye svojstva rastenij kak osnova metodov distancionnoj diagnostiki / S.M. Kochubej, T.M. Shadchina, N.I. Kobec. – Kiev: Naukova dumka. – 1990. – 134 s.
7. Rukovodstvo po jekspluatacii apparata lazernoj terapii «MILTA-F-8-01».
8. Rak, Ja. Jenciklopedija komnatnyh rastenij / Ja. Rak. – Niola 21-j vek. – 2004. – 193 s.
9. Spravochnik rastenij [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.plam.ru/hobbirem/yenciklopedija_komnatnyh_rastenii/p8.php. – Zagl. s jekrana.
10. Bondareva, L.A. Issledovanie sherohovatoj poverhnosti list'ev rastenij / L.A. Bondareva, M.V. Suhanova // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehnik i tehnologii. – 2014. – № 1. – S. 144-149

Bondareva Lyudmila Alexandrovna

State University – Education Science Production Complex, Orel

Candidate of Technical Sciences, associate professor of “Instrument Engineering Metrology and Certification”

E-mail: 270174@mail.ru

Utkina Vera Vladimirovna

State University – Education Science Production Complex, Orel

Magister of “Instrument Engineering, Metrology and Certification” Department

E-mail: verabykow@mail.ru

А.В. ФЛЕРОВ, Е.В. ШАЛОБАЕВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Рассматривается совершенствование нормативно-методического обеспечения при сборе и интерпретации статистических данных для оценки показателя безотказности сложной технической системы при испытаниях опытных образцов, как в машиностроении, так и в приборостроении.

Ключевые слова: сложные технические системы, программа испытаний, опытный образец.

При создании сложных технических систем, включая мехатронные и робототехнические системы [1], на этапе опытно-конструкторских работ (ОКР) разрабатывается техническая документация и опытный образец изделия.

Опытный образец сложной технической системы (СТС) проходит отладочные, заводские и государственные испытания. По результатам испытаний корректируется конструкторская и технологическая документация, которая затем передается изготовителю для подготовки изделия к серийному производству. Создаваемая в ходе ОКР техническая документация должна обеспечивать перенос всей конструкторской информации на изготавливаемое изделие и его рациональную эксплуатацию.

Методом проверки параметров изделия, в том числе безотказности, и готовности изделия к серийному производству являются испытания. При испытаниях выполняется комплекс экспериментальных, конструкторских и расчетно-теоретических работ, направленных на устранение причин отказов и обеспечивающих получение информации, необходимой для подтверждения соответствия заданным требованиям.

Согласно стандарта [2] при испытаниях необходимо руководствоваться специальным организационно-методическим документом – программой испытаний. В данном документе, в частности, должны быть сформулированы правила фиксации информации для оценки безотказности.

В настоящее время создание новых программ испытаний и адаптация типовых программ затруднены одновременным действием ряда межгосударственных и национальных стандартов.

Неупорядоченность ситуации даже с терминами и определениями хорошо демонстрирует приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.11.2012 № 1843-ст о приостановке применения национального стандарта ГОСТ Р 27.002-2009 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» и восстановлении применения межгосударственного стандарта ГОСТ 27.002-1989 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» с 1 декабря 2012 г. [3].

Инициаторами такого решения были Минобороны РФ, Институт надежности машин и технологий, технический комитет по стандартизации 259 «Трубопроводная арматура и сильфоны». Авторы ведут работы в области разработки редукторов для трубопроводной арматуры и очень заинтересованы в решении данной проблемы [4-7].

Разработчик указанного стандарта – технический комитет 119 «Надежность в технике» вынужден был отозвать свой нормативный документ.

В результате, при определении показателей безотказности зачастую используется недостоверная информация, при этом значительная часть достоверной информации не принимается во внимание. Часто возникают разногласия в трактовке того или иного события, состояния между заказчиком и разработчиком. Положение можно подкрепить реальным фактом из производственного опыта одного из авторов статьи в качестве зам. генерального ди-

ректора НТЦ «Редуктор» (СПб.) в 2002-2004 гг. Заказанный редуктор использовался как мультипликатор, в результате – конфликт между потребителем и производителем.

