



Издается с 2004 года

DOI: 10.12737/issue_5a337fbb5d16f2.48692114

Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Брянский государственный технический университет» (БГТУ)

Председатель редакционного совета - **Федонин О.Н.**, д-р техн. наук, проф.

Заместитель председателя редакционного совета **Памфилов Е.А.**, д-р техн. наук, проф.

Редакционный совет:

Абрамов А.А., д-р техн. наук, проф. (Москва)

Аверченков В.И., д-р техн. наук, проф. (Брянск)

Агеев Е.В., д-р техн. наук, проф. (Курск)

Албагачиев А.Ю., д-р техн. наук, проф. (Москва)

Анцев В.Ю., д-р техн. наук, проф. (Тула)

Бабичев А.П., д-р техн. наук, проф. (Ростов-на-Дону)

Безъязычный В.Ф., д-р техн. наук, проф. (Рыбинск)

Бухач А., д-р техн. наук, проф. (Польша)

Буяновский И.А., д-р техн. наук, проф. (Москва)

Вайнер Л.Г., д-р техн. наук, доц. (Хабаровск)

Волохов Г.М., д-р техн. наук, проф. (Коломна)

Горленко О.А., д-р техн. наук, проф. (Брянск)

Давыдов С.В., д-р техн. наук, проф. (Брянск)

Дьяконов А.А., д-р техн. наук, проф. (Челябинск)

Ивахненко А.Г., д-р техн. наук, проф. (Курск)

Клименко С.А., д-р техн. наук, проф. (Украина)

Кобищанов В.В., д-р техн. наук, проф. (Брянск)

Константинов И.С., д-р техн. наук, проф. (Белгород)

Космодамианский А.С., д-р техн. наук, проф. (Москва)

Макаренко К.В., д-р техн. наук, проф. (Брянск)

Мокрицкий Б.Я., д-р техн. наук, проф. (Комсомольск-на-Амуре)

Пестер А., д-р техн. наук, проф. (Австрия)

Петрешин Д.И., д-р техн. наук, проф. (Брянск)

Протасьев В.Б., д-р техн. наук, проф. (Тула)

Савин Л.А., д-р техн. наук, проф. (Орел)

Смоленцев В.П., д-р техн. наук, проф. (Воронеж)

Соловьев Д.Л., д-р техн. наук, проф. (Муром)

Степанов Ю.С., д-р техн. наук, проф. (Орел)

Суслов А.Г., д-р техн. наук, проф. (Брянск)

Хандожко А.В., д-р техн. наук, проф. (Брянск)

Хейфец М.Л., д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Химухин С.Н., д-р техн. наук, проф. (Хабаровск)

Янюшкин А.С., д-р техн. наук, проф. (Братск)

Редколлегия

Главный редактор - **Киричек А.В.**, д-р техн. наук, проф.

Зам. главного редактора - **Морозова А.В.**, канд. соц. наук

Отв. секретарь - **Татаринцев В.А.**, канд. техн. наук

Корректор - **Ерохина В.А.**

Редактор - **Щербакова М.Л.**

Адрес редакции

241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
(4832) 58-82-77

Сайт: <http://vestnik.tu-bryansk.ru>

E-mail: vestnik@tu-bryansk.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство ПИ № ФС77-21709 от 17 августа 2005 года

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении или непосредственно в редакции журнала. Индексы по каталогу «Пресса России»: 18945 – полугодовая; 15621 – годовая

Журнал включен в специализированный референтный библиографический сервис CrossRef

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по группам специальностей

05.02.00 – Машиностроение и машиноведение

05.16.00 – Металлургия и материаловедение

05.13.00 – Информатика, вычислительная техника и управление

05.22.00 – Транспорт

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале «Вестник Брянского государственного технического университета», допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции

BULLETINSCIENTIFIC
TECHNICAL
JOURNAL**of BRYANSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY****№ 7 (60)
2017**

Issued since 2004

DOI: 10.12737/issue_5a337fbb5d16f2.48692114

Founder and Publisher – Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
“Bryansk State Technical University” (BSTU)

Chairman of Editorial Council – **O.N. Fedonin**, *D.Eng., Prof.*Vice-Chairman of Editorial Council – **E.A. Pamfilov**, *D.Eng., Prof.*

Editorial Council:

A.A. Abramov, *D.Eng., Prof., (Moscow)***V.I. Averchenkov**, *D.Eng., Prof., (Bryansk)***E.V. Ageev**, *D.Eng., Prof., (Kursk)***A.Yu. Albagachiev**, *D.Eng., Prof., (Moscow)***V.Yu. Antsev**, *D.Eng., Prof., (Tula)***A.P. Babichev**, *D.Eng., Prof., (Rostov-upon-Don)***V.F. Bezyazychny**, *D.Eng., Prof., (Rybinsk)***A. Bukhach**, *D.Eng., Prof., (Poland)***I. A. Buyanovsky**, *D.Eng., Prof., (Moscow)***L.G. Vainer**, *D.Eng., Assistant Prof., (Khabarovsk)***G.M. Volokhov**, *D.Eng., Prof., (Kolomna)***O.A. Gorlenko**, *D.Eng., Prof., (Bryansk)***S.V. Davydov**, *D.Eng., Prof., (Bryansk)***A. A. D'yakonov**, *D.Eng., Prof., (Chelyabinsk)***A.G. Ivakhnenko**, *D.Eng., Prof., (Kursk)***S.A. Klimenko**, *D.Eng., Prof., (Ukraine)***V.V. Kobishchanov**, *D.Eng., Prof., (Bryansk)***I.S. Konstantinov**, *D.Eng., Prof., (Belgorod)***A.S. Kosmodamianskiy**, *D.Eng., Prof., (Moscow)***K.V. Makarenko**, *D.Eng., Prof., (Bryansk)***B.Ya. Mokritsky**, *D.Eng., Prof., (Komsomolsk-upon Amur)***A. Pester**, *D.Eng., Prof., (Austria)***D.I. Petreshin**, *D.Eng., Prof., (Bryansk)***V.B. Protasiev**, *D.Eng., Prof., (Tula)***L.A. Savin**, *D.Eng., Prof., (Orel)***V.P. Smolentsev**, *D.Eng., Prof., (Voronezh)***D.L. Solovyov**, *D.Eng., Prof., (Murom)***Yu.S. Stepanov**, *D.Eng., Prof., (Orel)***A.G. Suslov**, *D.Eng., Prof., (Bryansk)***A.V. Khandozhko**, *D.Eng., Prof., (Bryansk)***M.L. Kheifits**, *D.Eng., Prof., (Belarus)***S.N. Khimukhin**, *D.Eng., Prof., (Khabarovsk)***A.S. Yanyushkin**, *D.Eng., Prof., (Bratsk)*

Editorial Board:

Editor-in-Chief – **A.V. Kirichek**, *D.Eng., Prof.*Deputy Editor-in-Chief – **A.V. Morozova**, *Can.Sociol. Sc.*Executive Secretary – **V.A. Tatarintsev**, *Can.Eng.*Proof-reader – **V.A. Yerokhina**Editor – **M.L. Shcherbakova**

Editorial Office Address:

7, 50 years of October Boulevard, Bryansk, 241035, Russia

Phone: (4832) 58-82-77

Site: <http://vestnik.tu-bryansk.ru>E-mail: vestnik@tu-bryansk.ru

A journal is registered in Federal Service for supervision of law observance in mass communications and cultural heritage protection. Certificate ПИ № ФС77-21709 of August 17, 2005

A journal is spread through a subscription which may be drawn up in any post-office or directly in the editorial office of the journal. Indices on the catalogue “Russia Press”:
18945 – for semi-annual subscription; 15621 – for annual subscription

Journal is included in a specialized consultant bibliographical service CrossRef

Reprinting, all kinds of material copying and reproduction of materials published in the journal “Bulletin of Bryansk State technical University” is allowed only with the Editorial Board’s permission and a reference to the source of information

СОДЕРЖАНИЕ

Машиностроение и машиноведение

Ольховик Е.О. Исследование абразивной стойкости литейных моделей, полученных с использованием аддитивных технологий 4

Ямников А.С., Ямникова О.А., Матвеев И.А., Родионова Е.Н. Влияние погрешностей положения стыковых поверхностей сборного осесимметричного корпуса на погрешность положения исполнительных поверхностей 13

Киричек А.В., Баринов С.В., Яшин А.В., Зайцев А.А., Константинов А.М. Волновое деформационное многоконтактное нагружение 18

Информатика, вычислительная техника и управление

Кожевников А.А. Математическое обследование конвейерных АЦП в системе остаточных классов 27

Кузьменко А.А., Спасенников В.В., Кондратенко С.В. Программные системы для автоматизации обработки симфитосоциологических данных 35

Коновалова Г.И. Новый подход к управлению в экономической системе машиностроительного предприятия в условиях динамичного разнотипного производства 42

Аверченков А.В., Аверченкова Е.Э., Гончаров Д.И., Федоров В.П., Федяева Г.А. Моделирование социально-экономического развития Брянской области для информационной советующей системы 49

Еременко В.Т., Рытов М.Ю., Горлов А.П., Аверченков В.И., Фёдоров В.П. Моделирование процесса оценки эффективности комплексных систем защиты информации промышленных предприятий при одновременной реализации угроз 56

Колякин В.В., Аверченков В.И., Лозбинец Ф.Ю., Реутов А.А., Обозов А.А. Реконструкция трехмерных моделей реальных объектов для построения виртуальных музеев 62

Мокрицкий Б.Я., Усова Т.И., Морозова А.В. Расширение технологических возможностей видеоизмерительных мультисенсорных систем 70

Металлургия и материаловедение

Веселовский А.А., Лайхан С.А. Химико-термическое извлечение никеля и железа из отвальных никелевых шлаков 76

Зернин М.В. Статистический принцип определения границы перерастания коротких трещин в макротрещины и реализация его для баббита на основе олова 86

Транспорт

Сливинский Е.В., Митина Т.Е. Повышение эффективности использования тепловозов за счёт снижения пробоксовки их колёсных пар 95

CONTENTS

Mechanical engineering and engineering science

E.O. Olkhovik. Investigation of casting pattern abrasion resistance obtained using additive techniques 4

A.S. Yamnikov, O.A. Yamnikova, I.A. Matveev, E.N. Rodionova. Impact of position error of composite axisymmetric body joint surfaces upon position error of executing surfaces 13

A.V. Kirichek, S.V. Barinov, A.V. Yashin, A.A. Zaitsev, A.M. Konstantinov. Wave deformation multi-contact loading 18

Informatics, computer engineering and management

A.A. Kozhevnikov. Mathematical investigation of conveyer analog-digital conversions in system of residual classes 27

A.A. Kuzmenko, V.V. Spasennikov, S.V. Kondratenko. Software systems for automation of symphyto-sociological data processing 35

G.I. Konovalova. New approach to management in economic system of engineering enterprise under conditions of dynamic diverse manufacturing 42

A.V. Averchenkov, E.E. Averchenkova, D.I. Goncharov, V.P. Fedorov, G.A. Fedyaeva. Bryansk region social economic development simulation for advising information system 49

V.T. Eremenko, M.Yu. Rytov, A.P. Gorlov, V.I. Averchenkov, V.P. Fyodorov. Efficiency assessment process simulation of complex systems for information protection of enterprises at threat simultaneous realization 56

V.V. Kolyakin, V.I. Averchenkov, F.Yu. Lozbinev, A.A. Reutov, A.A. Obozov. Reconstruction of 3d models of real objects for virtual museum formation 62

B.Ya. Mokritsky, T.I. Usova, A.V. Morozova. Engineering capabilities enhancement of video-measuring multi-sensor systems 70

Metallurgy and materials science

A.A. Veselovsky, S.A. Laikhan. Chemical-thermal extraction of nickel and iron from waste nickel slags 76

M.V. Zernin. Statistical principle for boundary definition in development of short cracks into macrocracks and its realization for tin-based babbitt 86

Transportation means

E.V. Slivinsky, T.E. Mitina. Diesel locomotives efficiency increase due to their wheel pairs boxing decrease 95

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.74

DOI: 10.12737/article_5a337fbb87fb85.27541064

Е.О. Ольховик

ИССЛЕДОВАНИЕ АБРАЗИВНОЙ СТОЙКОСТИ ЛИТЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Представлены результаты исследования абразивной стойкости литейной модельной оснастки, полученной с использованием аддитивных технологий. Предложены экспериментальная установка и методика проведения испытаний. Приведены примеры испытаний оснастки для получения отпечатка фасонных отливок из ABS- и PLA-пластика как в

исходном состоянии, так и при нанесении различных защитных покрытий. Предложены практические рекомендации по 3D-печати литейных моделей для их формовки в ХТС.

Ключевые слова: литейное производство, аддитивные технологии, 3D-печать, литейные модели, абразивная стойкость.

E.O. Olkhovik

INVESTIGATION OF CASTING PATTERN ABRASION RESISTANCE OBTAINED USING ADDITIVE TECHNIQUES

In the investigation presented there is considered a problem of the durability definition in casting pattern equipment made of ABS (acrylnitrilebutadienestyrene)- and PLA (polylactide)plastic obtained through a method of 3D printing by technology of layer-by-layer surfacing to abrasive wear in molding sand medium.

A description of the procedure and equipment for tests of plastic models made of ABS- and PLA materials is shown. The techniques for manufacturing models with the use of 3D printer (additive techniques) are described. There is offered a circuit with the application of vibrational load for model tests which reproduces most qualitatively real conditions of abrasive wear in molding sand mixture. In addition the properties of protective coatings on the basis of acryl paints and two-component polyurethane tar with a special extender were studied.

All tests were carried out on the basis of up to 2000 cycles, each of which corresponds to one molding or a model removal. The additive techniques use for manufacturing casting equipment is a promising direction in engineering development, as common methods for manufacturing wooden or metal equipment are expensive. As a result of the investigation there is developed and approbated test engineering, a procedure to study wear of plastic casting patterns manufactured according to the additive techniques of layer-by-layer surfacing.

In the paper there are formulated generalized practical recommendations for 3D printing of casting pattern equipment for impression obtaining in a sand mold as technological solutions and measures for abrasive wear prevention of such patterns at molding.

Key words: foundry, additive techniques, 3D printing, casting patterns, abrasive resistance.

Введение

Использование аддитивных технологий в литейном производстве является перспективным направлением, поскольку за последние несколько лет значительно снизилась стоимость 3D-принтеров, повысилась качество печати и упростилась технология печати (изготовления) моделей. В работе [1] S. Singh и R. Singh подробно рассмотрели области применения аддитивных технологий для изготовления отливок различного назначения. В работах [2; 3] D.L. Bourell и проф. Ravi выполнили качественный обзор направлений совре-

менного развития литейного производства, в том числе с акцентом на применение технологий 3D-печати. Ими предложена достаточно подробная дорожная карта применения аддитивных технологий для производства отливок различного назначения. Если предлагаемые направления развития спроецировать на все более массовое использование аддитивных технологий в литье по выплавляемым (ЛВМ) и газифицируемым (ЛГМ) моделям, то в дальнейшей перспективе можно выделить два длительных и отдельных направления: первое

- это использование аддитивных технологий для изготовления литейной оснастки взамен традиционной деревянной (для массового изготовления отливок); второе - это полный переход на металлическую 3D-печать готовых деталей.

В работе [4] проф. Леушин и др. исследовали особенности применения твердотельной модели оснастки, изготовленной по технологии послойного нанесения ABS-пластика, который в качестве материала для литейной оснастки показал значительное превышение его ресурса работы по сравнению с деревянной модельной оснасткой.

Также хорошо известны проблемы использования технологии FDM (Fused Deposition Modelling) для изготовления литейных моделей. В работах [5; 6] описаны проблемы состояния и чистоты поверхности моделей из ABS- и PLA-пластика для ЛВМ и ЛГМ. Традиционные восковые модели имеют более высокие показатели шероховатости поверхности, чем пластиковые модели. Частично эта проблема может быть решена за счет химической постоб-

работки поверхности ABS- и PLA-пластика, но данный процесс приведет к удорожанию одноразовых моделей. Известна и описана проблема размерной точности моделей, полученных с использованием 3D-печати. Нами были проведены исследования и выданы рекомендации по предотвращению коробления и перекоса напечатанных моделей [7; 8].

Еще одним из перспективных направлений 3D-печати в литейном производстве является изготовление вспомогательной оснастки и шаблонов как для стабилизации литейной формы, так и для изготовления стержней. Технологические преимущества таких методов раскрыты в работе [9]. Также аддитивные технологии являются востребованными для разработки новых литейных технологий, требующих большого количества итераций по изменению геометрии системы «отливка - форма - стержень - литниково-питающая система», в том числе с применением методов геометрической и топологической оптимизации [10].

Методы, материалы и технология исследований

В данной статье в качестве основного предмета исследований рассматривается пластиковая литейная оснастка, предназначенная для получения отпечатков и полостей в песчаной форме при виброформовке. Основным показателем качества литейной технологической оснастки является ее жизненный цикл, т.е. стойкость к износу или разрушению (деформации). В качестве технологического процесса машинного формообразования выбраны литье в песчано-глинистую форму и литье в химически твердеющую форму.

Традиционно пластиковая оснастка не применяется в таких технологических процессах либо применяется весьма ограниченно, поскольку не выдерживает конкуренции с металлической оснасткой по параметрам «износ» и «долговечность» и с деревянной оснасткой по параметрам «стоимость изготовления» и «скорость изготовления». В настоящее время стоимость профессионального модельного комплекта из пластика превышает стоимость дере-

вянной оснастки примерно в пять раз. Это связано с удешевлением деревянных моделей, которые сейчас изготавливают преимущественно из МДФ на станках с ЧПУ. Пластиковые литейные модели по-прежнему изготавливают методом экструзии в металлическую форму, что является затратной технологией.

Основной задачей настоящей работы является разработка аппаратуры и методики для исследования износа литейной модельной оснастки, полученной с использованием аддитивной технологии на 3D-принтере из стандартного ABS- и PLA-пластика. Под сопротивлением износу подразумеваются условия абразивного и ударного силового взаимодействия с песчаной смесью при формировании отпечатка (полости) в форме или при уплотнении стержня. Дополнительно исследовались варианты защитных покрытий (лакокрасочных и композитных) для пластиковых литейных моделей и выполнялась оценка их стоимости.

Количество съёмов (единовременных контактов) для пластиковой оснастки имеет достаточно широкий интервал и может варьироваться от 100 до 10000 без ремонта. Благодаря применению специальных износостойких добавок при изготовлении полимерных материалов литейная оснастка из пластика значительно повышает свою стойкость к ударной нагрузке и абразивному износу, однако использование таких материалов для литейной оснастки ограничено - в первую очередь высокой ценой на них. Кроме того, для изготовления пластмассовой оснастки необходимо специальное дорогостоящее оборудование.

FDM-технология позволяет преодолеть ценовой и технологический барьеры, но, в свою очередь, имеет ограничения по размерной точности моделей и применяемым материалам (нет возможности использовать высокопрочный пластик с добавками). Коммерческая составляющая этого процесса достаточно подробно рас-

Подготовка и проведение испытаний

Для производства литейных моделей из ABS и PLA (стандартная нить) использовалась наиболее распространенная модель 3D-принтера - Makerbot Replicator 2. За базовые параметры печати были выбраны следующие: плотность печати (процент заполнения) - 15 %; толщина слоя - 0,15 мм; скорость подачи нити - 75 мм/с; скорость перемещения печатающей головки - 120 мм/с; температура подогрева стола - 230 °С.

Температурный режим подогрева стола и скорость печати выбирались исходя из показателей качества поверхности модели. Объем заполнения варьировался для различных вариантов 3D-печати в диапазоне от 15 до 30 %. Его увеличение не приводило к существенному повышению качества моделей, но значительно увеличивало время печати. Исходные образцы для испытаний представлены на рис. 1.

Отдельные модели подвергались постобработке дихлорметаном, что позволяло добиться высокого качества поверхности моделей. Для создания защитного износостойкого слоя модели дополнительно окрашивались воздушным напылением (в

смотрена в диссертации [11]. При этом на открытом рынке в качестве расходных нитей из ABS и PLA присутствуют только пластики со стандартными свойствами, упрочненные добавками нити в настоящее время практически отсутствуют. Функциональными свойствами пластика здесь являются повышенная прочность к деформациям, ударам, высокий диапазон температур эксплуатации (от -40 до +90°С), устойчивость к воздействию агрессивных химических веществ (кислот и щелочей, применяемых в литейном производстве), экологическая чистота.

Авторы в работе [12] включили в технологический процесс изготовления модельной оснастки первоначальное производство модели-эталона (мастер-модели) с использованием аддитивных технологий для дальнейшего производства промодели отливки и рабочих моделей, что оказалось экономически оправданным.

один слой толщиной примерно 0,15 мм) акриловой краски (1-й вариант) или двухкомпонентного покрытия на основе полиуретановой смолы со специальными износостойкими добавками (2-й вариант). Существенных проблем с адгезией защитного покрытия не было выявлено. Для более качественного нанесения требуется предварительная обработка поверхности, в том числе с использованием специальной грунтовки для пластика.