Актуальной становится задача совершенствования нормативно-методического обеспечения испытаний в части определения понятийного аппарата и конкретизация терминов, используемых в программе испытаний.

Показатели объекта испытаний. Объектом испытаний, по стандарту [2], является продукция, подвергаемая испытаниям. В пояснениях к термину отмечено – главным признаком объекта испытаний является то, что по результатам его испытаний принимается то или другое решение по этому объекту. Рассматривая СТС как обслуживаемую и восстанавливаемую систему многоразового применения, при испытаниях на надежность следует установить, что подвергается испытаниям образец СТС как таковой и вместе с ним правила обслуживания и восстановления, зафиксированные в эксплуатационной документации, а так же соответствующий комплект ЗИП.

В этом же ключе трактуется термин «продукция» и в стандарте системы менеджмента качества [8], где к категориям продукции относят не только технические средства, но и перерабатываемые материалы, программные средства, услуги.

Обслуживание СТС проводится в плановом порядке согласно правилам, зафиксированным в эксплуатационной документации. Восстановление работоспособного состояния проводится обычно внепланово, то есть по необходимости. Под операциями восстановления следует понимать операции, приводящие к восстановлению работоспособного состояния [9]. Возможность проведения восстановления должна быть обусловлена в эксплуатационной документации. Восстановление проводят после обнаружения отказа или таких повреждений, которые неминуемо приведут к отказу и не могут быть устранены операциями обслуживания.

Соответственно, эксплуатационная документация является таким же объектом обработки при испытаниях, как и конструкторская документация.

Образец СТС состоит из функционально связанных, взаимовлияющих подсистем, наработки которых не только различны по величине, но и могут измеряться в различных единицах – часах, циклах, километрах и т.п. Испытаниям может подвергаться как образец СТС в целом, так и те или иные его части. Поэтому целесообразно использовать также понятие объекта испытаний в узком смысле, как совокупность подсистем образца СТС, которая подвергается испытанию в каждом конкретном опыте.

Для определения исхода испытаний (опыта) и анализа причин отказов и неисправностей необходимо оценить фактическое состояние объекта испытаний до и после испытания и сравнить с проектным состоянием СТС, зафиксированным в технической документации.

Определение исхода испытания (опыта) должно быть максимально формализовано, чтобы устранить возможный субъективизм и разногласия между заказчиком и разработчиком. Информацией для определения исхода испытаний является оценка фактического состояния объекта испытаний, проектное состояние объекта испытаний, правила (стратегия) обслуживания СТС, требования к параметрам функционирования СТС, зафиксированные в техническом задании. Исходы испытаний являются важнейшей частью информации для оценки достигнутого уровня безотказности.

Информация о фактическом состоянии объекта испытаний анализируется с целью определения причин этого состояния. Такой анализ обычно осуществляют после обнаружения неисправности или отказа. Анализ причин отказов включает в себя задачу классификации отказов по виду и месту проявления, по характеру причин и последствий.

Например, в ГОСТ 15467-79 введено понятие, отражающее состояние объекта – дефект. Дефектом называется каждое отдельное несоответствие объекта установленным нормам и требованиям. Дефект отражает состояние отличное от отказа. В соответствии с определением отказа, как события, заключающегося в нарушении работоспособности, предполагается, что до появления отказа объект был работоспособен. Отказ может быть следствием развития неустранимых повреждений или наличия дефектов: царапин, трещин, небольших деформаций (как пластических, так и упругих). Дефекты могут быть скрытыми, определяе-

мыми используемым материалом, технологией изготовления и сборки элементов редуктора, эксплуатационными условиями (износ, в частности «холодная сварка», развитие микротрещин и макротрещины, несоответствие реальных условий эксплуатации запроектированным) и т.п. В теории надежности, как правило, предполагается внезапный отказ, который характеризуется скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров объекта. На практике приходится анализировать и другие отказы, к примеру, ресурсный отказ, в результате которого объект приобретает предельное состояние, или ресурсный отказ, возникающий по причине, связанной с нарушением установленных правил или условий эксплуатации. В публикациях [10-14] рассматриваются типовые процессы, происходящие в зубьях редукторных передач, приводящие к возникновению дефектов и в итоге – к отказам зубчатых передач редукторов. При этом проводится классификация причин возможных отказов.

При необходимости решается вопрос о проведении специальных доводочных испытаний, то есть об изменении программы испытаний. А также могут быть внесены изменения в конструкторскую, технологическую и эксплуатационную документацию.

Безотказность образца может быть разделена в зависимости от характера причин отказов на составляющие: конструкторскую, производственную, эксплуатационную. За показатель отработанности конструкторской и эксплуатационной документации может быть принята конструкторская составляющая безотказности образца СТС.

Особенностью испытаний при отработке опытного образца СТС, является комплексная направленность, разнообразие условий и режимов испытаний. Именно эти испытания обеспечивают исследователя исходной информацией для оценки показателя безотказности благодаря тому, что фиксируются наработки, отказы, повреждения и другие события.

Особенности интерпретации статистических данных. На практике, в процессе испытаний образец СТС может подвергаться нештатным воздействиям – таким, которые не были предусмотрены при проектировании. Эти события могут возникать в результате нештатной работы испытательного оборудования, нарушения правил обслуживания и условий эксплуатации, зафиксированных в эксплуатационной документации. Испытания (опыты), в которых произошли такие нештатные воздействия, должны быть отнесены к незачетным при оценке показателя безотказности.

Однако, отказы и повреждения, произошедшие при испытаниях вследствие несовершенства эксплуатационной документации, должны учитываться при оценке показателя безотказности.

К незачетным могут быть также отнесены доводочные испытания, заранее объявленные таковыми.

В ходе отработки СТС на надежность при испытаниях исследователю доступна информация о наработках агрегатов и подсистем опытного образца, о исходах испытаний, о характере отказов и доработок, условиях испытаний, состоянии объекта испытаний.

Изучение и анализ отказов опытного образца СТС в процессе испытаний является узловым вопросом, поскольку по данным об отказах решаются основные задачи испытаний и отработки: разрабатывается комплекс конструкторско-технологических мероприятий, направленных на совершенствование конструкции СТС и ее производства; дается количественная оценка достигнутого уровня надежности и отработанности технической документации.

Многообразие форм проявления реальных отказов и повреждений образца при испытаниях затрудняет соотнесение их с формально вводимым понятием отказа СТС как события перехода из состояния работоспособности в неработоспособное состояние [15]. Это вызывает необходимость в выработке четких критериев отказов согласно стандарта [9], рекомендаций по систематике и классификации отказов, что должно быть зафиксировано в программе испытаний. Особенностью оперирования данными о фактическом состоянии образца является акцент на наблюдаемость, фиксируемость факта отказа и на возможность прогнозировать наступление отказа по информации об испытаниях.

Наиболее типичным признаком наступления отказа СТС в процессе испытаний является самопроизвольное прекращение функционирования образца. Кроме того, возможно вы-

нужденное прекращение функционирования СТС со стороны обслуживающего персонала ввиду обнаружения факторов явно свидетельствующих о недопустимости дальнейшего функционирования с точки зрения безопасности. Событие, приводящее к прекращению функционирования СТС, однозначно идентифицируется как отказ.

Более глубокое рассмотрение идентификационных признаков отказов приводит к анализу параметров СТС и системы условий работоспособностей. Выбор рациональной номенклатуры выходных параметров, позволяющих построить множество работоспособных состояний, является важным и сложным вопросом, решаемым при проектировании каждой конкретной СТС. В условиях испытаний опытного образца основными выходными параметрами СТС являются такие интегральные параметры, которые характеризуют воздействие образца на внешнюю среду. Выбор контролируемых параметров, характеризующих способность изделия выполнять заданные функции, возложен на разработчика по согласованию с заказчиком [16].