Для постановки эксперимента была воспроизведена реальная ситуация вибрационной формовки модели в опоке с песчаной смесью. Принципиальная схема установки для испытаний представлена на рис. 2. Состав песчаной смеси, максимально приближенный к реальному формовочному составу для ХТС-технологии, был следующим: SiO₂ (диоксид кремния) - 98,5 % (всего); Al₂O₃ (оксид алюминия) - 0,25 %; Fe₂O₃ (оксид железа) - 0,10 %; K₂O+Na₂O (оксиды калия и натрия) - < 0,1 %; MgO+CaO (оксиды магния и кальция) - < 0,9%; другие компоненты - < 0,5 % (форма зерен песка - округлая). Размер частиц формовочного песка был следующим:

0,2; 0,3; 0,4; 0,6 мм. Состав подбирался индивидуально (преимущественно в равных пропорциях) по размеру частиц через лабораторные сита. Твердость песка по шкале Мора составляла 6,2...7,4 единицы. Таким образом, основа песчаной смеси

наиболее близко соответствовала марке 2K₂O₂O₂₅ (2K₂O₂O₃) по ГОСТ 2138-91. Перед использованием песок подвергался термической обработке при 150°C для сушки и обезвоживания.



Рис. 1. Литейные полумодели (ABS, PLA) корпуса запорной арматуры, полученные с использованием 3D-принтера Makerbot Replicator 2

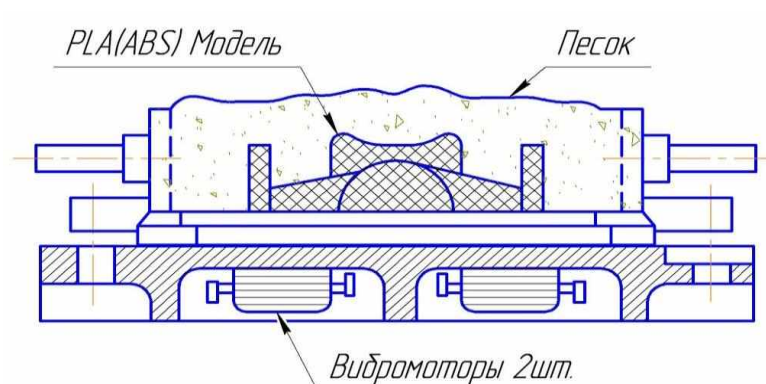


Рис. 2. Схема установки для испытаний на абразивный износ пластиковых литейных моделей

Испытания заключались во временном вибрационном воздействии на систему «литейная модель - формовочный песок» в замкнутом объеме, ограниченном опкой. Вибрационное воздействие выполня-

лось за счет двух вибромоторов (рис. 2), закрепленных снизу модельной плиты. При их работе осуществлялся динамический контакт модели с песком и его объемное перемешивание. Поскольку в фор-

мовочной смеси отсутствовало связующее, то уплотнения песка не происходило, однако, как показала практика, под воздействием вибрации частицы песка с наибольшим размером оседали в нижней части опоки, поэтому требовалось периодическое ручное перемешивание песка.

В условиях реального производства такое вибрационное воздействие (для ХТС) имеет длительность 5...15 секунд. Данного цикла механических колебаний вполне достаточно для уплотнения формовочной смеси и набора прочности.

Разработанная установка была снабжена возможностью регулировки частоты вращения вибромоторов (в диапазоне

450...1200 оборотов в минуту) за счет использования частотных регуляторов. Таким образом, имеется возможность регулировать вынужденную центробежную силу в диапазоне 200...500 Н.

Износ пластиковых моделей измерялся в трех различных вариантах: износ поверхности модели (рис. 3), массовый износ (рис. 4) и оценка в локальных областях модели (рис. 5). За один цикл принималось вибрационное воздействие в течение 10 секунд, что соответствует одной формовке (съёму модели). Выбранная длительность испытаний составляла 2000 циклов, или 5,5 ч. При этом испытывались сразу 4 полумодели, закрепленные на виброплите.

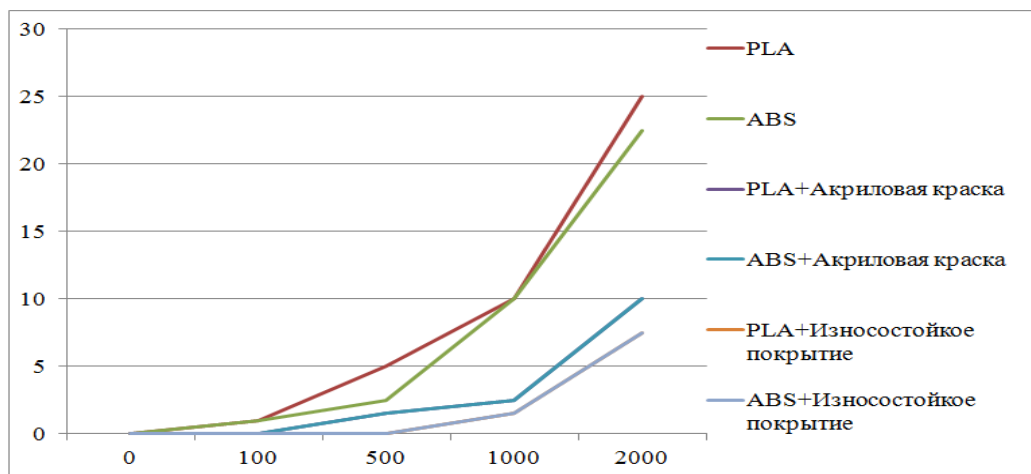


Рис. 3. Износ поверхности литейных моделей, % (0-2000 циклов)

Величина износа поверхности литейных моделей (рис. 3) определялась в % от общей поверхности путем измерения локального износа с использованием магнитной индикаторной стойки по 10-12 характерным и заранее выбранным точкам на поверхности пластиковой модели. Такой метод является достаточно относительным, поскольку обеспечить высокую точность измерений весьма затруднительно. Также необходимо учитывать, что модель изнашивается неравномерно в различных участках, т.е. для другой геометрии модели картина износа может существенно отличаться. При всех недостатках такой метод позволяет отследить динамику износа в зависимости от количества циклов съёма.

Локальные участки износа выявлялись визуально по следам наиболее интен-

сивной деструкции лакокрасочного покрытия модели. При этом они относились в основном на области модели, имеющие наиболее замкнутое пространство (внешние карманы), поскольку песок там задерживается и имеет только ограниченную возможность свободно перемещаться, что хорошо соотносится с результатами в работе [13].

Массовый износ (рис. 4) определялся методом прямого взвешивания моделей на электронных весах через каждые 250 циклов испытаний. Здесь также полученные результаты можно оценивать только в сравнении, поскольку вес моделей достаточно мал, а точность измерения составляла порядка 0,025 г.

О динамике линейного износа локальных участков поверхности напечатан-

ных моделей можно судить по рис. 5. Измерения проводились исключительно для зон активного износа (2-3 точки) с использованием магнитной индикаторной стойки (в вертикальном направлении). Другие участки поверхности могут оставаться в исходном состоянии, т.е. не подвергаться

износу при тех же условиях вибрационного воздействия.

Применяемые методики испытаний были адаптированы из работ [14; 15], в которых также исследовался локальный и массовый износ материалов, имеющих структурную неоднородность поверхностного слоя.

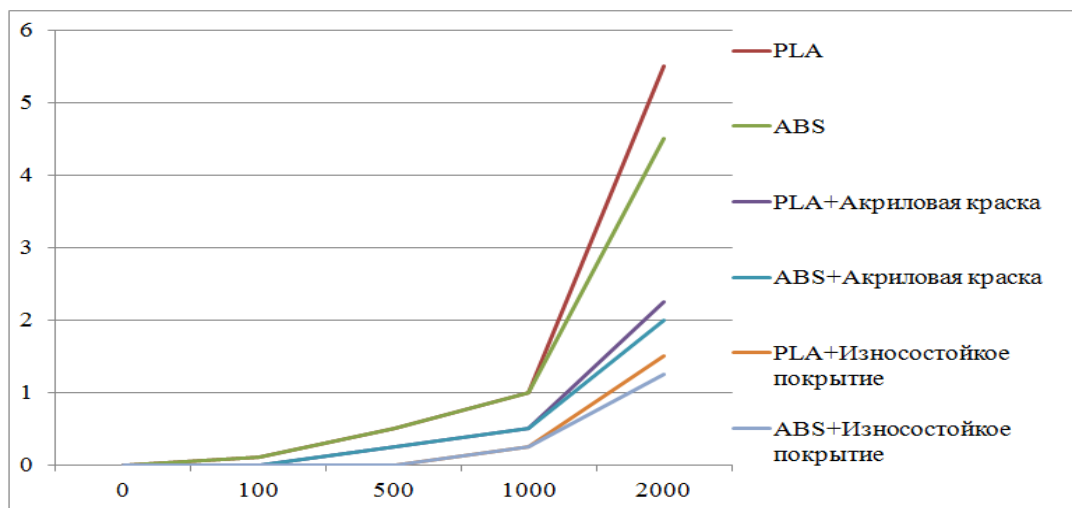


Рис. 4. Массовый износ литейных моделей, % (0-2000 циклов)

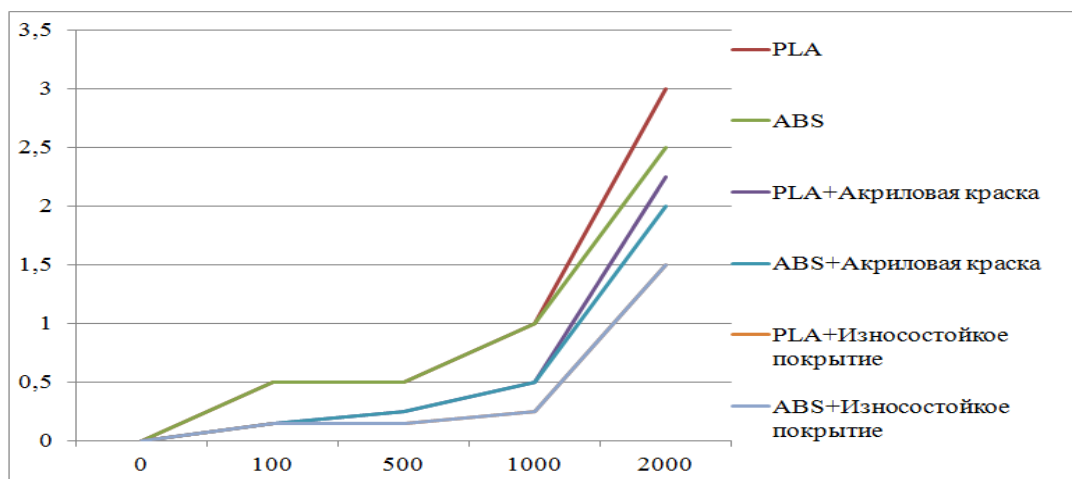


Рис. 5. Линейный износ поверхности литейных моделей, мм (0-2000 циклов)

Обсуждение результатов

Всего было испытано около 20 разных моделей из стандартного ABS- и PLA-пластика (при различных условиях вибрационного уплотнения и размерах частиц песка), напечатанных при различных технологических параметрах.

Полученные данные подтвердили идею авторов работы [16] о том, что тех-

нологические параметры 3D-печати полу-моделей для получения отпечатков в песчаной форме существенно отличаются от параметров 3D-печати для технологий ЛВМ и ЛГМ.

Чтобы избежать ускоренного износа модели при формовке, необходимо использовать метод наиболее плотной 3D-

печати (плотность печати, или процент заполнения, - 15...30 % в начальных установках; было выявлено, что дальнейшее увеличение плотности положительно не влияет на сопротивление износу). Наиболее оптимальные параметры печати: скорость подачи нити - 60...90 мм/с; скорость перемещения печатающей головки - 120 мм/с; температура подогрева стола - 230 °С; толщина каждого слоя - < 0,2 мм (должна быть как можно меньше, поскольку это будет обеспечивать высокое качество внутренней адгезии материала модели).

Необходимо отметить, что модели с низкой плотностью печати изнашивались с большей интенсивностью. При этом защитный лакокрасочный слой выполнял свои защитные функции, однако после его разрушения износ модели существенно ускорился.

Отдельно следует отметить выявленную динамику износа элементов типа «внешний плоский угол». Так, если в исходной напечатанной модели радиус скругления для плоского угла составлял 0,25 мм, то уже после 500 циклов нагружения это значение было 0,6 мм, а после 2000 циклов - 1...1,2 мм.

Следует заметить, что все измерения износа полумоделей исследуемого корпуса арматуры (который имеет достаточно сложную геометрию в виде композиции из тел вращения) не стоит однозначно переносить на модельную оснастку другой геометрии, поскольку, как было выявлено, форма поверхности имеет решающее значение при сопротивлении износу.

Выводы

1. Разработана испытательная техника для изучения износа пластиковых литейных моделей, полученных по аддитивной технологии FDM. Отличительной особенностью установки является возможность регулировки интенсивности вибрационного воздействия на исследуемые модели.

2. Предложена методика, которая позволяет испытать пластиковые модели, полученные с использованием аддитивных технологий, на абразивный износ.

В работе [17] авторы приводят данные по армированию биокompозитов (в том числе ABS и PLA) джутовым волокном. Данная композиция, обработанная Силаном-2, показала наилучшее сцепление с волокнистой матрицей и проявила максимальное сопротивление к абразивному износу, по своей механической природе близкому к литейному производству. Однако использование такой композиции в составе аддитивных технологий при послойном нанесении может быть не так эффективно, поскольку волокнистая джутовая матрица не будет полноценно формироваться.

В работе [18] авторы предложили упрочнение поверхностного слоя ABS-пластика путем внедрения частиц оксида алюминия при высокоэнергетической струйной обработке поверхности при комнатной температуре. Данный метод существенно повышает износостойкость, однако на практике он затруднителен, так как предполагает использование высокотехнологичного оборудования. Второй способ - это химическая обработка поверхности напечатанной модели при высокой температуре, когда пластик значительно размягчается. Данный метод интересен, но также имеет недостатки, которые могут привести к недопустимому короблению модели.

Разъемные модели должны быть качественно скреплены между собой только механическим способом, поскольку термосклеивание или специальные клеи не дают высоких прочностных характеристик соединения.

3. Сформулированы практические предложения по изготовлению мастер-моделей с использованием FDM-технологии, позволяющие достичь показателей долговечности, превышающих 2000 циклов формовки в песчаной смеси.

Будущие исследования будут посвящены задачам оценки качества отливок, полученных по отпечаткам в форме, выполненным по пластиковым моделям, напечатанным на 3D-принтере.

Было установлено, что использование клеевого соединения для сборки пластиковых литейных моделей не является эффективным, поскольку уже после 200 циклов формовки оно активно разрушается. Наиболее оптимальным способом сборки моделей из нескольких частей является использование металлических штифтов и резьбовых соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Singh, S. Precision investment casting: A state of art review and future trends / S. Singh, R. Singh // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2016. – Т. 230. – № 12. – С. 2143-2164.
2. Ravi, B. SMART Foundry 2020 / B. Ravi // IEEE Potentials. – 2016. – Т. 35. – № 4. – С. 29-32.
3. Bourell, D.L. Roadmap for additive manufacturing: identifying the future of freeform processing / D.L. Bourell, M.C. Leu, D.W. Rosen. - The University of Texas at Austin, 2009. – С. 11-15.
4. Леушин, И.О. Применение RP-технологии для изготовления малогабаритной оснастки в мелкосерийном производстве литья / И.О. Леушин, В.А. Решетов, А.Д. Романов, А.А. Большаков // Известия Московского государственного технического университета «МАМИ». - 2013. - Т. 2. - № 2. - С. 229-232.
5. Kumar, P. Effect of process parameters on surface roughness of hybrid investment casting / P. Kumar, I.S. Ahuja, R. Singh // Progress in Additive Manufacturing. – 2016. – Т. 1. – № 1-2. – С. 45-53.
6. Harun, W.S.W. Characteristic studies of collapsibility of ABS patterns produced from FDM for investment casting / W.S.W. Harun [et al.] // Materials Research Innovations. – 2009. – Т. 13. – № 3. – С. 340-343.
7. Olkhovik, E.O. Use of additive technologies for practical working with complex models for foundry technologies / E.O. Olkhovik, A.A. Butsanets, A.A. Ageeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Т. 140. – № 1.
8. Ольховик, Е.О. Исследование формирования размерной точности моделей для литейного производства, выполненных методом аддитивной технологии / Е.О. Ольховик, А.А. Бучанец, А.А. Агеева // Научные исследования в машиностроении. – 2016. – № 12. – С. 3-9.
9. Piekło, J. Methods of Additive Manufacturing used in the Technology of Skeleton Castings / J. Piekło, M. Maj // Archives of Metallurgy and Materials. – 2014. – Т. 59. – № 2. – С. 699-702.
10. Ольховик, Е.О. Применение методов топологической оптимизации при разработке литейной технологии / Е.О. Ольховик, В.В. Десницкий // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2016. – Т. 14. – № 4. – С.27-35.
11. Gullapalli, R.A. A Study of Mixed Manufacturing Methods in Sand Casting Using 3D Sand Printing and FDM Pattern-making Based on Cost and Time / R.A. Gullapalli. – Youngstown State University, 2016.
12. Нелюб, И.А. Особенности и преимущества применения современных пластполимерных материалов для изготовления модельной оснастки / И.А. Нелюб, П.А. Кушель, С.Л. Ровин // Литьё и металлургия. – 2010. – № 4 (58) . – С.36-39.
13. Almaghariz, E.S. Quantifying the role of part design complexity in using 3D sand printing for molds and cores / E.S. Almaghariz [et al.] // International Journal of Metalcasting. – 2016. – Т. 10. – № 3. – С. 240-252.
14. Булгаков, В.П. Втулка шарнира черпаковой цепи земснаряда из двухслойной борированной стали / В.П. Булгаков, С.С. Уксусов, Л.А. Цапко // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. - 2015. - №4 (32). - С. 153-157.
15. Булгаков, В.П. Влияние химической неоднородности отливки поршня из сплава АК12М2МГН (АЛ25) на задиробразование в цилиндропоршневой группе / В.П. Булгаков, Ю.В. Чеботарев, И.Н. Рубан // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 5(39). – С. 151-158.
16. Gorski, F. Application of Polystyrene Prototypes Manufactured by FDM Technology for Evaporative Casting Method / F. Gorski, W. Kuczko, R. Wichniarek, P. Bun, P. Szymanski // MM (Modern Machinery) Science Journal. – 2017. – С. 1729-1733.
17. Goriparthi, B.K. Effect of fiber surface treatments on mechanical and abrasive wear performance of polylactide/jute composites / B.K. Goriparthi, K.N.S. Suman, N.M. Rao // Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2012. – Т. 43. – № 10. – С. 1800-1808.
18. Getu, H. Reduction of particle embedding in solid particle erosion of polymers / H. Getu, J.K. Spelt, M. Papini // Wear. – 2011. – Т. 270. – № 11. – С. 922-928.

1. Singh, S. Precision investment casting: A state of art review and future trends / S. Singh, R. Singh // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2016. – Т. 230. – № 12. – С. 2143-2164.
2. Ravi, B. SMART Foundry 2020 / B. Ravi // IEEE Potentials. – 2016. – Т. 35. – № 4. – С. 29-32.
3. Bourell, D.L. Roadmap for additive manufacturing: identifying the future of freeform processing / D.L. Bourell, M.C. Leu, D.W. Rosen. - The University of Texas at Austin, 2009. – С. 11-15.
4. Leushin, I.O. RP-technique application for manufacturing compact equipment in small-batch production of foundry / I.O. Leushin, V.A. Reshetov, A.D. Romanov, A.A. Bolshakov // *Proceedings of Moscow State Technical University "MAMI"*. – 2013. – Vol. 2. – No.2. – pp. 229-232.
5. Kumar, P. Effect of process parameters on surface roughness of hybrid investment casting / P. Kumar, I.S. Ahuja, R. Singh // *Progress in Additive Manufacturing*. – 2016. – Т. 1. – № 1-2. – С. 45-53.
6. Harun, W.S.W. Characteristic studies of collapsibility of ABS patterns produced from FDM for investment casting / W.S.W. Harun [et al.] // *Materials Research Innovations*. – 2009. – Т. 13. – № 3. – С. 340-343.
7. Olkhovik, E.O. Use of additive technologies for practical working with complex models for foundry technologies / E.O. Olkhovik, A.A. Butsanets, A.A. Ageeva // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2016. – Т. 140. – № 1.
8. Olkhovik, E.O. Investigation of pattern dimension accuracy formation for foundry carried out by method of additive techniques / E.O. Olkhovik, A.A. Butsanets, A.A. Ageyeva // *Science Intensive Techniques in Mechanical Engineering*. – 2016. – No.12. – pp. 3-9.
9. Piekło, J. Methods of Additive Manufacturing used in the Technology of Skeleton Castings / J. Piekło, M. Maj // *Archives of Metallurgy and Materials*. – 2014. – Т. 59. – № 2. – С. 699-702.
10. Olkhovik, E.O. Application of topological optimization methods at foundry techniques development / E.O. Olkhovik, V.V. Desnitsky // *Bulletin of Novosov State Technical University of Magnitogorsk*. – 2016. – Vol. 14. – No.4. – pp. 27-35.
11. Gullapalli, R.A. A Study of Mixed Manufacturing Methods in Sand Casting Using 3D Sand Printing and FDM Pattern-making Based on Cost and Time / R.A. Gullapalli. – Youngstown State University, 2016.
12. Nelyub, I.A. Peculiarities and advantages in application of modern plastic-polymeric materials for manufacturing pattern equipment / I.A. Nelyub, P.A. Kushel, S.L. Rovin // *Foundry and Metallurgy*. – 2010. – No.4. (58). – pp. 36-39.
13. Almaghariz, E.S. Quantifying the role of part design complexity in using 3D sand printing for molds and cores / E.S. Almaghariz [et al.] // *International Journal of Metalcasting*. – 2016. – Т. 10. – № 3. – С. 240-252.
14. Bulgakov, V.P. Two-layer borated steel joint bush of dradger ladle chain / V.P. Bulgakov, S.S. Uksusov, L.A. Tsapko // *Bulletin of Admiral Makarov State University of Navy and Inland Water Transport*. – 2015. – No.4(32). – pp. 153-157.
15. Bulgakov, V.P. Influence of chemical heterogeneity of piston cast made of alloy AK12M2MGN (AL25) upon scratch formation in cylinder-piston group / V.P. Bulgakov, Yu.V. Chebotaryov, I.N. Ruban // *Bulletin of Admiral Makarov State University of Navy and Inland Water Transport*. – 2016. – No.5(39). - pp. 151-158.
16. Gorski, F. Application of Polystyrene Prototypes Manufactured by FDM Technology for Evaporative Casting Method / F. Gorski, W. Kuczko, R. Wichniarek, P. Bun, P. Szymanski // *MM (Modern Machinery) Science Journal*. – 2017. – С. 1729-1733.
17. Goriparthi, B.K. Effect of fiber surface treatments on mechanical and abrasive wear performance of polylactide/jute composites / B.K. Goriparthi, K.N.S. Suman, N.M. Rao // *Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2012. – Т. 43. – № 10. – С. 1800-1808.
18. Getu, H. Reduction of particle embedding in solid particle erosion of polymers / H. Getu, J.K. Spelt, M. Papini // *Wear*. – 2011. – Т. 270. – № 11. – С. 922-928.