Событие, заключающееся в отклонении контролируемых параметров за установленные нормы, является признаком, идентифицирующим отказ.

Рассматривая модель эксплуатации изделия неотъемлемой частью объекта испытаний, нельзя оставить без внимания те повреждения, которые не приводят к немедленному прекращению функционирования СТС, а обнаруживаются при выполнении технического обслуживания. Переход в неисправное состояние (повреждение), возможность обнаружения и устранения которого не предусмотрено конструкторской (эксплуатационной) документацией, должно квалифицироваться как отказ.

Зафиксированному отказу должны быть поставлены в соответствие классификационные признаки. Классификация отказов не только подсказывает разработчику пути повышения надежности, но и влияет на формирование выборки исходных данных и на выбор средств математической обработки данных.

Произошедший отказ должен быть идентифицирован по характеру причин отказа, по виду проявления, по последствиям, по устранимости и т.п. Особенно важна идентификация отказов по причине, так как при этом учитывается физическая сущность отказов. Иначе формальное применение методов математической статистики может привести к ошибочным результатам при оценке показателей безотказности.

По причинам отказы, согласно стандарта [15], делятся на:

- конструкционные, возникшие в результате несовершенства или нарушения установленных правил и (или) норм конструирования;
- производственные, возникшие в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта (если система ремонтпригодна, некоторые СТС, например, мехатронные неремонтпригодны);
- эксплуатационные, возникшие в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации;
- деградационные, возникшие в результате естественных процессов старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления в эксплуатации.

Последние проявляются на этапе эксплуатации и обычно не рассматриваются при испытаниях опытного образца СТС.

Учитывая специфику создания образца СТС (проектирование, производство, испытание) можно углубить классификацию отказов по причинам.

Конструкционные отказы:

- вызванные ошибками, заложенными в конструкцию СТС;
- вызванные ошибками, заложенными в систему технического обслуживания и восстановления.

Производственные отказы:

- технологические, возникшие в результате несовершенства технологического процесса изготовления, сборки, контроля;

- организационные, возникшие в результате несовершенства организации производственного процесса;
- брак – отказы, возникшие в результате нарушения установленной технологии и (или) организации процесса изготовления и ремонта.

Основными признаками, по которым идентифицируются отказы СТС по причине, являются:

- соответствие или несоответствие деталей, узлов, элементов образца СТС требованиям конструкторской документации;
- технологическая выполнимость или невыполнимость требований конструкторской документации;
- соблюдение или не соблюдение правил эксплуатации и обслуживания;
- выполнимость или невыполнимость правил эксплуатации и обслуживания.

Несоблюдение правил эксплуатации и обслуживания определяет эксплуатационный отказ.

Несоответствие деталей, узлов, элементов образца СТС требованиям конструкторской документации определяет производственный отказ.

Невыполнимость требований конструкторской документации или невыполнимость правил эксплуатации и обслуживания определяют конструкционный отказ. Необходимость внесения изменений в конструкторскую и эксплуатационную документацию с целью устранения причин отказа однозначно определяет конструкционный отказ.

Последствия отказов для объекта испытаний устраняются путем регулировки, ремонта или замены элементов, приведение элементов в соответствие с требованиями конструкторской документации, приведение стратегии обслуживания в соответствие с эксплуатационной документацией.

Конструкционные отказы и часть производственных, а именно технологические отказы, обычно характерны для всех или нескольких образцов в серии. Предрасположенность к этим отказам уже заложена в образцы вследствие ошибок в технической документации. Такие отказы можно считать детерминированными.

Отказы, вызванные прямым нарушением технологической дисциплины при изготовлении или правил эксплуатации (обслуживания, восстановления), то есть брак и эксплуатационные отказы, обычно характерны для одного конкретного образца. Такие отказы можно считать случайными. Часто такие отказы относят к неустранимым [17].

Однако на практике можно внести изменение в технологическую документацию, например, добавив новую контрольную операцию, и устранить возможность проявления конкретного нарушения в будущем.

При оценке показателя безотказности опытного образца СТС учитывают только независимые отказы. Зависимые отказы, обусловленные отказом другого элемента, считаются последствиями независимого отказа. Если принято допущение о невозстановливаемости СТС в период выполнения задачи, все отказы принимаются как полные.

Испытания опытного образца СТС характеризуется многообразием решаемых задач и соответствующих этим задачам действий разработчика. Важнейшим воздействием является внесение изменений в техническую документацию – доработка СТС.

Образец СТС, поступивший на испытания, только в определенной степени является отражением того конструктивного решения, которое зафиксировано в технической документации. Отличия опытного образца СТС от конструктивного решения, заложенного в документации, могут выражаться в различиях по признакам физической природы, по признакам различных проявлений: размеров, шероховатости, гидросопротивления, прочности, производительности, мощности и тому подобные.

В ходе испытаний при обслуживании и восстановлении происходит приведение опытного образца СТС в соответствие с технической документацией.

Доработка конструктивной и эксплуатационной документации обычно адекватно отражается в изменении объекта испытаний, в противном случае это приводит к внесению запланированного отличия.

Большую группу изменений документации составляют доработки, нацеленные на повышение безотказности опытного образца СТС. Они характеризуются четкой направленностью на устранение причин отказов. Значительное число таких доработок преследует цель устранения причин конструкционных отказов.

Конструкторская и эксплуатационная документации является носителем информации об изделии, его конструкции, различных количественных соотношениях, материалах, правил обслуживания и восстановления. Именно ошибки, допущенные при проектировании и внесенные в документацию, приводят конструкционным отказам.

Часть ошибок в документации может быть выявлена при конструкторском контроле документации с помощью аналитических методов проверки, а также при технологическом нормализационном и метрологическом контроле.

Ошибки, не выявленные при контроле документации, устраняются в процессе испытания, производства и эксплуатации СТС. О числе этих допущенных ошибок и упущений свидетельствует большое число изменений, вносимых в документацию после ее утверждения.

Могут быть проведены изменения документации (доработки) вне связи с повышением надежности – с целью улучшения условий эксплуатации и обслуживания, улучшения эргономических и функциональных характеристик СТС в пределах заданных требований, улучшение технологичности и тому подобное. Такие доработки могут, в свою очередь, изменять надежность опытного образца.

Относительно доработок могут быть выдвинуты ряд гипотез о том, как доработка изменила вероятность отказа по какой-либо причине.

В настоящее время невозможно указать универсальный метод, позволяющий с полной определенностью оценить влияние любой доработки на надежность СТС. Однако факты внесения доработок в систему могут быть использованы в качестве статистических данных.

Большинство доработок, если они не вносят новые причины отказов, повышают надежность СТС. Это происходит либо за счет устранения конкретных причин отказов в объекте испытаний, либо косвенно – за счет улучшения характеристик СТС, повышения технологичности, улучшения условий производства и эксплуатации и т.п. Объективность влияния доработок в каждом случае должна быть подтверждена практическими испытаниями.

Совершенствование нормативно-технической документации. При разработке нормативно-технической документации для опытного образца СТС недостаточно просто ссылаться на понятийный аппарат, обусловленный государственными (межгосударственными, международными) стандартами. С целью повышения достоверности информации, используемой при определении показателей безотказности, следует выполнить конкретизацию терминов в нормативной документации производителя. Требуется четко определить формы и критерии сбора данных о наработках объекта испытаний, об отказах и повреждениях объекта оценивания, о доработках объекта отработки.

В программу испытаний, как в организационно-методический документ, следует включать следующие положения.

При проведении испытаний определяется оценка СТС, включающей в себя образец СТС, правила обслуживания и восстановления СТС, отраженные в эксплуатационной документации, и соответствующий комплект ЗИП.

Наработки всех подсистем приводятся к единой единице измерения для каждой типовой модели эксплуатации.