Статья поступила в редколлегию 21.07.17.

Рецензент: д.т.н., профессор Санкт-Петербургского политехнического университета
В.В. Десницкий

Сведения об авторах:

Ольховик Евгений Олегович, к.т.н., доцент кафедры «Основы инженерного проектирования» Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, e-mail: olhovick@gmail.com.

Olkhovik Evgeny Olegovich, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Fundamentals of Engineering Design", Admiral Makarov State University of Navy and Inland Water Transport, e-mail: olhovick@gmail.com

УДК 621.71

DOI: 10.12737/article_5a337fbbafffe3.34523889

А.С. Ямников, О.А. Ямникова, И.А. Матвеев, Е.Н. Родионова

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПОЛОЖЕНИЯ СТЫКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СБОРНОГО ОСЕСИММЕТРИЧНОГО КОРПУСА НА ПОГРЕШНОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Показано влияние погрешностей положения стыковых поверхностей собираемых деталей протяженного осесимметричного корпуса на погрешность положения исполнительных поверхностей. Определены параметры законов распределения погрешностей положения стыковых поверхностей базовой детали. Отмечена взаимосвязь параметров базовой детали и сборки, причем установлено, что

превалирующее влияние имеет торцовое биение. Обоснована необходимость коррекции технологии окончательной обработки торцов базовой детали.

Ключевые слова: погрешность положения, стыковые поверхности, базовая деталь, исполнительные поверхности, закон распределения погрешности, сборка.

A.S. Yamnikov, O.A. Yamnikova, I.A. Matveev, E.N. Rodionova

IMPACT OF POSITION ERROR OF COMPOSITE AXISYMMETRIC BODY JOINT SURFACES UPON POSITION ERROR OF EXECUTING SURFACES

In the paper a method for face runout verification in a base member with the use of a control stand is under consideration. A peculiarity of this method consists in that as a prism one uses rollers forming a prism imitation with the profile right angle in the contact with the part under testing. A preliminary measurement of face bearing runout has shown that it affects considerably measurement accuracy. To control a face runout a part tested is installed upon roller prisms and pressed to the contact of a special plug in its face with a fixed bearing at the level of the rotation axis that excludes the face runout impact of the passive end. A dial indicator is brought to the end controlled and at the base member rotation one defines through the indicator reading difference a runout value of the sample under

testing. According to the data obtained with the aid of Pearson's criterion a convergence of the theoretical and practical runout distributions is confirmed. Besides, there is considered a verification of the unit assembled in the structure of which is included a nozzle unit where a runout of the central hole requires measuring. The measurements carried out have shown the dependence between parameters of the distribution of runout frequency of the second end and a nozzle unit. In summary a conclusion is drawn on the necessity to update techniques of turning joint surface of the base member.

Key words: position error, joint surfaces, base member, executive surfaces, law of error distribution, assembly

Натурные испытания реактивных снарядов систем залпового огня показали, что технология изготовления и сборки оказывает существенное влияние на функционирование изделий [1]. Эти снаряды имеют сборные протяженные осесимметричные корпуса, составленные из нескольких секций, объединяемых с помощью резьбо-

вых замковых соединений, поэтому нами уделено внимание исследованию современного их производства [2-10]. Для проверки торцовых биений базовой детали применяется контрольный стенд (рис. 1).

Призмы выполнены в виде роликов, измеренные значения биений которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Фактические значения биений шариковых радиальных
однорядных подшипников марки 6-204 А

Номер ролика	Радиальное биение, мм	Торцовое биение, мм
1	0,01	0,015
2	0,01	0,015
3	0,01	0,02
4	0,01	0,015

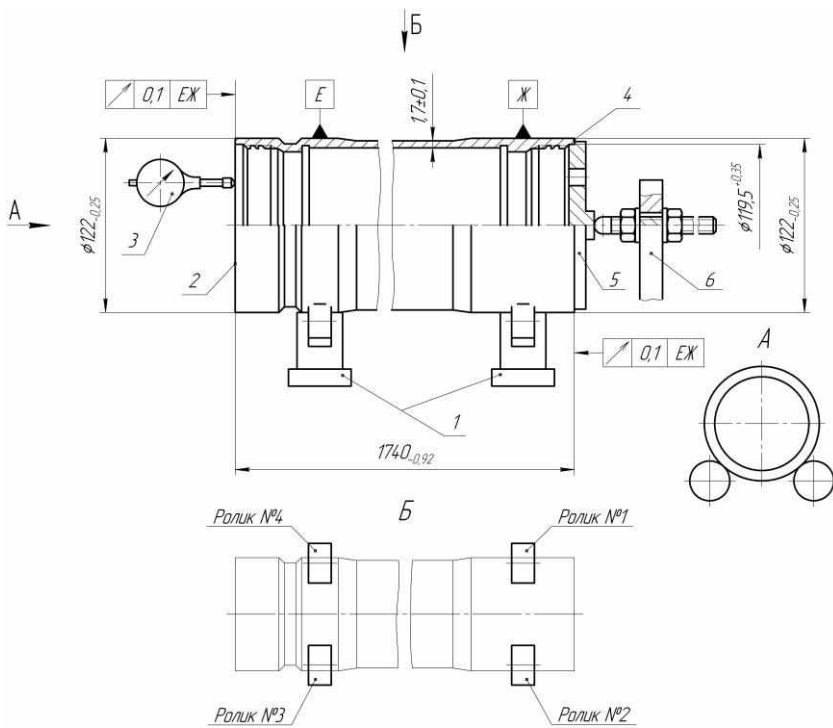


Рис. 1. Схема контроля биений торцов базовой детали: 1 – роликовые призмы; 2 – торец № 1; 3 – индикатор часового типа; 4 – торец № 2; 5 – заглушка; 6 – упор

Для контроля торцового биения базовая деталь устанавливается на роликовые призмы 1 и поджимается до контакта заглушки 5 с неподвижной опорой 6 (рис. 1). К контролируемому торцу 2 подводится индикатор часового типа 3, и при вращении базовой детали по разнице показаний индикатора судят о величине биения первого торца.

Для проверки биения второго торца 4 базовую деталь поворачивают на 180° и все действия повторяют по той же схеме. Итоги проверки параметров

биений базовой детали сведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры биений базовой детали

Параметр	Допуск	Фактическое значение	
		Минимальное	Максимальное
Биение торца 1	0,1	0,01	0,08
Биение торца 2	0,1	0,01	0,04

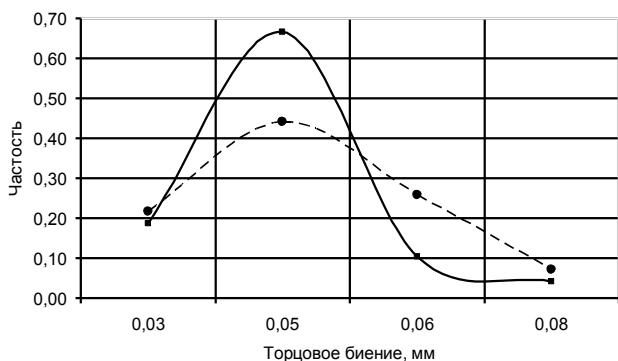


Рис. 2. Кривые распределения биения первого торца базовой детали

По данным табл. 2 построены экспериментальные графики (рис. 2, 3) распределения попадания биения в интервал (штриховая линия). На рисунках также показано теоретическое распределение (сплошная линия), параметры которого и

уровень согласования были рассчитаны по выборкам.

Сходимость теоретического и практического распределений биений подтверждена с помощью критерия Пирсона.

По заданному уровню значимости для биения первого торца $q = 0,013874644$ вычислено значение параметра $u = 2,0491 < U_{кр} = 9,21$, следовательно, гипотеза о законе распределения Рэлея принимается как не противоречащая опытным данным.

По заданному уровню значимости для биения второго торца $q = 0,013874644$ вычислено значение параметра $u = 2,04091 < U_{кр} = 9,21$, следовательно, гипотеза о законе распределения Рэлея

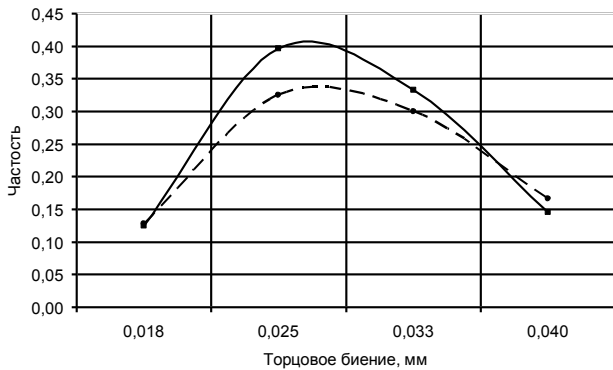


Рис. 3. Кривые распределения биения второго торца базовой детали

также принимается как не противоречащая опытным данным.

На рис. 4 показана схема контроля биения собранного узла с сопловым блоком, в котором задано биение центрального отверстия. В узел включены следующие элементы: 4 – переходное дно, 5 – базовая секция, 6 – переходная секция, 7 – сопловой блок. Узел центрирующими утолщениями А и Б устанавливается на роликовые

вые призмы 1 и 2, доводится до осевого упора 3.

В центральное отверстие соплового блока 7 вводят индикатор и по колебанию его стрелки судят о величине биения.

Были произведены замеры биения центрального отверстия соплового блока в партии из 122 сборок. Исследования показали, что торцовые биения в резьбовых замковых соединениях с упорной резьбой оказывают существенное влияние на радиальное биение удаленных от базовых поясков (центрирующих утолщений) деталей узла [4; 5; 8; 9].

Для выявления вида закона распределения исследуемых величин выборка была разбита на 10 интервалов, для каждого из которых была рассчитана частота попадания экспериментальных данных. В табл. 3 приведены параметры распределения экспериментальных значений биений соплового блока.

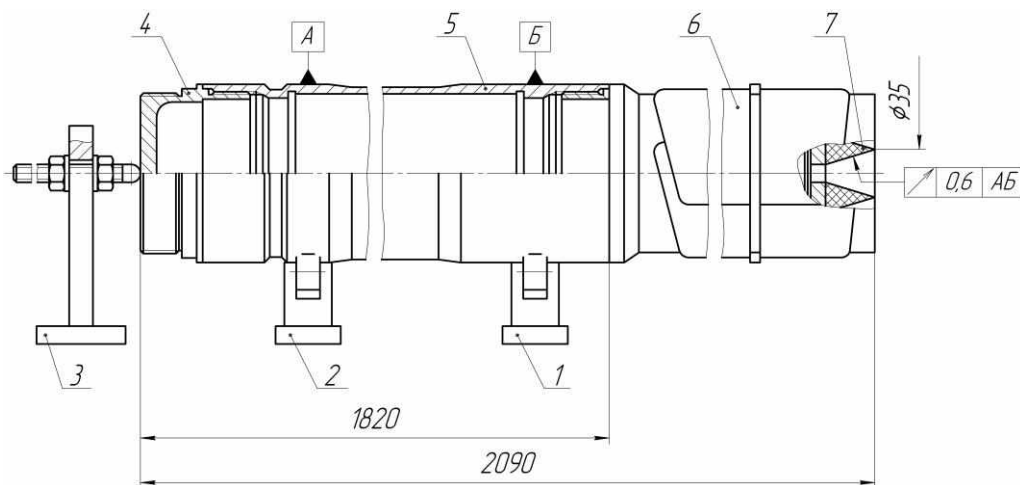


Рис. 4. Схема контроля биения центрального отверстия соплового блока в собранном узле: 1, 2 – роликовые призмы; 3 – упор в сборе; 4 – переходное дно; 5 – базовая секция; 6 – переходная секция; 7 – сопловой блок

К параметрам относятся границы интервалов и частоты появления значений исследуемой величины в заданном интервале.

По экспериментальным данным получены параметры закона распределения биения центрального отверстия соплового блока (закон Рэлея) и рассчитаны теоретические значения. Закон был проверен с

помощью критерия Пирсона. По заданному уровню значимости для биения центрального отверстия соплового блока $q = 0,0121076$ вычислено значение параметра $u = 7,4712518 < U_{кр} = 24,3$, следовательно, гипотеза о законе распределения Рэлея принимается как не противоречащая опытным данным.

Таблица 3

Результаты замеров биения соплового блока

№ интервала	Граница интервала для биения	Частота биения
1	0,14	0,180328
2	0,20	0,434426
3	0,25	0,196721
4	0,30	0,147541
5	0,36	0,02459
6	0,41	0
7	0,46	0
8	0,52	0
9	0,53	0,008197
10	0,54	0,008197

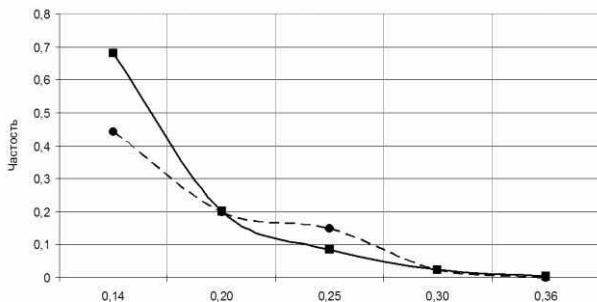


Рис. 5. Кривые распределения биения соплового блока в собранном узле

На рис. 5 приведены результаты аппроксимации эмпирических данных теоретическими зависимостями.

Сопоставление параметров распределения частоты величины биения второго торца (рис. 3) и соплового блока (рис. 5) показывает, что они коррелируют. Причем величина биения соплового блока больше,

чем величина биения второго торца, примерно во столько же раз, во сколько длина соплового блока больше диаметра второго торца (с учетом дополнительных погрешностей из-за введения дополнительных звеньев размерных цепей) [4; 5]. Это вызывает необходимость совершенствования технологии токарной обработки базовых поверхностей тонкостенной корпусной детали [10].

Выводы:

1. Подтверждено превалирующее влияние торцового биения стыковых поверхностей базовой детали на биение центрального отверстия соплового блока.

2. Выявлено, что биение центрального отверстия соплового блока подчиняется закону Рэлея, и вычислены параметры закона распределения биения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние технологических отклонений при изготовлении РС РСЗО на их рассеивание при стрельбе / А.А. Редько, С.А. Полторыхин, С.А. Кудрявцев, И.Л. Косарев // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. - 2008. - № 1. - С. 32-35.
2. Матвеев, И.А. Технологическая наследственность в прогрессивной технологии изготовления протяженных осесимметричных корпусов / И.А. Матвеев, А.С. Ямников // Механика - XXI век: материалы XV ВНТК. - Братск: БрГУ, 2016. - С. 119-124.
3. Ямников, А.С. Погрешность закрепления при консольном закреплении тонкостенной трубной заготовки, имеющей исходную овальность / А.С. Ямников, О.А. Ямникова, А.В. Киселев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2016. - № 1 (315). - С. 90-96.
4. Илюхин, А.Ю. Специфика сборки соединений с избыточными связями / А.Ю. Илюхин, А.С. Ямников // Сборка в машиностроении, приборостроении. - 2008. - № 4. - С. 27-29.
5. Матвеев, И.А. Влияние избыточных связей замковых соединений на точность автоматизированной сборки / И.А. Матвеев, А.В. Киселев, А.С. Ямников // Вестник ТулГУ. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сб. науч. тр. МНТК «АПИР-19» (13-14 сент. 2014 г.) - Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. - С. 90-93.
6. Ямников, А.С. Обеспечение точности изготовления тонкостенных осесимметричных корпусов сложного профиля: монография / А.С. Ямников, А.О. Чуприков, И.А. Матвеев. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. - 208 с.
7. Матвеев, И.А. Повышение точности изготовления корпусов реактивных двигателей / И.А. Матвеев, А.С. Ямников, О.А. Ямникова // Аэро-

- космическая техника, высокие технологии и инновации. - Пермь: ПНИУ, 2016. - Т. 1. - С. 94-98.
8. Васильев, А.С. Функционально связанные сборочные размерные цепи, обеспечивающие нормированный контакт поверхностей / А.С. Васильев, В.М. Грязев, А.С. Ямников // Сборка в машиностроении, приборостроении. - 2012. - № 5 (142). - С. 36-40.
 9. Ямников, А.С. Влияние деформаций тонкостенных резьбовых деталей на точность сборки /
1. Technological deviation impact at manufacturing missiles RSZO upon their scatter at firing / A.A. Redko, S.A. Poltorykhin, S.A. Kudryavtsev, I.L. Kosarev // *Ammunition and High-Energy Condensed Systems*. - 2008. - No.1. - pp. 32-35.
 2. Matveev, I.A. Technological inheritance in efficient technology of manufacturing long axisymmetric bodies / I.A. Matveev, A.S. Yamnikov // *Mechanics for the XXI-st century: Proceedings of the XV-th of Scientific-Tech. Conf. - Bratsk*: BrSU, 2016. - pp. 119-124.
 3. Yamnikov, A.S. Error in fastening at console fastening light-wall pipe blank having initial ovality / A.S. Yamnikov, O.A. Yamnikova, A.V. Kiselyov // *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Techniques*. - 2016. - No.1 (315). - pp. 90-96.
 4. Ilyukhin, A.Yu. Assemblage specificity in joints with excess ties / A.Yu. Ilyukhin, A.S. Yamnikov // *Assemblage in Mechanical Engineering and Instrument Engineering*. - 2008. - No.4. - pp. 27-29.
 5. Matveev, I.A. Impact of excess ties of locking joints upon accuracy of automated assemblage / I.A. Matveev, A.V. Kiselyov, A.S. Yamnikov // *Bulletin of TulaSU. Automation: Problems, Ideas, Solutions: Proceedings of the MNTC "APIR-19"* (September 13-14, 2014) - Tula: Publishing House of TulaSU, 2014. - pp. 90-93.

- А.С. Ямников, В.В. Семин, В.М. Логунов // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 1991. - № 2. - С. 74-82.
10. Матвеев, И.А. Точность токарной обработки базовых поверхностей тонкостенной корпусной детали типа трубы / И.А. Матвеев, А.С. Ямников, О.А. Ямникова // Вестник современных технологий. - Донецк: ДНУ, 2016. - № 2 (2). - С. 56-62.
6. Yamnikov, A.S. *Accuracy Assurance at Manufacturing Light-Wall Axis-Symmetrical Bodies with Complex Profile*: monograph / A.S. Yamnikov, A.O. Chuprikov, I.A. Matveev. - Tula: Publishing House of TulaSU, 2017. - pp. 208.
 7. Matveev, I.A. Accuracy increase at manufacturing jet engine bodies / I.A. Matveev, A.S. Yamnikov, O.A. Yamnikova // *Aerospace Engineering, Science Intensive Techniques and Innovations*. - Perm: PRU, 2016. - Vol.1. - pp. 94-98.
 8. Vasiliev, A.S. Functionally connected assembly dimensional units ensuring rated contact of surfaces / A.S. Vasiliev, V.M. Gryazev, A.S. Yamnikov // *Assemblage in Mechanical Engineering and Instrument Engineering*. - 2012. - No.5. (142). - pp. 36-40.
 9. Yamnikov, A.S. deformation impact of light-wall threaded parts upon assemblage accuracy / A.S. Yamnikov, V.V. Semin, V.M. Logunov // *Problems of Mechanical Engineering and Machine Reliability*. - 1991. - No.2. - pp. 74-82.
 10. Matveev, I.A. Accuracy in turning basic surfaces of light-wall body part of pipe type / I.A. Matveev, A.S. Yamnikov, O.A. Yamnikova // *Bulletin of Current Techniques*. - Donetsk: DNU, 2016. - No.2 (2). - pp. 56-62.