Признаками отказов СТС являются следующие события, произошедшие при исправном состоянии испытательного оборудования:

- невозможность начала функционирования СТС или ее подсистемы после проведения всех регламентных работ, указанных в эксплуатационной документации;
- неплановое прекращение функционирования СТС или ее подсистемы;
- выход контролируемых параметров СТС, специально регламентированных разработчиком, за установленные в нормативно-технической (конструкторской) документации пределы;

– обнаружение неисправности, устранение которой выходит за рамки перечня регламентных работ, указанных в эксплуатационной документации.

Произошедший отказ классифицируется как конструкционный, производственный, эксплуатационный отказ или отказ с неустановленной причиной.

Признаком конструкционного отказа является необходимость изменения конструкторской или эксплуатационной документации для устранения причины отказа.

Признаком производственного отказа является несоответствие элементов, узлов, агрегатов СТС, по вине которых произошел отказ, требованиям конструкторской документации.

Признаком эксплуатационного отказа является прямое нарушение обслуживающим персоналом требований эксплуатационной документации, если эти требования выполнимы.

Отказы, причину которых не удалось установить, являются отказами с неустановленной причиной.

При расчете оценки показателя безотказности образца СТС по результатам испытаний принимают во внимание конструкционные, производственные и отказы с неустановленной причиной.

Не учитывают эксплуатационные отказы и отказы, произошедшие вне связи с функционированием и обслуживанием СТС, то есть при нештатных воздействиях на образец СТС.

Доработкой СТС является изменение конструкторской или эксплуатационной документации с целью устранения причин отказов, выявленных в ходе испытаний.

Моментом внесения доработки считается момент внесения соответствующего изменения в образец СТС или момент времени, начиная с которого обслуживающий персонал действует согласно измененной эксплуатационной документации.

Таким образом, совершенствование нормативно-технической документации позволит повысить достоверность оценки безотказности опытного образца СТС. В значительной степени снимаются разногласия в трактовке того или иного события, состояния между заказчиком и разработчиком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шалобаев, Е.В. Теоретические и практические проблемы развития мехатроники / Е.В. Шалобаев // В кн.: Современные технологии / под ред. С.А. Козлова. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ). – 2001. – С. 46-66.
2. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 2011. – 24 с.
3. Национальные стандарты. Информационный указатель. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 2013. – № 3. – 40 с.
4. Старжинский, В.Е. Обзор возможностей отказов редукторов электроприводов / В.Е. Старжинский, Е.В. Шалобаев, Д.Г. Суриков // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2011. – Вып. 5. – Ч. 2. – С. 277-286.
5. Shalobaev E., Raspopov V., Starzhinsky V., Surikov D., Kukhar V. Failures of Mechatronic Modules of Motion // Preceeding IRMES-2011. 27-28 of April, 2011. – Zlatibor, Serbia. – P. 195-197.
6. Шалобаев, Е.В. Особенности конструирования крупногабаритного электропривода на основе волновых передач Шалобаев Е.В., Прокшин С.С. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – Вып. 4. – С. 64-67.
7. Сидоров, П.Г. Новый редуктор для интеллектуального электропривода запорной трубопроводной арматуры / П.Г. Сидоров, В.Я. Распопов, Е.В. Шалобаев // Материалы 10-й сессии Международной научной школы «Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов» VPB-2011. 24-28 октября 2011. – СПб.: ИПМаш РАН, 2011.
8. ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Система менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 2009. – 30 с.
9. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 2002. – 24 с.
10. Маликов, А.А. Анализ и классификация процесса изнашивания зубчатых передач / А.А. Маликов, В.В. Лихошерст, Е.В. Шалобаев // Справочник. Инженерный журнал. (Приложение). – 2011. – № 9. – С. 2-11.
11. Маликов, А.А. Процессы заедания и остаточной деформации в зубчатых передачах / А.А. Маликов, В.В. Лихошерст, Е.В. Шалобаев // Справочник. Инженерный журнал. (Приложение). – 2011. – № 9. – С. 12-18.
12. Маликов, А.А. Анализ и классификация контактной усталости в зубчатых передачах / А.А. Маликов, В.В. Лихошерст, Е.В. Шалобаев // Справочник. Инженерный журнал. (Приложение). – 2011. – № 9. – С. 19-24.