Статья поступила в редколлегию 16.10.17.

Рецензент: д.т.н., профессор Тульского государственного технического университета
Протасьев В.Б.

Сведения об авторах:

Ямников Александр Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» Тульского государственного университета, г. Тула, тел. раб.: (4872) 25-46-48, дом: (4872) 48-67-38, e-mail: Yamnikovas@mail.ru.

Ямникова Ольга Александровна, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» Тульского государственного университета, тел. раб.: (4872) 25-46-48, дом: (4872) 48-67-38, e-mail: yamnikovaoa@mail.ru.

Yamnikov Alexander Sergeevich, D. Eng., Prof. of the Dep. "Engineering Techniques", Tula State University, e-mail: Yamnikovas@mail.ru.

Yamnikova Olga Alexandrovna, D. Eng., Prof. of the Dep. "Engineering Techniques", Tula State University, e-mail: yamnikovaoa@mail.ru.

Матвеев Иван Александрович, аспирант ТулГУ, нач. производств. участка АО «НПО «СПЛАВ» (г. Тула), тел. раб.: (4872) 25-46-48, дом: (4872) 50-53-72, e-mail: ivan_matveev@list.ru.

Родионова Елена Николаевна, аспирант ТулГУ, нач. измерит. лаборатории АО «НПО «СПЛАВ» (г. Тула), тел. раб.: (4872) 25-46-48, дом: (4872) 35-81-00, e-mail: en.rodionova.splav@yandex.ru.

Matveev Ivan Alexandrovich, Post graduate student, TulaSU Manufacture Chief of J-S Co. "SPC "ALLOY" (Tula), e-mail: ivan_matveev@list.ru.

Rodionova Elena Nikolayevna, Post graduate student, TulaSU, Head of Measurement Lab. of J-S Co. "SPC "ALLOY", e-mail: en.rodionova.splav@yandex.ru.

УДК 621.787.6.004

DOI: 10.12737/article_5a337fbc06cd34.89965584

А.В. Киричек, С.В. Баринов, А.В. Яшин, А.А. Зайцев, А.М. Константинов

ВОЛНОВОЕ ДЕФОРМАЦИОННОЕ МНОГОКОНТАКТНОЕ НАГРУЖЕНИЕ

Представлены данные о влиянии числа, геометрии, расположения инструментов в многоконтактной ударной системе на распределение микротвердости в поверхностном слое. Экспериментально установлена возможность многоконтактных ударных систем передавать в очаг деформации большую суммарную энергию ударного импульса. Показано, что производительность многоконтакт-

ных ударных систем может быть повышена на 50%, без ухудшения параметров упрочнения, за счет увеличения расстояния между инструментами с плоским типом торца.

Ключевые слова: ударный импульс, упрочнение, волна деформации, микротвердость, волновод, боек, ударная система.

A.V. Kirichek, S.V. Barinov, A.V. Yashin, A.A. Zaitsev, A.M. Konstantinov

WAVE DEFORMATION MULTI-CONTACT LOADING

The ongoing investigations are devoted to the study of the impact of a number, geometry, tool location in the multi-contact percussion system upon micro-hardness distribution in a surface layer. The investigations were carried out on the bench specially developed. As a result it is established that the application of tools with a flat end in comparison with the form of the end sharpened spherically with the same dimensions of areas with maximum micro-hardness allowed obtaining a strengthening depth by a factor of 2-2.5 times more. The increase of a distance between tools for a value equal to half their diameter allowed flat end indenters in comparison with the end sharpened spherically to

increase an area with maximum micro-hardness from 0.25 to 0.8 mm and to ensure complete strengthening the whole area under consideration. Without worsening strengthening parameters at the same impact energy the investigation data allow increasing by 50% the efficiency of strengthening treatment at the expense of the application of the multi-contact system in which tools with flat cutters are located at the distance from each other equal to half their diameter.

Key words: impact pulse, strengthening, deformation wave, micro-hardness, waveguide, striker, percussion system.

Введение

Повышение КПД ударных систем возможно за счет более полного использования энергии волн деформации. Это достигается путем подвода энергии ударного импульса в зону деформации через промежуточное звено - волновод. Такой подвод энергии непосредственно оказывает влияние на форму ударного импульса, определяющую долю энергии удара, затрачиваемую на упругопластическую деформацию.

Выполненные А.В. Киричком и Д.Л. Соловьевым исследования ударных систем с одним промежуточным звеном, формирующих пролонгированный ударный импульс, доказали эффективность их применения для решения широкого спектра задач в машиностроении [1; 9]. Полученные ранее данные теории упрочнения материала волной деформации применимы только для одноконтактных ударных систем, содержащих один инструмент стержневой

формы. Поэтому их использование для описания процессов распространения ударных импульсов при многоконтактных схемах нагружения затруднено.

Многоконтактные ударные системы обладают рядом достоинств по сравнению с одноконтактными в плане воздействия на полупространство [5-8]. Так, при установлении закономерностей распределения энергии ударных волн в изолированной среде нагружения в многоконтактных ударных системах в зависимости от типа, геометрических форм единичных инденторов и их числа выявлено, что [2]:

- увеличение эксцентриситета между осями симметрии волновода (или инструмента) и бойка способствует уменьшению доли энергии, передаваемой в очаг деформации;

- применение многоконтактных схем нагружения позволяет передавать в очаг

деформации большую суммарную энергию ударного импульса; при этом приходящаяся на каждый волновод доля энергии ударного импульса падает в многоконтактной схеме по сравнению с одноконтактной (для волноводов стержневой формы - на 20%, а для инструментов в форме шара - на 15%) при установке каждого следующего волновода (или инструмента) в ударную систему.

Полученные ранее данные об особенностях распределения энергии внутри

ударной системы не позволяют получить достаточно полное представление об одновременном воздействии на полупространство ударных импульсов, прошедших через многоконтактную ударную систему.

Целью данных исследований является установление взаимосвязи между распределением микротвердости в поверхностном слое и числом, геометрией, расположением инструментов в многоконтактной ударной системе.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились на специально разработанном экспериментальном стенде, позволяющем нагружать упрочняемую поверхность одновременно четырь-

мя инструментами. На рис. 1 представлена трехмерная модель стенда, дающая представление о его устройстве.

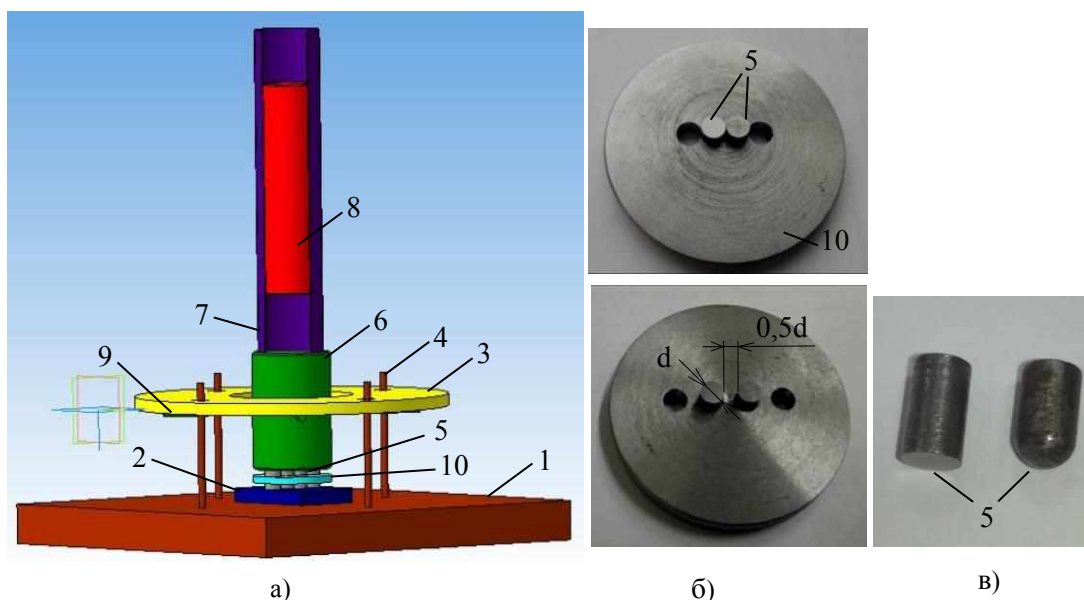


Рис. 1. Экспериментальный стенд: а - трехмерная модель стенда; б - примеры установки в сепараторе двух инструментов без зазора и на расстоянии, равном половине их диаметра ($0,5d$); в - типы инструментов (с плоским торцом и торцом, заправленным под сферу)

Экспериментальный стенд состоит из основания 1, на котором размещен нагружаемый образец 2. Инструменты (инденторы) 5 осуществляют многоконтактное нагружение образца 2. На нагружаемом образце 2 размещены инструменты 5, которыми создается предварительное статическое поджатие через волновод 6, поджимаемый к основанию 1 через упорные стержни 9, с помощью пластины 3 и винтов 4. Статическое поджатие необходимо для более полной передачи в очаг деформации энергии ударного импульса. Нагружение образца 2 ударными импульсами

происходит через волновод 6 с помощью бойка 8, который под действием гравитации свободно перемещается по направляющей 7.

Для реализации системы нагружения с промежуточным звеном использовались цилиндрический волновод диаметром 80 мм и длиной 100 мм и боек диаметром 50 мм и длиной 100 мм, изготовленные из стали 40Х. В качестве инструментов 5, деформирующего образец 2, поочередно применялись стержни диаметром 6 мм и длиной 10 мм двух геометрических типов: с плоским торцом и торцом, заправленным

под сферу. В ударной системе одновременно могут использоваться от одного до четырех инструментов. Точность размещения инструментов 5 между собой и на поверхности нагружаемого образца 2 контролируется с помощью сепаратора 10. Нагружаемый образец 2 размерами 100x100x16 мм изготовлен из сплава АМГ2 и имеет исходную микротвердость $H_{\mu}=50$ HV. Таким образом, упрочненной областью будут считаться участки, имеющие микротвердость, равную или превышающую 60 HV.

Для оценки влияния расстояния между инструментами в ударной системе на распределение микротвердости в поверхностном слое использовались разные виды сепараторов. Они позволяли располагать инструменты в одном случае непосредственно рядом друг с другом (без зазора), в другом - на расстоянии, равном половине их диаметра (0,5d). Сначала эксперимент проводился с использованием инструментов с плоской формой торца, затем - с формой торца, заправленного под сферу.

Исследование влияния числа, геометрии, расположения инструментов в многоконтактной ударной системе на распределение микротвердости в поверхностном слое

Исследование влияния числа и расположения инструментов с плоским торцом на распределение микротвердости в поверхностном слое

Сравнение эпюр распределения микротвердости после удара одним инструментом с плоским торцом (рис. 2а) и двумя такими же инструментами, расположенными без зазора (рис. 3а) и на расстоянии 0,5d друг от друга (рис. 4а), выявило, что установка второго индентора в обоих случаях привела к уменьшению в поверхностном слое максимального значения твердости ($H_{\mu_{\max}}$) с 90 HV до 80 HV. Глубина упрочнения (h_{\max}) при этом не изменилась и составила 7 мм.

Установка без зазора третьего инструмента (рис. 3б) не изменила величину $H_{\mu_{\max}}$ и привела лишь к уменьшению глубины упрочнения с 7 до 4,5 мм.

Увеличение расстояния между инструментами с плоским торцом на величину 0,5d и добавление третьего инструмента (рис. 4б) привело к повышению глубины

Вначале в ударную систему устанавливался один инструмент и производился удар. Затем эксперимент проводился с двумя, тремя и четырьмя инструментами. Во всех случаях удар бойка по волноводу наносился с одной и той же энергией 29,6 Дж. Эффективность ударной системы оценивалась посредством карт микротвердости. Микротвердость на глубине 0...7 мм определялась путем измерения микрошлифов в автоматическом режиме на цифровом стационарном твердомере KB30S. Микрошлифы подготавливались на программируемом шлифовально-полировальном станке LS250A в автоматическом режиме. Исследования проводились на базе научно-производственной лаборатории волнового деформационного и комбинированного упрочнения в аддитивных и субтрактивных технологиях Брянского государственного технического университета.

упрочнения с 4,5 до 6 мм и не вызвало изменения величины $H_{\mu_{\max}}$ (80 HV) и толщины области с максимальной микротвердостью ($h=0,25$ мм).

Установка в ударную систему четвертого инструмента без зазора (рис. 3в) привела к повышению максимального значения твердости с 80 HV до 90 HV и толщины данной области с 0,25 до 0,6 мм. Глубина упрочнения при этом также выросла с 4,5 до 5,5 мм.

Добавление четвертого инструмента и увеличение расстояния между инструментами на величину 0,5d (рис. 4в) снизило величину $H_{\mu_{\max}}$ с 90 HV до 80 HV, но при этом толщина области с максимальным упрочнением выросла с 0,6 до 0,8 мм, а общая глубина упрочнения - с 5,5 до 7 мм.

Исследование влияния числа и расположения инструментов с торцом, заправленным под сферу, на распределение микротвердости в поверхностном слое

Сравнение эпюр распределения микротвердости после удара одним инструментом с торцом, заправленным под сферу (рис. 2б), и двумя такими же инструментами, расположенными без зазора (рис. 5а), выявило, что установка второго индентора привела к уменьшению максимального значения микротвердости в поверхностном слое ($H_{\mu\max}$) с 90 HV до 80 HV и толщины области с максимальным упрочнением с 0,65 до 0,25 мм. Глубина упрочнения при этом также снизилась с 3 до 2 мм.

Увеличение расстояния между двумя инструментами с торцом, заправленным под сферу, на величину $0,5d$ (рис. 6б) привело к повышению максимального значения микротвердости с 80 HV до 90 HV и глубины упрочнения с 2 до 3,5 мм.

Установка без зазора трёх инструментов (рис. 5б) позволила повысить и $H_{\mu\max}$ (с 80 HV до 90 HV), и толщину области с максимальным упрочнением (с 0,25 до 0,7 мм), и общую глубину упрочнения (с 2 до 2,5 мм).

Увеличение расстояния между тремя инструментами с торцом, заправленным под сферу (рис. 6б), на величину $0,5d$ привело к формированию после удара под каждым инструментом локальных упрочненных зон с $H_{\mu\max}$, которые не перекрываются между собой и не формируют единой упрочненной области. Это вызвало уменьшение и максимального значения микротвердости (с 90 HV до 70 HV), и толщины участков с максимальным упрочнением (с 0,7 до 0,25 мм), и глубины упрочнения (с 2,5 до 2 мм).

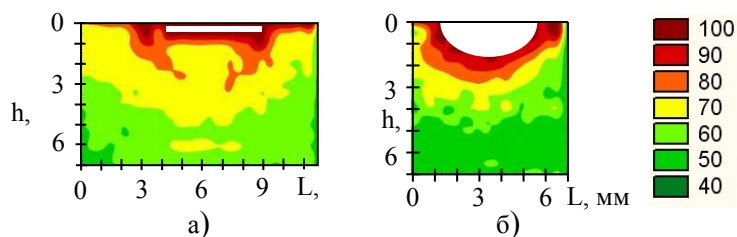


Рис. 2. Эпюры распределения микротвердости (HV) в поверхностном слое после одиночного удара инструментом: а - с плоским торцом; б - с торцом, заправленным под сферу

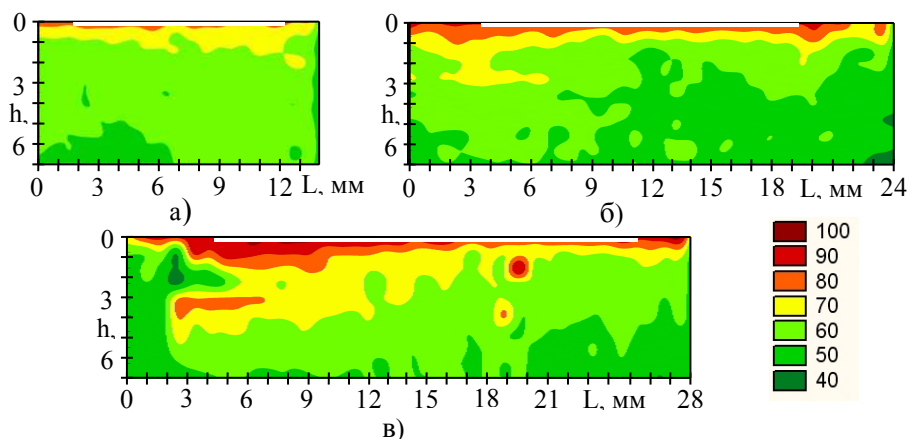


Рис. 3. Эпюры распределения микротвердости (HV) в поверхностном слое после удара двумя (а), тремя (б), четырьмя (в) расположенными рядом инструментами с плоским торцом

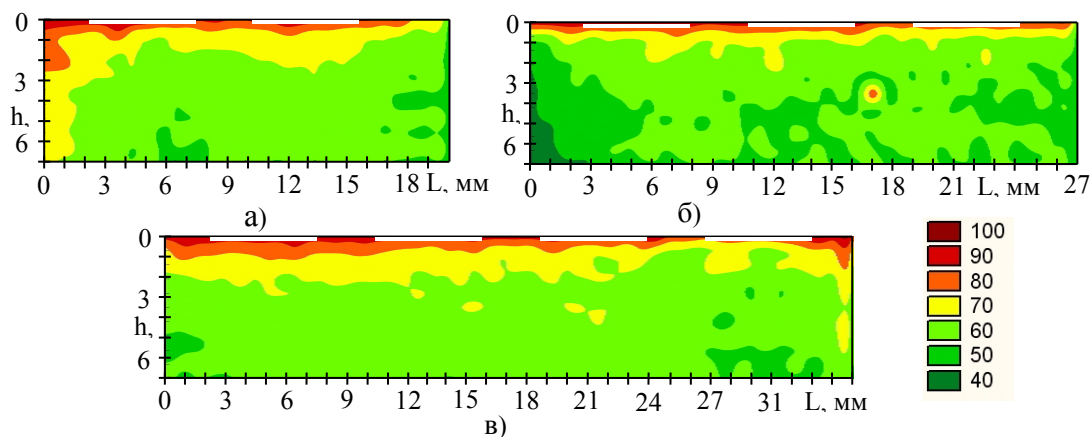


Рис. 4. Эпюры распределения микротвердости (HV) в поверхностном слое после удара двумя (а), тремя (б), четырьмя (в) инструментами с плоским торцом, расположенными на расстоянии $0,5d$

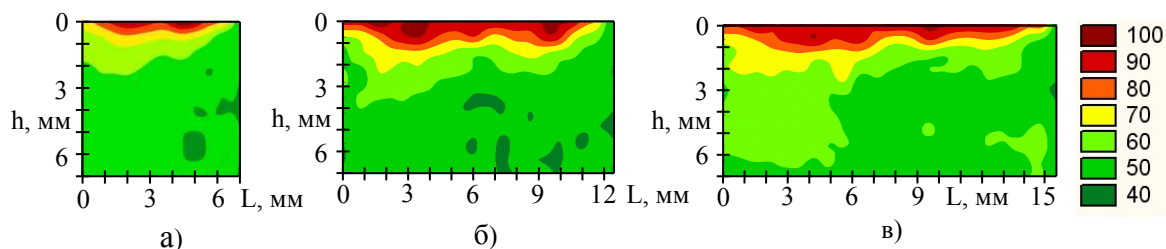


Рис. 5. Эпюры распределения микротвердости (HV) в поверхностном слое после удара двумя (а), тремя (б), четырьмя (в) расположенными рядом инструментами с торцом, заправленным под сферу

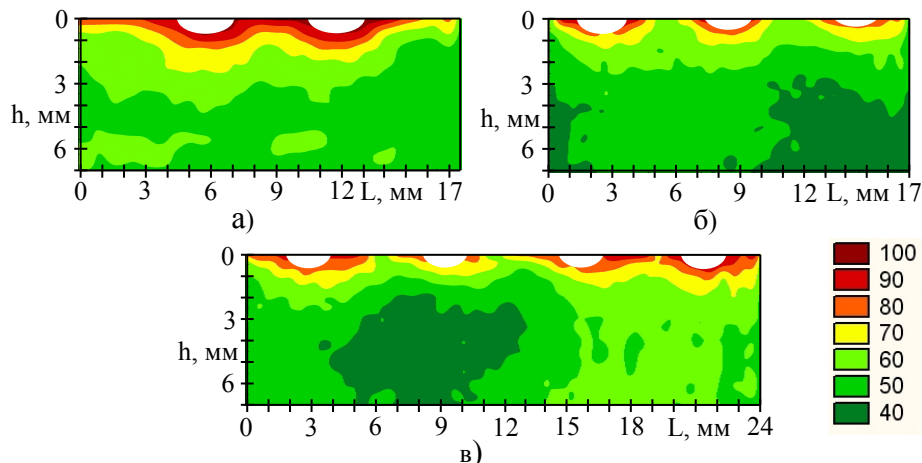


Рис. 6. Эпюры распределения микротвердости (HV) в поверхностном слое после удара двумя (а), тремя (б), четырьмя (в) инструментами с торцом, заправленным под сферу, расположенными на расстоянии $0,5d$

Установка без зазора четвертого инструмента (рис. 5в) не изменила величину $H_{\mu\max}$ (90 HV) и привела лишь к уменьшению глубины упрочнения с 2,5 до 2 мм.

Увеличение расстояния между четырьмя инструментами с торцом, заправленным под сферу (рис. 6в), на величину $0,5d$ привело к формированию после удара под каждым инструментом локальных упрочненных зон с $H_{\mu\max}$, которые не пе-

рекрываются между собой и не формируют единой упрочненной области. Это вызвало уменьшение и максимального значения микротвердости (с 90 HV до 70 HV), и толщины участков с максимальным упрочнением (с 0,7 до 0,25 мм), и глубины упрочнения (с 2 до 1,5 мм).

Все результаты по упрочнению плоскими и сферическими инденторами представлены в таблице.

Таблица

Значения $H_{\mu_{\max}}$, h и глубины упрочнения в зависимости от количества и формы инденторов

Количество инденторов	Плоские инденторы						Сферические инденторы					
	Установка без зазора			Установка с зазором			Установка без зазора			Установка с зазором		
	$H_{\mu_{\max}}$		Глубина упрочнения, мм	$H_{\mu_{\max}}$		Глубина упрочнения, мм	$H_{\mu_{\max}}$		Глубина упрочнения, мм	$H_{\mu_{\max}}$		Глубина упрочнения, мм
	H_{μ} , %	h , мм		H_{μ} , %	h , мм		H_{μ} , %	h , мм		H_{μ} , %	h , мм	
1	90	0,25	7	-	-	-	90	0,65	3	-	-	-
2	80	0,2	7	80	0,3	7	90	0,25	2	90	0,25	3,5
3	80	0,25	4,5	80	0,25	6	90	0,7	2,5	70	0,25	2
4	90	0,6	5,5	80	0,8	7	90	0,7	2	70	0,25	2,5

Сравнение воздействий инструментов с плоской формой торцов и формой торцов, направленных под сферу, на распределение микротвердости в поверхностном слое

Сопоставление эпюр распределения микротвердости в поверхностном слое, полученных после удара по одиночным инструментам, позволило установить, что при одинаковой создаваемой максимальной микротвердости 90 HV инструменты с торцом, направленным под сферу (рис. 2б), позволяют увеличить в 2,6 раза толщину области с максимальной микротвердостью, а инденторы с плоским торцом (рис. 2а) - сформировать в 2,3 раза большую глубину упрочнения.

После удара по двум расположенным рядом инструментам при одинаковой создаваемой максимальной микротвердости в поверхностном слое 80 HV инденторы с торцом, направленным под сферу (рис. 5а), позволили увеличить толщину области с максимальной микротвердостью с 0,2 до 0,25 мм, а инструменты с плоским торцом (рис. 3а) - повысить глубину упрочнения с 2 до 7 мм.

Увеличение расстояния между двумя инструментами на величину половины диаметра инструмента ($0,5d$) позволило инденторам с торцом, направленным под сферу (рис. 6а), обеспечить увеличение в поверхностном слое максимального значения микротвердости ($H_{\mu_{\max}}$) с 80 HV до 90 HV. Применение инденторов с плоским торцом (рис. 4а), по сравнению с инструментами, имеющими торец, направленный под сферу (рис. 6а), привело к уменьшению в поверхностном слое толщины участков с максимальным упрочнением с

0,3 до 0,25 мм и глубины упрочнения с 7 до 3,5 мм.

Сравнение эпюр распределения микротвердости в поверхностном слое, полученных после удара по трем расположенным рядом инструментам, позволило установить, что инденторы с торцом, направленным под сферу (рис. 5б), по сравнению с инструментами с плоским торцом (рис. 3б), позволяют обеспечить в поверхностном слое увеличение $H_{\mu_{\max}}$ с 80 HV до 90 HV и толщины области с максимальным упрочнением с 0,25 до 0,7 мм. Повышение глубины упрочнения с 2,5 до 4,5 мм стало возможным только после применения инструмента с плоским торцом.

Увеличение расстояния между тремя инструментами на величину $0,5d$ позволило инденторам с плоским торцом (рис. 4б), по сравнению с инденторами с торцом, направленным под сферу (рис. 6б), повысить и $H_{\mu_{\max}}$ (с 70 HV до 80 HV), и глубину упрочнения (с 2 до 6 мм). Однако области с максимальным значением микротвердости образуются только под отпечатком удара инструмента (рис. 6б), не перекрываются между собой и не формируют единой упрочненной области, такой как после удара индентора с плоским торцом (рис. 4б).

После удара по четырем расположенным рядом инструментам при одинаковой создаваемой максимальной микротвердости в поверхностном слое 90 HV использование инденторов с торцом, направленным под сферу (рис. 5в), позволило увеличить толщину области с максимальной микротвердостью с 0,6 до 0,7 мм, а использование инструментов с плоским торцом (рис. 3в) привело к повышению

глубины упрочнения с 2 до 5,5 мм. Увеличение расстояния между четырьмя инструментами на величину $0,5d$ позволило инденторам с плоским торцом (рис. 4в), по сравнению с инденторами с торцом, за-

правленным под сферу (рис. 6в), повысить и $H_{\mu_{\max}}$ (с 70 HV до 80 HV), и толщину области с максимальной микротвердостью (с 0,25 до 0,8 мм), и глубину упрочнения (с 1,5 до 7 мм).

Заключение

Итак, в результате проведенных исследований влияния числа, геометрии, расположения инструментов в многоконтактной ударной системе на распределение микротвердости в поверхностном слое можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что применение инструментов с плоской формой торца, по сравнению с формой торца, заправленного под сферу, позволяет при одинаковых размерах областей с максимальной микротвердостью получить в 2-2,5 раза большую глубину упрочнения.

2. Увеличение числа инструментов рассматриваемых типов (расположенных рядом) с 2 до 4 привело к повышению максимального значения микротвердости с 80 HV до 90 HV и толщины области с максимальной микротвердостью с 0,2 до 0,6 мм. Увеличение с 2 до 4 числа инструментов с формой торца, заправленного под сферу,

практически не изменило глубину упрочнения ($h_{\max} \approx 2,2$ мм), а применение инструментов с плоской формой торца привело к ее уменьшению с 7 до 5,5 мм.

3. Увеличение расстояния между инструментами на величину, равную половине их диаметра, позволило инденторам с плоской формой торца, по сравнению с формой торца, заправленного под сферу, увеличить с 0,25 до 0,8 мм толщину области с максимальной микротвердостью и обеспечить полное упрочнение всей рассматриваемой области ($h_{\max} = 7$ мм). Это позволяет без ухудшения параметров упрочнения при одной и той же энергии удара повысить на 50% производительность упрочняющей обработки с использованием многоконтактной системы, в которой инденторы с плоской формой торца располагаются на расстоянии друг от друга, равном половине их диаметра.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 16-08-01240 А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киричек, А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. - М.: Машиностроение, 2004. - 288 с. - (Б-ка технолога).
2. Механика нагружения поверхности волной деформации / А.Г. Лазуткин, А.В. Киричек, Ю.С. Степанов, Д.Л. Соловьев. - М.: Машиностроение-1, 2005. - 149 с.
3. Киричек, А.В. Влияние параметров гетерогенной структуры на сопротивление контактному выкрашиванию / А.В. Киричек, С.В. Баринов // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2015. - № 4 (48). - С. 54-58.
4. Киричек, А.В. Измерительный комплекс для исследования закономерностей распределения энергии ударных импульсов при многоинденторных схемах нагружения / А.В. Киричек, С.В. Баринов, С.А. Силантьев, А.В. Яшин, А.А. Зайцев // Перспективные направления развития финишных методов обработки деталей; виброволновые технологии: сб. тр. по материалам междунар. науч. симп. технологов-машиностроителей. - Ростов н/Д: ДГТУ, 2016 - 284 с.
5. Соловьев, Д.Л. Выбор устройства для упрочнения поверхностным пластическим деформированием динамическими нагрузками / Д.Л. Соловьев, С.А. Силантьев // XXVII Гагаринские чтения: тез. докл. молодеж. науч. конф. - М.: МГАТУ, 2001. - № 4 (2). - С. 168-169.
6. Бабичев, А.П. Исследование технологических схем многопозиционной виброударной упрочняющей обработки лонжерона лопасти рулевого винта вертолета / А.П. Бабичев, Н.С. Коваль // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. - 2011. - № 3. - С. 46-49.
7. Бабичев, А.П. Экспериментальные исследования изменения состояния материала при различных схемах виброволнового нагружения / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, Д.Д. Бирюков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2016. - № 8-2. - С. 269-277.

8. Бабичев, А.П. Конструктивные особенности и технологическое назначение многоконтактных виброволновых инструментов / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев, Л.О. Лисицкий // Перспективные направления развития финишных методов обработки деталей; виброволновые технологии: сб. тр. по материалам междунар. науч. симп. технологов-машиностроителей. - Ростов н/Д: ДГТУ, 2016. - 284 с.
9. Тамаркин, М.А. Исследование параметров качества поверхностного слоя при обработке деталей шарико-стержневым упрочнителем /

М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, С.А. Раздорский, А.Г. Исаев // Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства: тр. IV междунар. науч.-техн. конф. - 2015. - С. 35-40.

10. Шевцов, С.Н. Методика расчета конструктивных элементов многоконтактного виброударного инструмента ШСУ / С.Н. Шевцов, В.Н. Аксенов, Н.Г. Холоденко // Вопросы вибрационной технологии. - ДГТУ, 2000. - С. 39-46.

1. Kirichek, A.V. *Techniques and Equipment for Static-Pulse Processing with Surface Plastic Deformation* / A.V. Kirichek, D.L. Soloviyov, A.G. Lazutkin. - M.: Mechanical Engineering-1, 2005. - pp. 149. (Technologist's Library).
2. *Loading Mechanic of Wave Deformation Surface* / A.G. Lazutkin, A.V. Kirichek, Yu.S. Stepanov, D.L. Soloviyov. - M.: Mechanical Engineering-1, 2005. - pp. 149.
3. Kirichek, A.V. Impact of heterogeneous structure parameters upon resistance to contact spalling / A.V. Kirichek, S.V. Barinov // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. - 2015. - No.4. (48). - pp. 54-58.
4. Kirichek, A.V. Measuring complex for investigation of regularities in distribution of blow pulses at multi-indenter circuits of loading / A.V. Kirichek, S.V. Barinov, S.A. Silantiev, A.V. Yashin, A.AQ. Zaitsev // *Promising Directions in Development of Finishing Methods of Parts Processing; Vibration Wave Techniques: Proceedings of Inter. Scientific Symposiums of Technologist-Mechanics*. Rostov-upon-Don: DSTU, 2016 - pp. 284.
5. Soloviyov, D.L. Device choice for strengthening with surface plastic deformation by dynamic loadings / D.L. Soloviyov, S.A. Solantiev // *The XXVII-th Gagarin's Readings: Report Abstracts of Youth Scientific Conf.* - M.: MSATU, 2001. - No.4 (2). - pp. 168-169.
6. Babichev, A.P. Investigation of technological systems of multi-position vibro-impulsive

strengthening of antitorque propeller vane spar / A.P. Babichev, N.S. Koval // *Bulletin of Soloviyov Aircraft Technological Academy of Rybinsk*. - 2011. - No.3. - pp. 46-49.

7. Babichev, A.P. Experimental investigations of material state changes at different procedures of vibro-wave loading / A.P. Babichev, P.D. Motrenko, D.D. Biryukov // *Proceedings of Tula State University. Engineering Science*. - 2016. - No.8-2. - pp. 269-277.
8. Babichev, A.P. Design peculiarities and technological purpose of multi-contact vibro-wave tools / A.P. Babichev, I.A. Babichev, L.O. Lisitsky // *Promising Directions of Parts Finishing Methods Development; Vibro-Wave Techniques: Proceedings of the Inter. Scientif. Symposia of Technologist-Engineering Workers*. - Rostov-upon-Don: DSTU, 2016. - pp. 284.
9. Tamarkin, M.A. Parameter investigation of surface layer quality at parts processing with ball-rod hardener / M.A. Tamarkin, E.E. Tishchenko, S.A. Razdorky, A.G. Isaev // *Thermo-physical and Technological Aspects of Engineering Industry Efficiency Increase: Proceedings of the IV-th Inter. Scientif.-Tech. Conf.* - 2015. - pp. 35-40.
10. Shevtsov, S.N. Computation procedure of design elements of multi-contact vibro-impact tool of ShSU / S.N. Shevtsov, V.N. Aksyonov, N.G. Kholodenko // *Problems of Vibration Techniques*. - DSTU, 2000. - pp. 39-46.

Статья поступила в редколлегию 28.11.17.

Рецензент: д.т.н., профессор МИ ВлГУ
Шнаков П.С.

Сведения об авторах:

Киричек Андрей Викторович, д.т.н., профессор, проректор по перспективному развитию Брянского государственного технического университета, e-mail: avk.57@yandex.ru.

Баринов Сергей Владимирович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой автоматизированного проектирования машин Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: box64@rambler.ru.

Яшин Александр Васильевич, зав. лабораториями кафедры ТМС

Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: yashin2102@yandex.ru.

Зайцев Алексей Андреевич, студент кафедры ТМС Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: apmitp@yandex.ru.

Константинов Александр Михайлович, студент кафедры ТМС Муромского института (филиала)

Kirichek Andrey Victorovich, D. Eng., Prof., Pro-Rector for Promising Development of Bryansk State Technical University, e-mail: avk.57@yandex.ru.

Barinov Sergey Vladimirovich, Can. Eng., Assistant Prof., Head of the Dep. of Automated Machine Designing, Murom Branch of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: box64@rambler.ru.

Yashin Alexander Vasilievich, Head of Laboratories of the Dep. "Engineering Techniques", Murom Branch

Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, e-mail: apmitp@yandex.ru.

of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: yashin2102@yandex.ru.

Zaitsev Alexey Andreevich, Student of the Dep. "Engineering Techniques", Murom Branch of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: apmitp@yandex.ru.

Konstantinov Alexander Mikhailovich, Student of the Dep. "Engineering Techniques", Murom Branch of Stoletovs State University of Vladimir, e-mail: apmitp@yandex.ru.

Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 621.3.087.92

DOI: 10.12737/article_5a337fbc4dc6d4.94938116

А.А. Кожевников

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КОНВЕЙЕРНЫХ АЦП В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Рассматривается реализация моделей конвейерных АЦП в СОК средствами NI LabVIEW и обосновывается их адекватность. Сравняются статистические характеристики модулярного и полиадического форматов чисел, генерируемых в процессе преобразования. Обсуждаются нюансы

геометрии плотности распределения вероятности отклонений эквивалента выходной величины от входной.

Ключевые слова: конвейерные АЦП, система остаточных классов, СОК, статистические характеристики.

А.А. Kozhevnikov

MATHEMATICAL INVESTIGATION OF CONVEYER ANALOG-DIGITAL CONVERSIONS IN SYSTEM OF RESIDUAL CLASSES

Conveyer devices are the most studied in the field of a modular analog-digital conversion. Here a primary task is a realization of actual methods of coding error correction. The first step in the understanding of possible solutions is a preliminary examination of the object of study. The work purpose consists in the realization of adequate simulators of conveyer analog-digital conversions in SRC and analysis of their statistical characteristics. For the synthesis and investigation of models there was used LabVIEW environment. Besides the realization of the correct algorithm of a unit work the model adequacy is formed at the expense of the existence of white noise generators on the basis of Box-Mueller transform each of which is responsible for the own analog part of the circuit. Though a share of incorrect cord words of modular numbers only many

times more of polyadic ones, a mean square deviation of the first is higher of the second for many orders. The overwhelming influence upon the distortion of the analog-digital conversion is carried out by first units of paths as the interference arising there undergoes finally the highest amplification. The immediate obtaining of the deduction of SRCs as conversion results is fraught with unacceptable uncertainty even in comparison with polyadic numbers generated in the same paths. Peculiarities in the form of a functional dependence of the distribution density allow supposing a potential use for the ultimate aim realization.

Key words: conveyer analog-digital conversions, system of residual classes, SRC, statistical characteristics

Введение

Развитие измерительной техники, основанной на совмещении аналоговой и цифровой обработки, уже привело к появлению высокопроизводительных систем, работающих с частотами входных сигналов до 100 ГГц [1]. Как и всякая высокотехнологичная область, где используется передовая полупроводниковая электроника, она находится в зависимости от фундаментального предела возможностей элементарной приборной базы. Дальнейший импульс к росту эффективности таких систем может дать применение новых физических принципов или нетрадиционных математических подходов. Повышение производительности вычислительной техники возможно за счет непозиционной модулярной системы счисления (МСС) или системы остаточных классов (СОК) [2],

что автоматически должно было бы распространиться и на область измерения сигналов, но первые теоретические исследования показали неочевидность данного утверждения. Особенно остро проблема проявилась для различных типов АЦП в код СОК, поскольку их алгоритм функционирования является, по сути, аналогом математической операции преобразования позиционного числа в МСС. Наиболее изученными в данной области являются конвейерные устройства [3-9]. Реализуя концепцию архитектуры без обратной связи, они на данный момент являются потенциально наиболее быстродействующими среди АЦП в СОК. В отличие от вычислительных структур процесс измерительного преобразования сопровождается несравнимо большим зашумлением в силу

аналоговой природы обрабатываемых сигналов, поэтому первоочередной задачей здесь выступает реализация актуальных методов исправления ошибок кодирования. Первый шаг в понимании возможных

решений - предварительное обследование объекта изучения. Цель работы заключается в реализации адекватных математических моделей конвейерных АЦП в СОК и анализе их статистических характеристик.

Модели конвейерного аналого-цифрового преобразования в СОК

Современные информационные технологии предлагают широкий спектр средств разработки виртуальных лабораторных стендов, позволяющих в зависимости от поставленной задачи всесторонне рассмотреть логику построения и функциони-

рования объекта изучения. Для синтеза и исследования моделей была использована среда LabVIEW (лицензия Part Number 779447-35), в силу наличия графического языка программирования обладающая всеми ранее перечисленными качествами.

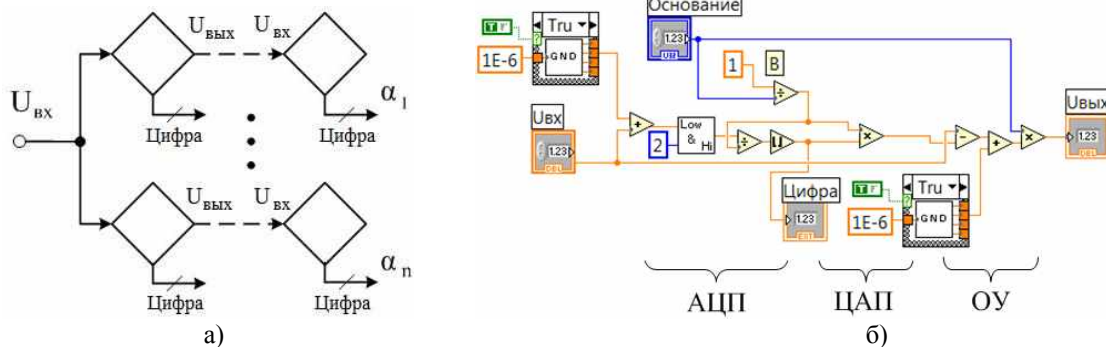


Рис. 1. Модель конвейерного АЦП в СОК

Конвейерный АЦП в СОК представляет собой n трактов по n звеньев (ромбы на рис. 1а). В процессе виртуального измерения входного напряжения ($U_{ВХ}$) устройство формирует цифровой эквивалент в виде непозиционного модулярного числа (α_1 - α_n) по n выбранным основаниям МСС (p_1 - p_n) и - в каждом тракте - позиционного полиадического. Модель каждого звена (рис. 1б) может отличаться только набором входных параметров и некоторыми настройками. Здесь программная реализация виртуального локального АЦП начинается с добавления к входному сигналу шума первого генератора нормального распределения (функция GND). Если результат операции выходит за пределы заданного диапазона напряжений от 0 до 1 В (функция Low&Hi), то производится обрезка до ближайшей границы. Далее производится деление на квант по уровню и округление до ближайшего целого (рис. 1б). Если данное звено тракта последнее, то полученный цифровой эквивалент может быть использован для формирования модулярного числа, в противном случае - полиадического. Далее осуществляется процедура пре-

образования на локальном ЦАП (рис. 1б), функцию которого здесь выполняет умножение на квант. Модель операционного усилителя (ОУ) осуществляет вычитание напряжения с ЦАП из входного сигнала с подмешиванием шума от второго генератора (GND) и умножением (усилением) на коэффициент, равный актуальной величине основания. Полученный результат ($U_{ВЫХ}$) передается на следующее звено.