13. Маликов, А.А. Анализ и классификация причин появления трещин зубчатых передач / А.А. Маликов, В.В. Лихошерст, Е.В. Шалобаев // Справочник. Инженерный журнал. (Приложение). – 2011. – № 10. – С. 2-5.
14. Маликов, А.А. Причины разрушения зубьев зубчатых передач и меры по предупреждению разрушения зуба / А.А. Маликов, В.В. Лихошерст, Е.В. Шалобаев, Д.Г. Суриков, В.Е. Старжинский // Справочник. Инженерный журнал. (Приложение). – 2011. – № 10. – С. 6-13.
15. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 2002. – 24 с.
16. ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – М.: ФГУП «Стандартинформ». – 2007. – 20 с.
17. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. / ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. – Т.1: Методология. Организация. Терминология / под ред. А.И.Рембезы. – М.: Машиностроение. – 1986. – 224 с.

Шалобаев Евгений Васильевич

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург
Кандидат технических наук, профессор
Тел.: дом. (812) 592-02.94, моб. +7-921-988-00-86
E-mail: shalobaev47@mail.ru

Флеров Александр Викторович

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург
Кандидат технических наук, доцент
Тел.: (812) 373-32-68
E-mail: aflerov@mail.ru

A.V. FLEROV, E.V. SHALOBAEV

IMPROVEMENT OF THE PROGRAM OF TESTS OF THE PROTOTYPE OF DIFFICULT TECHNICAL SYSTEM

Improvement of standard and methodical providing during the collecting and interpretation of statistical data for an assessment of an indicator of non-failure operation of difficult technical system is considered at prototype tests.

Keywords: *difficult technical systems, program of tests, prototype.*

BIBLIOGRAPHY

1. Shalobaev, E.V. Teoreticheskie i prakticheskie problemy razvitiya mehatroniki / E.V. Shalobaev // V kn.: *Sovremennye tehnologii / pod red. S.A. Kozlova.* – SPb.: SPbGITMO (TU). – 2001. – S. 46-66.
2. GOST 16504-81. Sistema gosudarstvennyh ispytaniy produkcii. Ispytaniya i kontrol' kachestva produkcii. Osnovnye terminy i opredeleniya. – М.: FGUP «Standartinform». – 2011. – 24 s.
3. Nacional'nye standarty. Informacionnyj ukazatel'. – М.: FGUP «Standartinform». – 2013. – № 3. – 40 s.
4. Starzhinskij, V.E. Obzor vozmozhnostej otkazov reduktorov jelektroprivodov / V.E. Starzhinskij, E.V. Shalobaev, D.G. Surikov // *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki.* – 2011. – Vyp. 5. – Ch. 2. – S. 277-286.
5. Shalobaev E., Raspopov V., Starzhinsky V., Surikov D., Kukhar V. Failures of Mechatronic Modules of Motion // *Preceeding IRMES-2011. 27-28 of April, 2011.* – Zlatibor, Serbia. – P. 195-197.
6. Shalobaev, E.V. Osobennosti konstruirovaniya krupnogabaritnogo jelektroprivoda na osnove volno-vyh peredach Shalobaev E.V., Prokshin S.S. // *Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki.* – 2011. – Vyp. 4. – S. 64-67.
7. Sidorov, P.G. Novyj reduktor dlja intellektual'nogo jelektroprivoda zapornoj truboprovodnoj armatury / P.G. Sidorov, V.Ja. Raspopov, E.V. Shalobaev // *Materialy 10-j sessii Mezhdunarodnoj nauchnoj shkoly «Fundamental'nye i prikladnye problemy nadezhnosti i diagnostiki mashin i mehanizmov» VPB-2011. 24-28 oktjabrja 2011.* – SPb.: IP-Mash RAN, 2011.
8. GOST R ISO 9000-2008. Sistema menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniya i slovar'. – М.: FGUP «Standartinform». – 2009. – 30 s.