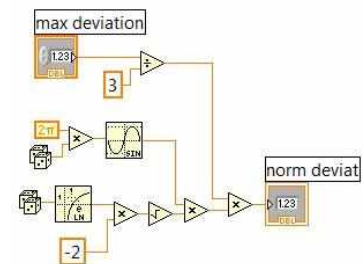


Рис. 2. Генератор нормально распределенных величин

Кроме реализации правильного алгоритма работы звена адекватность модели формируется за счет наличия генераторов белого шума, каждый из которых отвечает за свой аналоговый участок схемы (рис. 1б): первый - вход локального АЦП, второй - выход ЦАП и весь ОУ. Допускается,

что цифровая часть в гораздо меньшей степени подвергается вредному воздействию. В реальных полупроводниковых устройствах происходит искажение сигнала и аддитивное добавление нежелательной мощности извне и изнутри. Тепловой шум и технологический разброс параметров приборов имеют распределение в виде кривой Гаусса, поэтому использование соответствующих виртуальных генераторов позволяет создать хоть и не абсолютно точную, но вполне приближенную к реальности модель звена. Преобразование Бокса - Мюллера [10] - давно известный метод синтеза нормально распределенных случайных величин. Функция GND (рис. 1б), реализующая данный подход средствами LabVIEW, представлена на рис. 2. Здесь из двух равномерно распределенных получается одна нормально распределенная величина на интервале (0,1]. На вход функции подается значение условно максимального размаха (max deviation), для

Динамика статистических характеристик

Для анализа поведения преобразователей рассмотрены модели с количеством оснований от двух до четырех и размахом отклонений величины шума от 10^{-6} до 10^{-4} В.

Как результат исследуется поведение двух параметров: доли ошибочных кодовых слов и среднеквадратического отклонения при выборке 10^7 значений в процессе изменения виртуального напряжения от 0 до 1 В. В качестве параметра оси абсцисс выступает разрядность АЦП, равная произведению актуальных оснований СОК и представленная в стандартном двоичном формате битами. Величина среднеквадратического отклонения выражена цифровым эквивалентом в виде количества младших значимых разрядов (МЗР).

В предложенной модели звена присутствуют два генератора шума, поэтому в первую очередь необходимо оценить, какой из них оказывает наибольшее влияние на точность работы устройства. Для этого рассмотрим АЦП в СОК по двум и четы-

упрощения равного трем среднеквадратическим отклонениям (3σ), что позволяет перейти от стандартного к требуемому распределению.

Предложенная модель звена (рис. 1б) является вполне универсальной, поскольку позволяет регулировать широкий ряд параметров: включать или выключать нужный генератор (даже заменять модель распределения), устанавливать требуемый уровень шумов, ограничивать или нет АЦП в пределах заданного диапазона напряжений по обеим границам (от 0 до 1В), определять основание и, соответственно, значение уровня кванта. В силу инструментального назначения LabVIEW как среды программирования здесь очень сложно учесть естественные приборные эффекты: температурный сдвиг параметров, АЧХ, ФЧХ и т.д. Но для решения главной задачи - поиска методов исправления ошибок конвейерных АЦП в СОК - такие простые модели вполне адекватны.

рем основаниям с наименьшим размахом величины шума в 10^{-6} В. Статистические параметры преобразований в модулярный (рис. 3а, в) и полиадический (рис. 3б, г) цифровой формат показывают, что подавляющее отрицательное воздействие на точность измерений оказывают нежелательные сигналы, генерируемые в аналоговой части звена ЦАП-ОУ. Хотя доля неверных кодовых слов модулярных чисел лишь в разы больше полиадических, среднеквадратическое отклонение первых на многие порядки больше вторых. Такая тенденция сохраняется и при больших, чем 10^{-6} В, значениях размаха. Кривые 1 и 2 (рис. 3г) находятся в пределах 0,57-0,58 МЗР, что соответствует шуму квантования. Аналогичные исследования также показали, что подавляющее влияние на искажение результата аналого-цифрового преобразования оказывают первые звенья трактов, поскольку появляющаяся там помеха претерпевает в итоге наибольшее усиление.

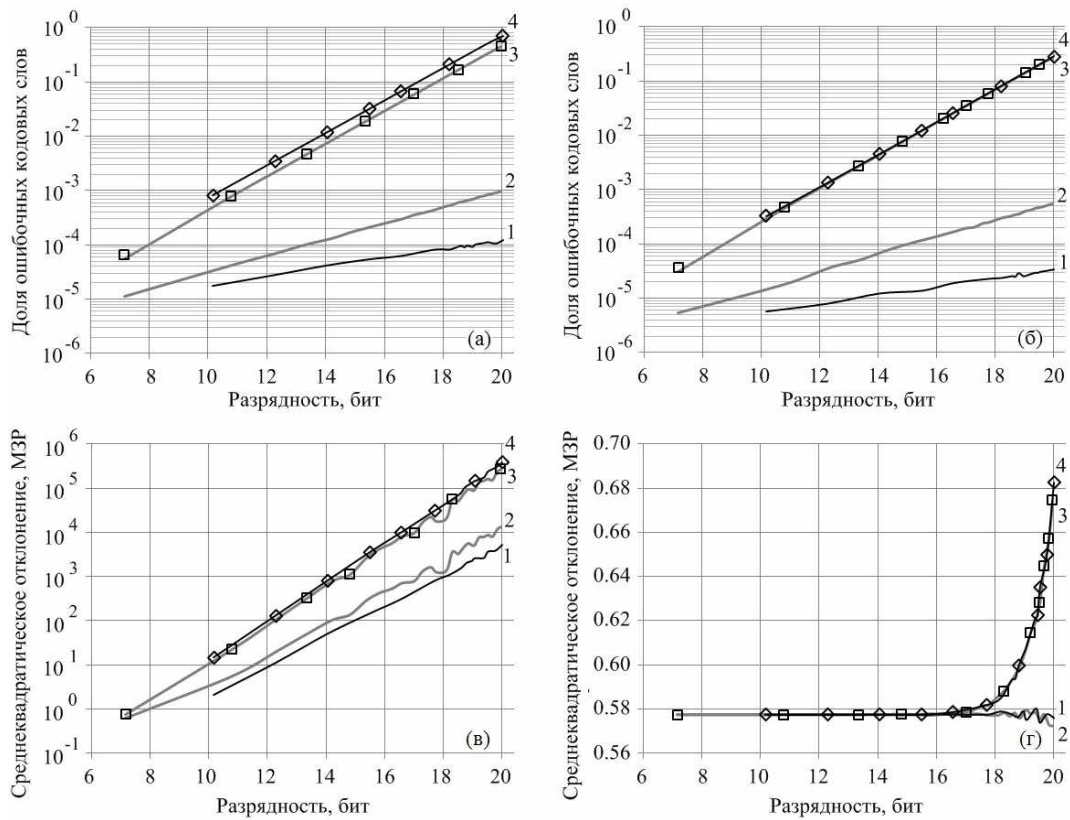


Рис. 3. Зависимость статистических параметров от номера работающего генератора (ген.) шума в модели звена и количества оснований (ос.) СОК: 1 - 4 ос., ген. № 1; 2 - 2 ос., ген. № 1; 3 - 2 ос., ген. № 2; 4 - 4 ос., ген. № 2; квадрат (□) - два основания, работают оба генератора; ромб (◇) - четыре основания, работают оба генератора

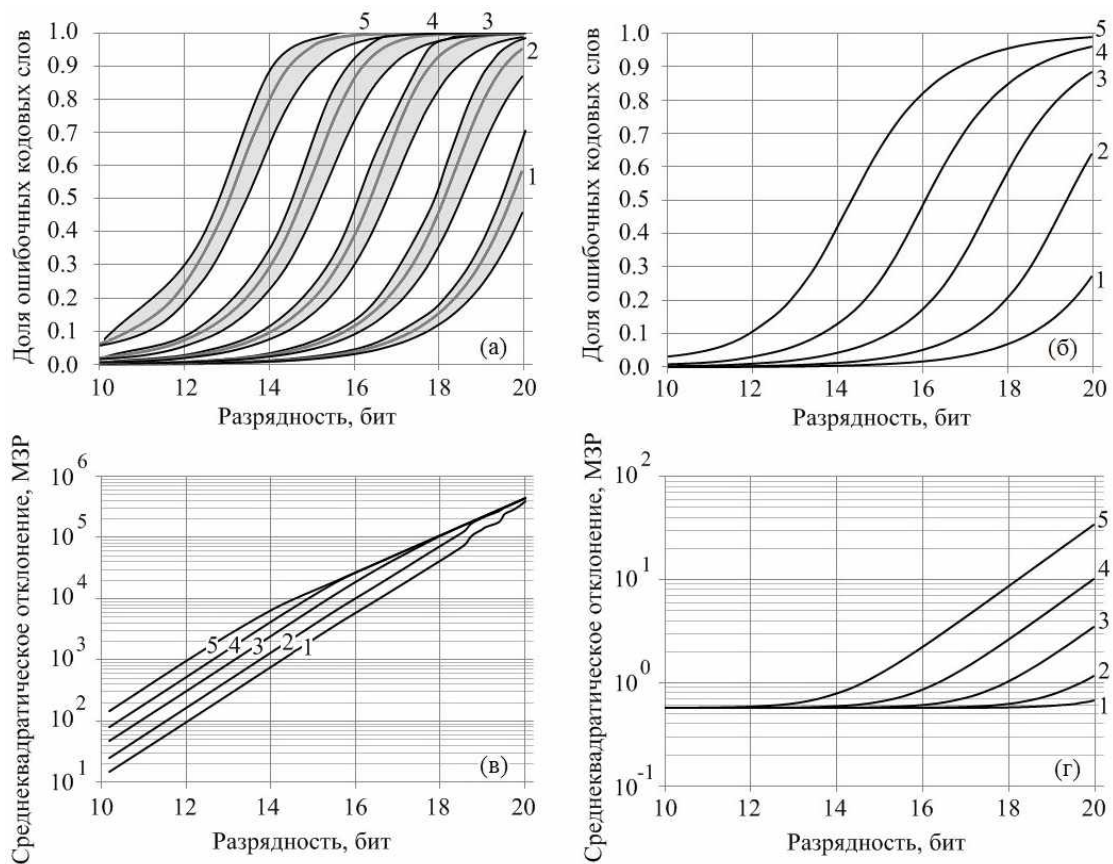


Рис. 4. Поведение статистических параметров в зависимости от размаха шума: 1 - 10^{-6} В; 2 - $3 \cdot 10^{-6}$ В; 3 - 10^{-5} В; 4 - $3 \cdot 10^{-5}$ В; 5 - 10^{-4} В

Динамика статистических характеристик цифровых эквивалентов входной аналоговой величины в модулярном (рис. 4а, в) и полиадическом (рис. 4б, г) формате определяется величиной размаха шума в звеньях. На вход генераторов нормального распределения (рис. 1б) подавались значения 10^{-6} - 10^{-4} В, что соответствует 1-100 ppm FS (part per million of Full Scale) при используемых виртуальных напряжениях от 0 до 1В. Зависимость от количества оснований заметно проявляет доля модулярных ошибочных кодовых слов (рис. 4а): закрашенные полосы ограничены черными кривыми для двух (нижняя) и четырех (верхняя), а средняя серая линия - для трех

соответственно. Также из рисунка следует, что увеличение числа звеньев практически не влияет на остальные статистические характеристики. Прямые участки среднеквадратического отклонения в двойном логарифмическом масштабе (рис. 4в) аппроксимируются простой зависимостью $y = ax^b$, где $a \approx 4(10^{-4} + 10^{-3})$, $b \approx 1,45$. Точки аналогичных кривых полиадического формата (рис. 4г) практически в половине рассмотренных случаев находятся в пределах шума квантования. Лишь при значении по оси абсцисс 20 бит все они выстраиваются вдоль линий, описываемых степенными функциями.

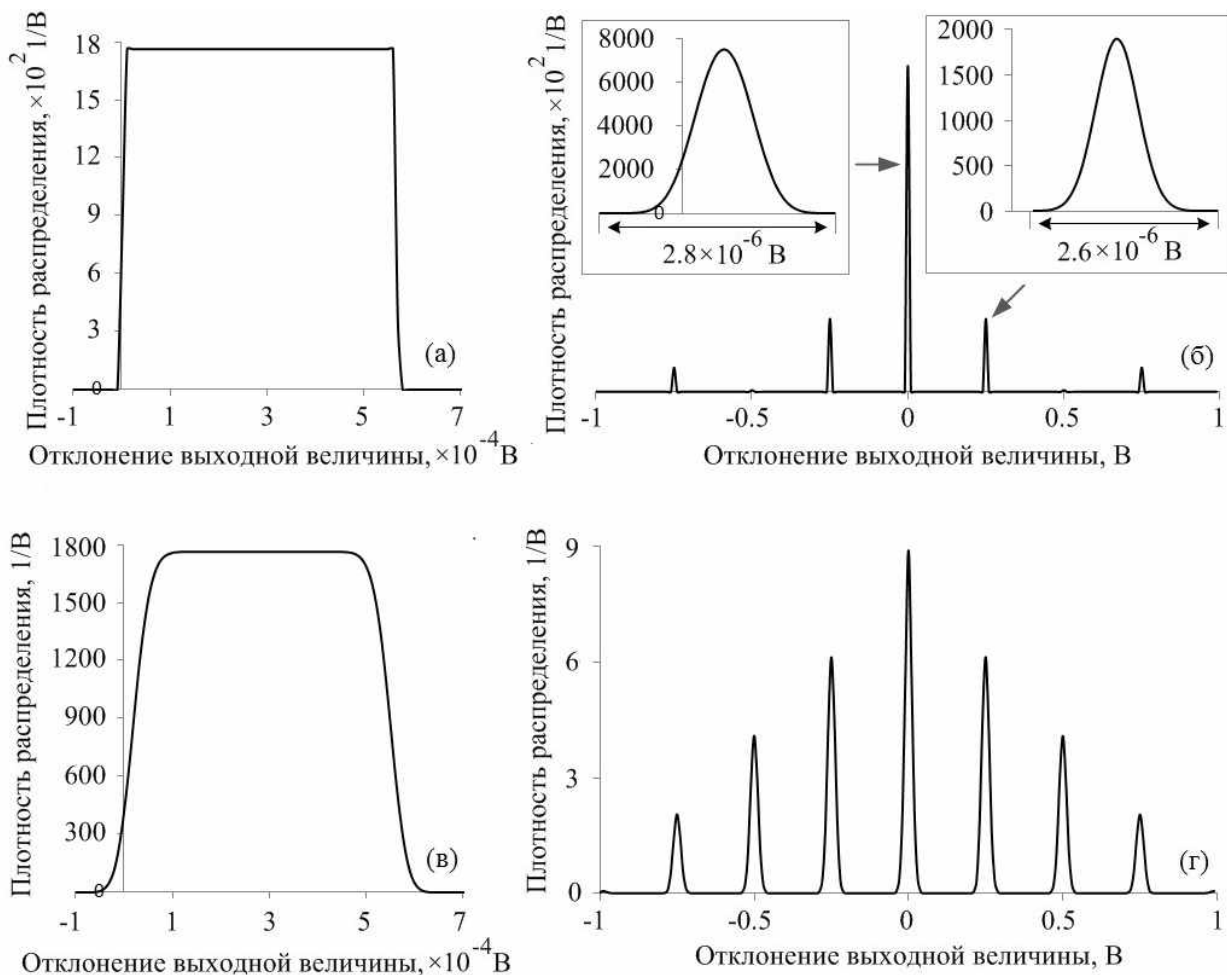


Рис. 5. Плотность распределения вероятности отклонения аналогового эквивалента выходной величины от входной для АЦП в СОК по двум основаниям

Сравнивая статистические характеристики модулярных и полиадических эквивалентов, приходим к выводу, что при превышении доли в 2-3 раза среднеквадратические отклонения первых на многие

порядки больше вторых. Из этого следует, что результат в формате вычетов будет практически всегда расположен очень далеко от реального значения, но при этом он находится в корреляции с числами по-

зиционного преобразования в трактах. Позволит ли этот факт реализовать метод «сужения окна» [11] или его аналог, смо-

жет ответить лишь отдельное исследование.

Геометрия плотности распределения

Алгоритм построения плотности распределения заключается в накоплении количества случаев попадания отклонений от математического ожидания ($U_{вх}$) в определенные интервалы в рамках рассматриваемого диапазона. Для этого ось абсцисс влево и вправо от нуля была разбита суммарно на двести отрезков так, чтобы один из них располагался строго по центру.

В процессе формирования результата преобразования участвовали все звенья с генераторами шума. Полученный эквивалент переводился в аналоговую форму и вычитался из входной величины. Далее оценивалось попадание в рассматриваемый диапазон и в конкретный интервал, где в случае успеха производился инкремент соответствующего счетчика. Полученные двести чисел нормировались на количество виртуальных экспериментов (10^7), что при построении плотности распределения позволяет оперативно оценивать вероятность попадания в заданный диапазон и, при необходимости, менять масштаб. Формирование конечного значения ординаты осуществлялось посредством деления соответствующей вероятности попадания в интервал на его «длину» в вольтах.

мый диапазон и в конкретный интервал, где в случае успеха производился инкремент соответствующего счетчика. Полученные двести чисел нормировались на количество виртуальных экспериментов (10^7), что при построении плотности распределения позволяет оперативно оценивать вероятность попадания в заданный диапазон и, при необходимости, менять масштаб. Формирование конечного значения ординаты осуществлялось посредством деления соответствующей вероятности попадания в интервал на его «длину» в вольтах.

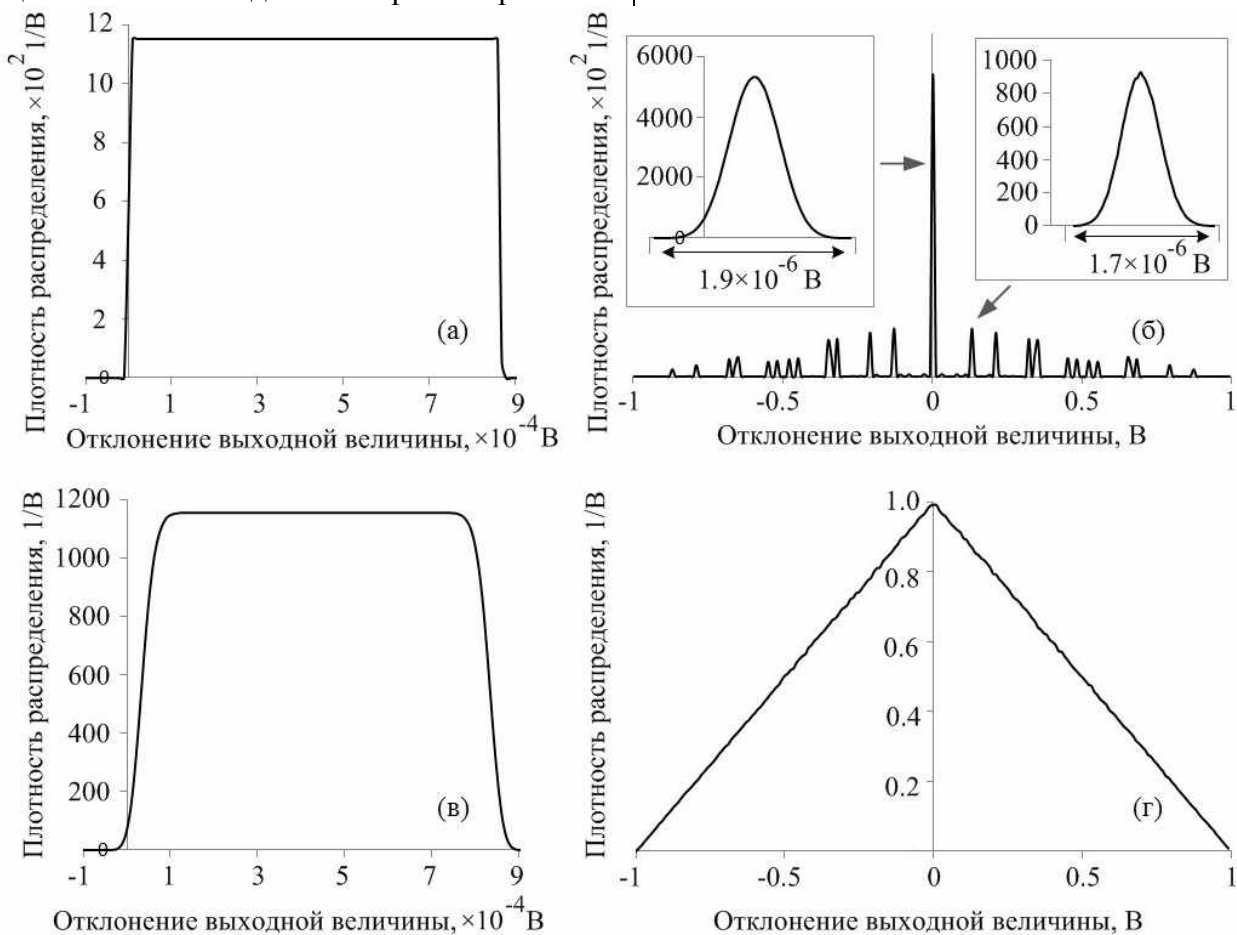


Рис. 6. Плотность распределения вероятности отклонения аналогового эквивалента выходной величины от входной для АЦП в СОК по четырем основаниям: а - разрядность 10 бит, размах шума 10^{-6} В; б - разрядность 10 бит, размах шума 10^{-4} В; в - разрядность 20 бит, размах шума 10^{-6} В; г - разрядность 20 бит, размах шума 10^{-4} В

Наибольшее разнообразие в геометрии функции плотности дают модулярные числа. АЦП в СОК по двум основаниям при разрядности порядка 10 (рис. 5а, б) и 20 бит (рис. 5в, г) генерируют для размаха шума 10^{-6} В положительные отклонения с распределением, близким к равномерному (рис. 5а, в). Дальнейший рост помехи до 10^{-4} В приводит в первом случае (рис. 5б) к появлению острых пиков с формой Гауссиана, а во втором (рис. 5г) - к резкому снижению их по высоте и расширению по основанию. Аналогичная ситуация наблюдается и для четырех оснований СОК, где в итоге происходит срастание в рамках

Заключение

Таким образом, в процессе изучения характеристик АЦП в СОК средствами программной среды LabVIEW были разработаны модели конвейерных устройств для дальнейшего исследования потенциальных методов исправления неверных кодовых слов. Установлено, что непосредственное получение вычетов СОК как результатов

диапазона отдельных характеристик в единый треугольник (рис. 6).

Преобразованию в полиадический формат, в отличие от модулярного, всегда соответствует неразделенная по напряжению характеристика распределения плотности, которая имеет тенденцию с ростом размаха шума и разрядности менять форму от равномерной к нормальной. Дальнейшие исследования должны будут показать, насколько факт дискретизации полосы или определенной функциональной зависимости можно использовать для исправления неверных кодовых слов.

преобразования чревато недопустимой неопределенностью даже по сравнению с полиадическими числами, генерируемыми в тех же трактах. Тем не менее особенности в форме функциональной зависимости плотности распределения позволяют предполагать потенциальную пользу для реализации конечной цели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов, В. Сенсация 2015: Teledyne LeCroy освоила выпуск первого в мире 100-ГГц осциллографа реального времени! / В. Дьяконов // Компоненты и технологии. – 2015. – № 3. – С. 16-22.
2. Акушский, И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И.Я. Акушский, Д.И. Юдицкий. - М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.
3. Кожевников, А.А. Аналого-цифровые преобразователи в системе остаточных классов / А.А. Кожевников // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2010. – № 9. – С. 26-28.
4. Пат. 2433527 РФ, МПК⁷ H03M1/28. Аналого-цифровой преобразователь в системе остаточных классов / Кожевников А.А. – Заявл. 12.04.10; опубл. 10.11.11.
5. Кожевников, А.А. Конвейерные аналого-цифровые преобразователи, функционирующие в системе остаточных классов / А.А. Кожевников, К.П. Беспалов // Динамика сложных систем – XXI век. – 2014. – № 3. – С. 11-14.
6. Пат. 2546621 РФ, МПК⁷ H03M1/28. Аналого-цифровой преобразователь в системе остаточных классов / Кожевников А.А. [и др.]. – Заявл. 09.01.14; опубл. 10.04.15.
7. Аппаратная реализация алгоритмов модулярной арифметики: сб. ст. / под ред. В.П. Ирхина, А.А. Кожевникова. - LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 85 с.
8. Кожевников, А.А. Методы непозиционного аналого-цифрового преобразования / А.А. Кожевников, К.П. Беспалов // Автометрия. – 2015. – Т. 51. – № 6. – С. 125-130.
9. Кожевников, А.А. Синтез аналого-цифровых, первичных и вторичных модулярных измерительных преобразователей / А.А. Кожевников // Наука. Инновации. Технологии. – 2017. – № 1. – С. 17-28.
10. Vox G.E.P. A note on the generation of random normal deviates // Annals of mathematical statistics. – 1958. – Т. 29. – № 2. – С. 610-611.
11. Кожевников, А.А. Детектирование и исправление ошибок аналого-цифрового кодирования в остаточных классах / А.А. Кожевников // Материалы I-й международной конференции «Параллельная компьютерная алгебра и ее приложения в новых инфокоммуникационных системах». – Ставрополь, 2014. – С. 285 - 287.

nents and Technologies. – 2015. – No.3. – pp. 16-22.

2. Akushsky, I.Ya. *Computer Arithmetic in Residual Classes* / I.Ya. Akushsky, D.I. Yuditsky. – M.: Sov. Radio, 1968. – pp. 440.
3. Kozhevnikov, A.A. Analog-to-digital converters in residual class system / A.A. Kozhevnikov // *Neurocomputers: Development and Application*. – 2010. – No.9. – pp. 26-28.
4. Pat. 2433527 the RF, IPC⁷ N03M1/28. *Analog-to-Digital Converter in Residual Class System* / Kozhevnikov A.A. – Appl. 12.04.10; published 10.11.11.
5. Kozhevnikov, A.A. Conveyer analog-to-digital converters functioning in residual class system / A.A. Kozhevnikov, K.P. Bepalov // *Complex System Dynamics – XXI century*. – 2014. – No.3. – pp. 11-14.
6. Pat. 2546621 the RF, IPC⁷ N03M1/28. *Analog-to-Digital Converter in Residual Class System* / Kozhevnikov A.A. [et al.]. – Appl.09.01.14.; published 10.04.15.
7. *Hardware Realization of Modular Arithmetic Algorithms: Proceedings* / under the editorship of V.P. Irkhin, A.A. Kozhevnikov. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – pp. 85.
8. Kozhevnikov, A.A. Methods of non-positional analog-to-digital conversion / A.A. Kozhevnikov, K.P. Bepalov // *Autometry*. – 2015. – Vol.51. – No.6. – pp. 125-130.
9. Kozhevnikov, A.A. Synthesis of analog-to-digital primary and secondary modular measuring converters / A.A. Kozhevnikov // *Science. Innovations. Techniques*. – 2017. – No.1. – pp. 17-28.
10. Box G.E.P. A note on the generation of random normal deviates // *Annals of mathematical statistics*. – 1958. – T. 29. – № 2. – С. 610-611.
11. Kozhevnikov, A.A. Detection and error correction of analog-to-digital coding in residual classes / A.A. Kozhevnikov // *Proceedings of the I-st Inter. Conf. "Parallel Computer Algebra and Its Applications in New Info-Communication Systems"*. – Stavropol, 2014. – pp. 285-287.

Статья поступила в редколлегию 23.09.17.

Рецензент: д.т.н., доцент Воронежского
института ФСИИ России
Ирхин В.П.

Сведения об авторах:

Кожевников Алексей Александрович, к.ф.-м.н., доцент кафедры «Социально-гуманитарные, естественно-научные и общепрофессиональные дисциплины» филиала РГУПС в г. Воронеже, e-mail: akozhev@yandex.ru.

Kozhevnikov Alexey Alexandrovich, Can. Physic-Math., Assistant Prof. of the Dep. "Social-Arts, Natural-Scientific and General Professional Subjects", Branch of RSUAS in Voronezh, e-mail: akozhev@yandex.ru.

УДК 159.9

DOI: 10.12737/article_5a337fbc85f632.58475153

А.А. Кузьменко, В.В. Спасенников, С.В. Кондратенко

ПРОГРАММНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ СИМФИТОСОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Проанализированы основные зарубежные программные продукты для автоматизации обработки фитосоциологических и симфитосоциологических данных. На основе анализа предложены алгоритмы, позволяющие ускорить процесс обработки научных данных. На основе предложенных

алгоритмов разработаны модули программной системы по автоматизации обработки фитосоциологических и симфитосоциологических данных.

Ключевые слова: программные системы, автоматизация обработки данных, фитосоциология, симфитосоциология.

А.А. Kuzmenko, V.V. Spasennikov, S.V. Kondratenko

SOFTWARE SYSTEMS FOR AUTOMATION OF SYMPHYTO-SOCIOLOGICAL DATA PROCESSING

The paper reports the analysis of basic foreign software products for the automation of phyto-sociological and symphyto-sociological data processing. On the basis of the analysis there are offered algorithms allowing the acceleration of scientific data treatment. On the basis of the algorithms offered there

are developed modules of the software system on the automation of phyto-sociological and symphyto-sociological data processing.

Key words: software systems, automation of data processing, phyto-sociology, symphyto-sociology.

Вопрос автоматизации обработки научных данных крайне актуален в современном мире. С одной стороны, процесс автоматизации любых действий сопровождается высвобождением времени, а также преодолением возможных ошибочных решений, связанных с человеческим фактором. С другой стороны, чрезмерная автоматизация может привести к деградации и неспособности принимать самостоятельные, а тем более верные решения в процессе ручной обработки научных данных. Именно поэтому, мы считаем, необходимо разобраться, какие из этапов обработки научных данных в области фитосоциологических и симфитосоциологических исследований нуждаются в автоматизации.

Для того чтобы разобраться в рассматриваемой проблеме, мы проанализировали литературные источники по данному направлению. Как выяснилось, вопрос автоматизации обработки научных данных в области фитосоциологии и симфитосоциологии не раз поднимался в научном

кругу. Среди наиболее полных, комплексных обзоров хочется отметить работы А.Б. Новаковского [5; 6], А.А. Зверева [3], в которых авторы рассматривают широкий спектр программных продуктов и дают их краткую характеристику. Не менее значимыми, хоть и не комплексными, являются работы L. Tichy [9], S.M. Hennekens [10], В.Б. Голуба, Е.А. Халеева, И.А. Рухленко [2], В.Э. Смирнова [8], А.Д. Булохова и Ю.А. Семенищенкова [1], А.А. Кузьменко [4] и др.

На сегодняшний день основными подходами при обработке фитосоциологических и симфитосоциологических данных выступают классификация и ординация. Для выявления плюсов и минусов имеющихся программных продуктов нами была проведена их классификация, в основу которой положены данные подходы.

На рис. 1 представлена схема, иллюстрирующая основные направления работы программных систем.

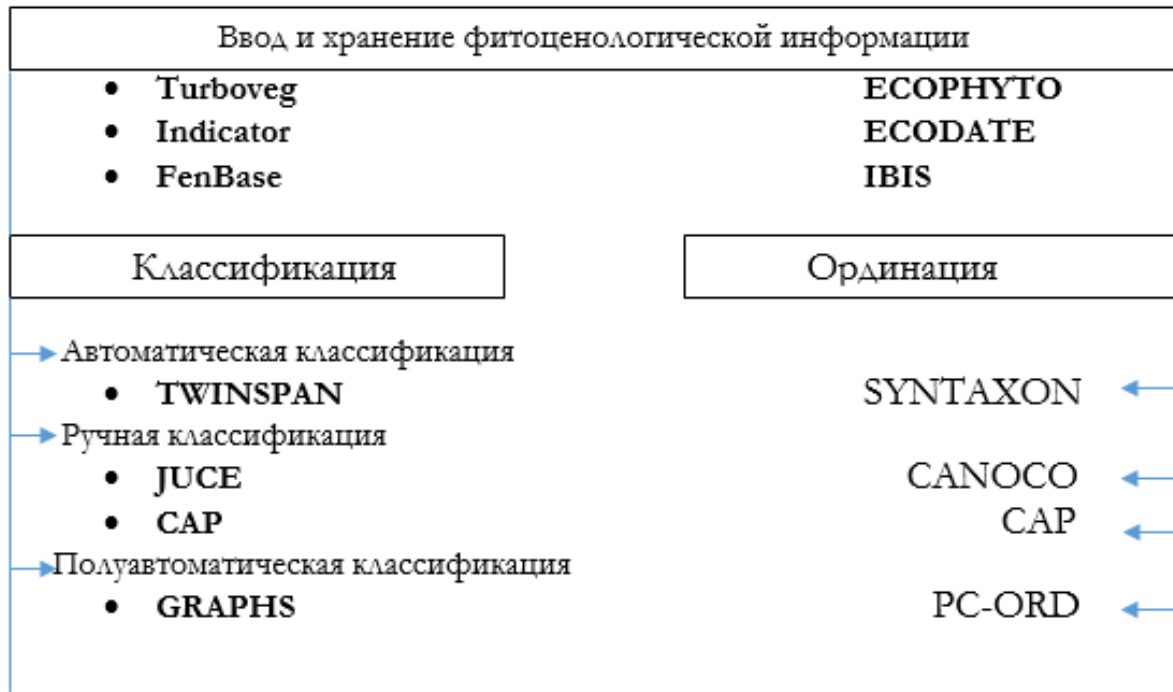


Рис. 1. Основные направления работы программных систем в области фитосоциологии и симфитосоциологии

Разделение программных систем на группы позволило выявить интересную закономерность в группе классификации симфитосоциологических и фитосоциологических данных. Как видно из рис. 1, все программы данной группы разделены на программы автоматической, полуавтоматической и ручной классификации. Данное разделение свидетельствует о необходимости

использования в разрабатываемой программной системе всех трех принципов.

Для выявления закономерностей взаимодействия программных продуктов нами была построена схема (рис. 2), отражающая уровень востребованности (программные системы с максимальным пересечением модулей) у пользователей, а следовательно, и уровень технической поддержки разработчиками.

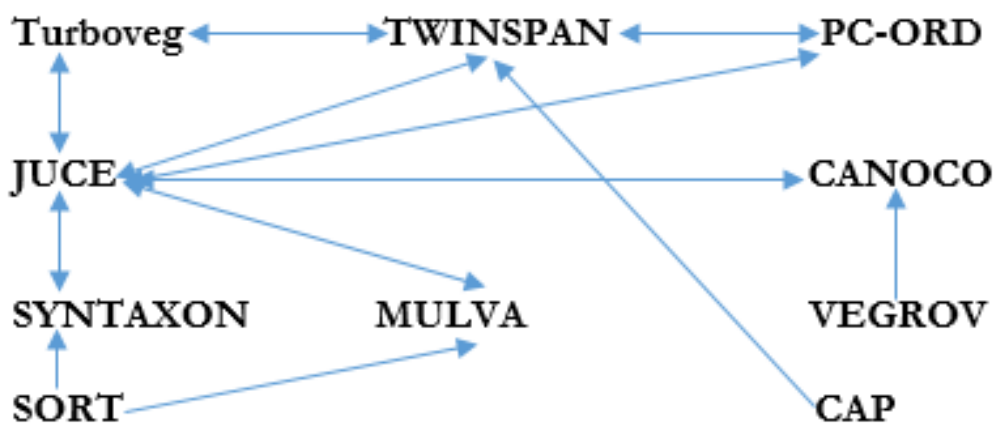


Рис. 2. Взаимосвязи программных продуктов

Анализ схемы показал, что узловой программной системой является JUCE. Второе место по уровню взаимодействия делят Turboveg и Twinspace.

Результатом анализа явилось разделение программных систем на следующие группы: программы для классификации (автоматической, полуавтоматической, ручной), программные системы для орди-

нации, программные системы ввода и хранения фитоценологических данных.

Отдельной группой программ статистики и визуализации фитоценологических и симфитоценологических данных являются универсальные неспециализированные (MATLAB, STATISTICA, R) и специализированные программы (INDICATOR, IBIS, VEGROW).

Следующим этапом нашей работы явилось выявление основных этапов симфитосоциологических и фитосоциологических исследований, которые можно автоматизировать:

1. Сбор фитосоциологического и симфитосоциологического материала:

- Автоматизация геопривязки.

2. Создание единой БД геоботанических описаний:

- Автоматизация проверки синонимов по нужной БД.

- Автоматизация процесса формирования БД описаний (эргономичный интуитивный интерфейс).

3. Классификация:

- Автоматизация процесса классификации:

- 1) ручная классификация;
- 2) автоматическая классификация.

4. Ординация:

- Автоматизация процесса ординации.

5. Ботанико-географический анализ:

- Автоматизация построения диаграмм и графиков.

6. Сигма-синтаксономический анализ:

- Автоматизация построения сигма-профилей.

- Автоматизация процесса классификации:

- 1) автоматическая классификация;
- 2) ручная классификация.

7. Формирование сводных таблиц.

На основе данных по имеющимся программным продуктам, основным этапам фитосоциологических и симфитосоциологических исследований, которые можно автоматизировать, нами предложены алгоритмы и разработаны модули уни-

версальной системы автоматизации обработки фитосоциологических и симфитосоциологических научных данных BotStat.

Разрабатываемая система строится на модульном принципе, т.е. все программные модули работают под единой оболочкой, позволяющей им взаимодействовать между собой либо запускаться отдельно.

Одним из самых дискуссионных вопросов является вопрос о принципе функционирования программной системы. С одной стороны, в современном мире удобно использовать онлайн-сервисы. С другой стороны, многие недоверчиво относятся к обработке собранных с большим трудом научных данных в сети Интернет. Поэтому на данном этапе был выбран метод desktop-приложений. В дальнейшем мы планируем разработку онлайн-сервиса.

В рамках данной статьи мы рассмотрим следующие программные модули и алгоритмы функционирования:

1. Сбор фитосоциологического и симфитосоциологического материала: автоматизация геопривязки.

2. Сигма-синтаксономический анализ.

Для проведения сигма-синтаксономического анализа нами были учтены расчеты следующих показателей:

- Планируемое число наблюдений для получения средней с заданной точностью (Розенберг, 1976; Усманов, 1984) [8]:

$$N_b = V(n)^2/p^2,$$

где N_b – планируемый объем выборки; n – объем первоначальной выборки; $V(n)$ – коэффициент вариации; p – точность определения планируемой средней. Уточненный планируемый объем выборки (Розенберг, 1976):

$$N_R = N_b n [1 + S_t 2/n / (n - 1)]^{\sqrt{t}}$$

где S_t – показатель функции Лапласа (для t – степени надежности получаемого результата – от 0,08 до 0,95 значение S_t будет меняться от 1,28 до 1,96).

- Бивес-оценка (промежуточное значение между средним и медианой):

$$b = \sum \omega_i x_i,$$

где $\omega_i = \begin{cases} [1 - ([x_i - b] / [c\mu_s])^2]^2, & \text{если } ([x_i - b] / [c\mu_s])^2 < 1; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$

Здесь μ_s – медиана абсолютных отклонений $|x_i - b|$; c – константа, которая берется равной 6 или 9. Поскольку μ_s является оценкой примерно $2/3\sigma$ (σ – стандартное отклонение), то при расчете бивес-оценки b не учитываются «хвосты» нормального распределения, т.е. измерения, превышающие 4σ (при $c = 6$) или 6σ (при $c = 9$).

- Средневзвешенная напряженность фактора r : $X_i = \sum_{j=1} p_{i,j} X_j$.

- Средневзвешенная дисперсия r : $D_i = \sum_{j=1} p_{i,j} (X_j - X_i)^2$.

В результате работы над модулем сигма-синтаксономического анализа нам удалось реализовать часть алгоритмов. Данные алгоритмы пока недостаточны и требуют дальнейшей работы над ними. На сегодняшний день модуль сигма-синтаксономического анализа умеет автоматически строить профили по заданным параметрам, добавлять силуэты синтаксонов, прогнозировать названия сигма-синтаксонов.

На рис. 3 представлен интерфейс разработанного модуля.

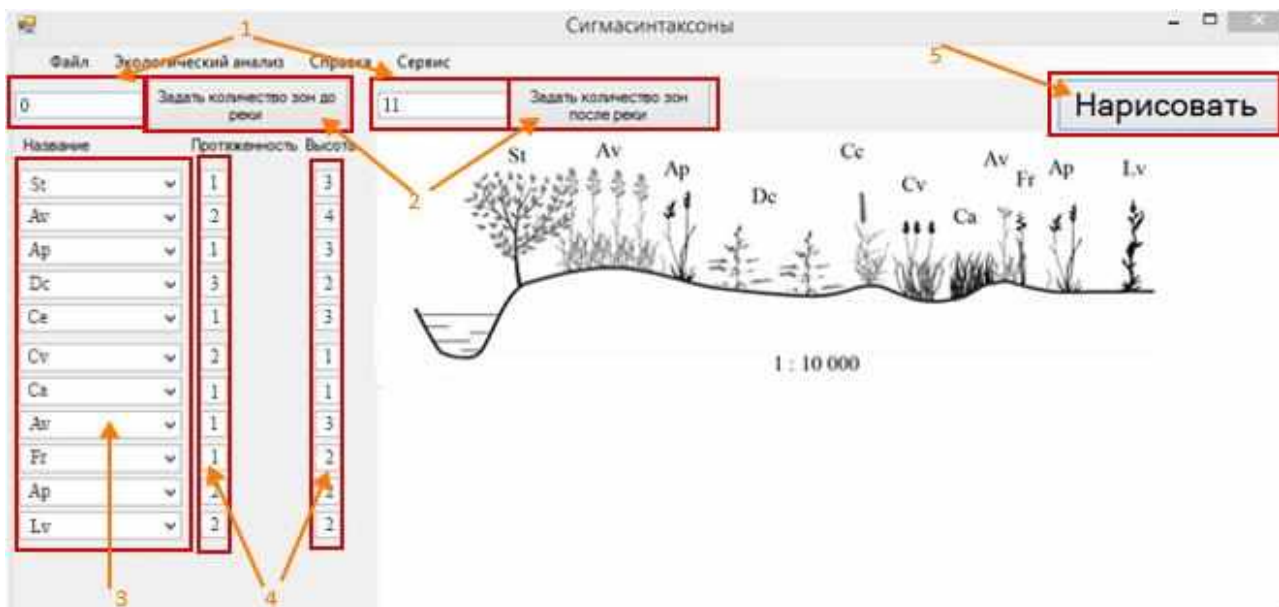


Рис. 3. Интерфейс модуля сигма-синтаксономического анализа: 1 – поля ввода числа отрезков до и после русла реки; 2 – кнопки вызова дополнительных параметров ввода; 3 – названия синтаксонов; 4 – поля ввода числовых значений протяженности и высоты отрезков исследования; 5 – кнопка построения профиля

Как видно из рис. 3, процесс автоматизации построения сигма-профилей проработан достаточно детально. Сегодня ведется работа по синхронизации метода построения профилей с удаленным сервером. Такая синхронизация позволит избавиться от необходимости ручного заполнения протяженности изучаемых отрезков и изменения их высот, что в еще большей сте-

пени упростит задачу обработки и сбора научного материала.