9. GOST 27.002-89. Nadezhnost' v tehnike. Osnovnye ponjatija. Terminy i opredelenija. – M.: FGUP «Standartinform». – 2002. – 24 s.
10. Malikov, A.A. Analiz i klassifikacija processa iznashivaniya zubchatyh peredach / A.A. Malikov, V.V. Lihosherst, E.V. Shalobaev // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. (Prilozhenie). – 2011. – № 9. – S. 2-11.
11. Malikov, A.A. Processy zaedaniya i ostatochnoj deformacii v zubchatyh peredachah / A.A. Malikov, V.V. Lihosherst, E.V. Shalobaev // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. (Prilozhenie). – 2011. – № 9. – S. 12-18.
12. Malikov, A.A. Analiz i klassifikacija kontaktnoj ustalosti v zubchatyh peredachah / A.A. Malikov, V.V. Lihosherst, E.V. Shalobaev // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. (Prilozhenie). – 2011. – № 9. – S. 19-24.
13. Malikov, A.A. Analiz i klassifikacija prichin pojavlenija treshhin zubchatyh peredach / A.A. Malikov, V.V. Lihosherst, E.V. Shalobaev // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. (Prilozhenie). – 2011. – № 10. – S. 2-5.
14. Malikov, A.A. Prichiny razrusheniya zub'ev zubchatyh peredach i mery po preduprezhdeniju razrusheniya zuba / A.A. Malikov, V.V. Lihosherst, E.V. Shalobaev, D.G. Surikov, V.E. Starzhinskij // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. (Prilozhenie). – 2011. – № 10. – S. 6-13.
15. GOST 27.002-89. Nadezhnost' v tehnike. Osnovnye ponjatija. Terminy i opredelenija. – M.: FGUP «Standartinform». – 2002. – 24 s.
16. GOST 27.003-90. Nadezhnost' v tehnike. Sostav i obshhie pravila zadaniya trebovanij po nadezhnosti. – M.: FGUP «Standartinform». – 2007. – 20 s.
17. Nadezhnost' i jeffektivnost' v tehnike: Spravochnik v 10 t. / red. sovet: V.S. Avduevskij (pred.) i dr. – T.1: Metodologija. Organizacija. Terminologija / pod red. A.I.Rembezy. – M.: Mashinostroenie. – 1986. – 224 s.

Shalobaev Evgeniy Vasil'evich

St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg
Candidate of Technical Sciences, Professor
Tel.: (812) 592-02.94, +7-921-988-00-86
E-mail: shalobaev47@mail.ru

Flerov Alexander Victorovich

St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg
Candidate of Technical Sciences, Ass. Professor
Tel.: (812) 373-32-68
E-mail: aflerov@mail.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей.

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 3 до 7 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- Статьи должны быть набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.
- Название статьи, а также фамилии и инициалы авторов обязательно дублируются на английском языке.
- К статье прилагается перечень ключевых слов на русском и английском языке.
- Сведения об авторах приводятся в такой последовательности: Фамилия, имя, отчество; учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта.
- В тексте статьи желательно:
 - не применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - не применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - не применять произвольные словообразования;
 - не применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.
- **Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!**
- **Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.
- Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравниваются по центру страницы, в конце подписи точка не ставится:

Рисунок 1 – Текст подписи

С полной версией требований к оформлению научных статей Вы можете ознакомиться на сайте www.gu-unprk.ru.

Плата с аспирантов за опубликование статей не взимается.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

Адрес учредителя

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 42-00-24
Факс (4862) 41-66-84
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс»
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03, 89066639898
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор Григорьева О.Ю.
Компьютерная верстка Григорьева О.Ю.

Подписано в печать 14.02.2014 г.
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 10.
Тираж 600 экз.
Заказ № 227/14П1

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе
ФГБОУ ВПО «Государственный университет - УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.