Модуль автоматизации геопривязки позволяет сократить время на создание географической привязки к местности исследования. На рис. 4 представлены экраны разрабатываемого мобильного приложения автопривязки.



Рис. 4. Интерфейс модуля автопривязки

Модуль автопривязки позволяет автоматически создать запись в БД на удаленном сервере о дислокации участка исследования. В БД сохраняются следующие данные: координаты участка исследования, данные о расположении относительно ближайшего населенного пункта, данные о расположении близлежащих водных источников (до 5 км), данные о расположе-

нии близлежащих ООПТ (до 5 км). Автопривязка создается нажатием на кнопку «ON», проверка данных, отправляемых на сервер, осуществляется при нажатии на кнопку «Проверить».

Процесс передачи данных с сервера в десктопное приложение осуществляется при помощи окна «Привязка данных» (рис. 5), расположенного в модуле БД (рис. 6).

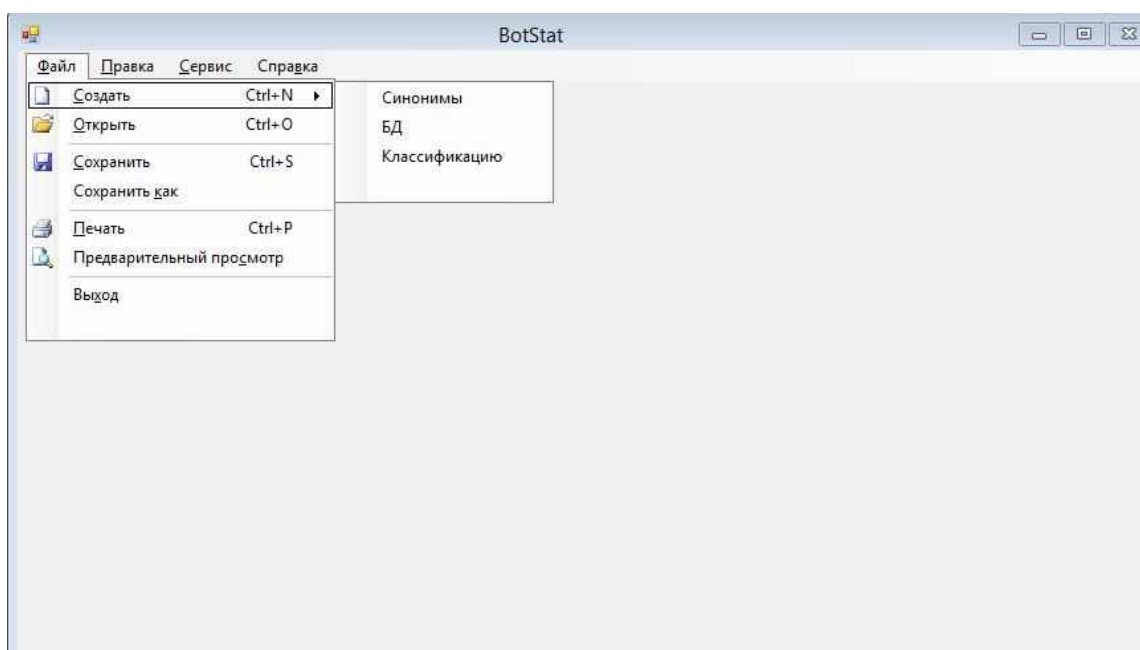


Рис. 5. Интерфейс основного окна программы BotStat

Рис. 6. Интерфейс окна привязки

Подводя итог, хочется отметить, что разработка модулей программной системы для автоматизации обработки фитосоциологических и симфитосоциологических данных находится на начальных этапах. Несмотря на это, нами уже достигнуты результаты в программной реализации ряда модулей. Вопрос о необходимости дальнейшей разработки программной системы поднимался в докладах на конференции «Актуальные вопросы изучения растительного покрова Южного Нечерноземья

России» (Брянск, 2017). Инициатива дальнейшей работы над проектом была поддержана. Были заключены устные договоренности об апробации программной системы на базе Института экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, кафедры биологии Брянского государственного университета им. И.Г. Петровского, кафедры общей биологии и экологии Курского государственного университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булохов, А.Д. Компьютерная программа INDICATOR и методические указания по ее использованию для экологической оценки местообитаний и анализа флористического разнообразия растительных сообществ: учеб. пособие для студентов естеств.-геогр., биол. и лесохозяйств. фак. вузов / А.Д. Булохов, Ю.А. Семишченков. – РИО БГУ, 2006. – 30 с.
2. Голуб, В.Б. Пакет программ для обработки геоботанических данных «Фитоценолог» / В.Б. Голуб, Е.А. Халеев, И.А. Рухленко // II совещание «Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях»: тез. докл. – СПб., 1995. – С. 13–14.
3. Зверев, А.А. Программно-информационное обеспечение исследований растительного покрова: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А.А. Зверев. – Томск, 2007. – 22 с.
4. Кузьменко, А.А. Программный пакет Sigma-Stat для автоматизации обработки данных и моделирования экологических рядов в сигма-синтаксономических исследованиях / А.А. Кузьменко // Терешниковские чтения – 2017: Современная географическая картина мира и технологии географического образования: материалы всерос. науч.-практ. конф. – Ульяновск: УлГПУ им. И.Н. Ульянова, 2017. – 306 с.
5. Новаковский, А.Б. Обзор программных средств, используемых для анализа геоботанических данных / А.Б. Новаковский // Вестник ИБ. – 2005. – № 8.
6. Новаковский, А.Б. Обзор программных средств, используемых для анализа геоботанических данных / А.Б. Новаковский // Растительность России. – 2006. – № 9. – С. 86–95.
7. Розенберг, Г.С. Об оценке точности планируемого числа наблюдений / Г.С. Розенберг // Биол. науки. – 1976. – № 3. – С. 125–129.
8. Смирнов, В.Э. SPEDIV – программа для оценки разнообразия растительности / В.Э. Смирнов // Принципы и способы сохранения биоразнообра-

- зия: материалы II всерос. науч. конф. (28-31 янв. 2006 г.). – Йошкар-Ола, 2006. – С. 142-143.
9. Tichy, L. JUICE, software for vegetation classification / L. Tichy // *J. Vegetation Sci.* – 2002. – Vol. 13. – P. 451-453.
 10. Hennekens, S.M. TURBO (VEG). Software package for input, processing and presentation of phytosociological data / S.M. Hennekens. – Wageningen (NL)-Landcaster (UK), 1996.
1. Bulokhov, A.D. *Computer Program INDICATOR and Methodical Instructions for Its Use for Ecological Assessment of Habitats and Analysis of Floristic and Variety of Plant Communities*: manual for students of natural-geographical, biological and forestry faculties of colleges / A.D. Bulokhov, Yu.A. Semenishchenkov. – RIS BSU, 2006. – pp. 30.
 2. Golub, V.B. Software package for processing of “Phyto-cenolog” geo-botanical data / V.B. Golub, E.A. Khaleev, I.A. Rukhlenko // *the II-d Conf. “Computer Databases in Botanical Investigations”*: report abstract. – S-Pb., 1995. – pp. 13-14.
 3. Zverev, A.A. *Software-Information Support of Growth Investigations*: author’s abstract of the thesis for Can. Biol. Degree / A.A. Zverev. – Tomsk, 2007 – pp. 22.
 4. Kuzmenko, A.A. Sigma-Stat software package for data processing and simulation of ecological sets sigma-syntaxonomic investigations / A.A. Kuzmenko // *The Tereshnikov’s Readings – 2017: World Current Geographical Situation and Techniques of Geographical Education: Proceedings of All-Russian Scientif.-Pract. Conf. – Ulyanovsk: Ulyanov SPU of Ulyanovsk*, 2017. – pp. 306.
 5. Novakovsky, A.B. Review of software means used for geo-botanical data analysis / A.B. Novakovsky // *Bulletin of IB.* – 2005. – No.8.
 6. Novakovsky, A.B. Review of software means used for geo-botanical data analysis / A.B. Novakovsky // *Growth of Russia.* – 2006. – No.9. – pp. 86-95.
 7. Rosenberg, G.S. On assessment of planned investigation number accuracy / G.S. Rosenberg // *Biological Sciences.* – 1976. – No.3. – pp. 125-129.
 8. Smirnov, V.E. SPEDIV – program for assessment of growth variety / V.E. Smirnov // *Principles and Methods of Bio-Variety Conservation: Proceedings of the II-d All-Russian Scientific Conf. (January 28-31, 2006).* – Yoshkar-Ola, 2006. – pp. 142-143.
 9. Tichy, L. JUICE, software for vegetation classification / L. Tichy // *J. Vegetation Sci.* – 2002. – Vol. 13. – P. 451-453.
 10. Hennekens, S.M. TURBO (VEG). Software package for input, processing and presentation of phytosociological data / S.M. Hennekens. – Wageningen (NL)-Landcaster (UK), 1996.

Статья поступила в редколлегию 20.11.17.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Киричек А.В.

Сведения об авторах:

Кузьменко Александр Анатольевич, к.биол.н., доцент Брянского государственного технического университета, Тел.: +7 (4832) 58-82-80, e-mail: sergejkonet@mail.ru.

Спасенников Валерий Валентинович, д.психол.н., профессор Брянского государственного

Kuzmenko Alexander Anatolievich, Can. Bio., Assistant Prof., Bryansk State Technical University, e-mail: sergejkonet@mail.ru.

Spasennikov Valery Valentinovich, D. Psychol., Prof., Bryansk State Technical University, e-mail: spas1956@mail.ru.

технического университета, Тел.: +7 (4832) 58-82-80, e-mail: spas1956@mail.ru.

Кондратенко Сергей Викторович, к.т.н., ст. преподаватель Брянского государственного технического университета, Тел.: +7 (4832) 58-82-80, e-mail: sergejkonet@mail.ru.

Kondratenko Sergey Victorovich, Can. Eng., Senior Lecturer, Bryansk State Technical University, e-mail: sergejkonet@mail.ru.

УДК 004.001.895

DOI: 10.12737/article_5a337fbccfbfd99.27869626

Г.И. Коновалова

НОВЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧНОГО РАЗНОТИПНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрена одна из важнейших проблем в управлении машиностроительными предприятиями – согласование целей и показателей результативности деятельности в различных функциональных подсистемах, периодах планирования и уровнях иерархии управления. В качестве метода исследования применен комплексный подход к формули-

рованию целей и выбору показателей. Предложены инструменты для согласования различных целей в условиях динамичного разнотипного производства.

Ключевые слова: машиностроительное предприятие, управление, цели, экономическая система, динамичное разнотипное производство, показатели.

G.I. Konovalova

NEW APPROACH TO MANAGEMENT IN ECONOMIC SYSTEM OF ENGINEERING ENTERPRISE UNDER CONDITIONS OF DYNAMIC DIVERSE MANUFACTURING

To date at engineering enterprises the following problem exists: non-correspondence of management decision making to the required state of production causing high production costs, a large duration of production cycle and failure to comply with timing of orders. To solve this problem the author of the paper investigated from the system positions a dynamic diverse manufacturing at an engineering enterprise and its effective management. There is offered an approach to the matching of purposes and indices at strategic, tacti-

cal and effective levels of management on the basis of dynamic plan-schedules. The developed engineering solutions are introduced at CC "UC "Bryansk Engineering Enterprise" and have a universal character and may be used at all engineering enterprises of the country.

Key words: engineering enterprise, management, purposes, economic system, dynamic diverse manufacturing, indices.

Введение

Стратегия машиностроительного предприятия характеризуется совокупностью взаимосвязанных целей, которые определяют направления развития и задают показатели, с помощью которых можно установить степень достижения целей. Цели должны быть достижимыми, конкретными, измеримыми и совместимыми, формулироваться на определенный период времени. В зависимости от горизонта планирования цели подразделяются на долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные. Поскольку на предприятии существуют различные виды деятельности, то оно ставит перед собой одновременно несколько целей: финансовые, рыночные, производственные, ресурсные, обучения персонала. В результате выстраивается иерархия целей [3].

Требование конкретности и измеримости означает, что при формулировании цели должны быть предусмотрены показатели, которые позволят определить, достигнута ли цель. Показатели должны позволять проводить измерение цели как по окончании процесса реализации решения, так и в ходе него. Предлагается осуществлять контроль достижения целей предприятия на основе показателей результатов и факторов их достижения, взаимосвязанных причинно-следственными отношениями [2].

Следовательно, для оценки результатов деятельности предприятия в текущем и долгосрочном периодах требуется совокупность взаимосвязанных количественных и качественных показателей.

Методология согласования целей и показателей

Согласование целей и показателей показано на рисунке. Для формулирования целей и определения показателей используются планы-графики, которые являются элементами универсальной системы оперативного управления динамичным разнотипным производством (УСОУДРП) [1]. Поскольку в УСОУДРП планы-графики строятся на долгосрочный период, то

предлагается по ним определять стратегические, тактические и оперативные цели и соответствующие им отсроченные и опережающие показатели. Отсроченные показатели отражают конечные цели и результаты деятельности предприятия, опережающие показатели определяют то, что необходимо сделать для достижения результатов.

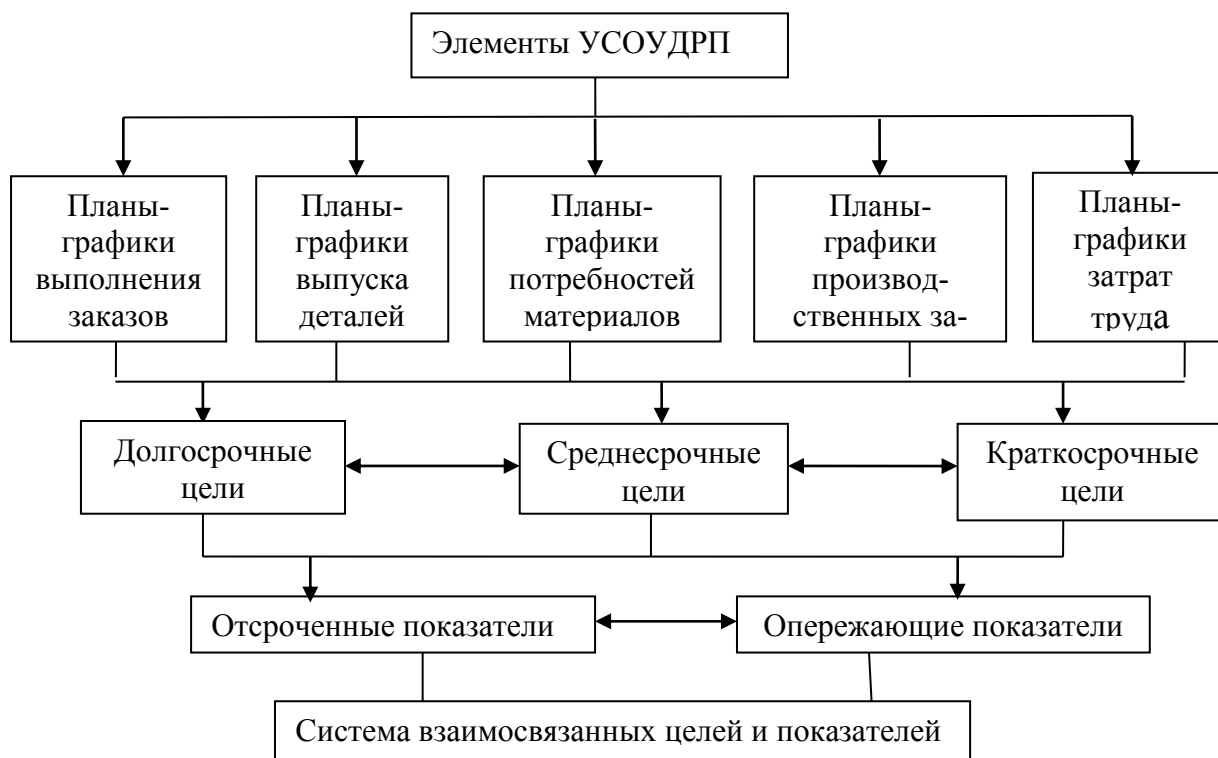


Рис. Согласование целей и показателей

Согласование целей и показателей достигается:

- 1) наличием связей между динамичными планами-графиками, относящимися к различным функциональным подсистемам;
- 2) последовательным переходом от стратегического к тактическому уровню

управления, от тактического к оперативному уровню управления.

Формулирование целей и показателей представлено в табличной форме. Финансовые цели и показатели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Финансовые цели и показатели

Период планирования	Цели	Показатели		Название плана-графика
		Отсроченные	Опережающие	
Долгосрочный	Сокращение затрат	Целевые затраты	Структура затрат	План-график производственных затрат
Среднесрочный	Управление затратами	Целевая себестоимость изделия	Мероприятия по снижению затрат	
Краткосрочный	Оперативное управление затратами	Плановые затраты на производство продукции	Отклонение фактических затрат от плановых	

Финансовые цели описывают желаемые экономические результаты машиностроительного предприятия. В долгосрочном периоде экономические результаты могут быть улучшены посредством сокращения затрат. Поэтому показателем результатов выбраны целевые затраты, а фактором достижения целевых затрат - структура затрат. Показатель «целевые затраты» определяет себестоимость продукции, которую необходимо достигнуть при разработке и производстве изделий. Общая задача снижения затрат на предприятии подразделяется на отдельные задачи отделов, цехов и производственных участков.

В среднесрочном периоде машиностроительное предприятие должно осуществлять управление затратами с учетом основных направлений сокращения расходов. В качестве показателя результатов выбрана целевая себестоимость изделия, соответствующая целевым затратам на данный период планирования. Фактором достижения целевой себестоимости изделия становятся мероприятия по непрерывному усовершенствованию структуры и снижению затрат за счет внутренних резервов производства.

В краткосрочном периоде машиностроительному предприятию требуется осуществлять оперативное управление затратами. В качестве показателя результатов выбраны плановые затраты на произ-

водство продукции, а фактором их достижения является отклонение фактических затрат от плановых.

Рыночные цели и показатели приведены в табл. 2.

Рыночная стратегия машиностроительного предприятия определяется сегментом рынка и группой клиентов, которые выбраны как целевые клиенты. К целевым сегментам рынка относятся предложения большей потребительской стоимости. Предприятие может увеличить прибыль, если в своей рыночной стратегии поставит цель расширения клиентской базы в выбранном сегменте рынка. В связи с этим в долгосрочном периоде показателем результатов является доля рынка целевых клиентов, а фактором достижения выбранного показателя - изучение сегментов рынка.

Для того чтобы обеспечить расширение клиентской базы, увеличение доли рынка целевых клиентов, необходимо в среднесрочном периоде осуществлять эффективное управление маркетингом. В среднесрочном периоде показателем результатов является прибыльность клиента, а фактором достижения этого показателя - удовлетворение потребностей клиентов, учитывающее их предпочтения с помощью таких характеристик, как цена, качество, функциональность, обслуживание.

Таблица 2

Рыночные цели и показатели

Период планирования	Цели	Показатели		Название плана-графика
		Отсроченные	Опережающие	
Долгосрочный	Расширение базы клиентов	Доля рынка целевых клиентов	Изучение сегментов рынка	План-график выполнения заказов
Среднесрочный	Управление маркетингом	Прибыльность клиента	Удовлетворение потребностей клиентов	
Краткосрочный	Управление заказами	Соблюдение срока выполнения заказов	Отклонение от срока выполнения заказов	

В краткосрочном периоде требуется осуществлять управление выполнением заказов. Поэтому показателем результатов является соблюдение срока выполнения заказов, а фактором достижения этого показателя - отклонение от срока выполнения заказов. Срок выполнения заказов вы-

бран в качестве показателя потому, что является одним из основных факторов репутации предприятия на рынке как надежного поставщика.

Производственные цели и показатели приведены в табл. 3.

Таблица 3

Производственные цели и показатели

Период планирования	Цели	Показатели		Название плана-графика
		Отсроченные	Опережающие	
Долгосрочный	Эффективное производство	Показатель эффективности производственного цикла	Модернизация оборудования. Совершенствование технологии, организации труда	План-график выпуска деталей
Среднесрочный	Создание комплектного незавершенного производства	Коэффициент комплектности незавершенного производства	Мероприятия по непрерывному усовершенствованию	
Краткосрочный	Выполнение оперативных плановых заданий	Коэффициент комплектности незавершенного производства	Отставание, сверхплановое превышение в днях	

Производственные цели показывают, какими способами следует реализовывать избранную стратегию. Машиностроительное предприятие может увеличить выпуск

продукции, если в своей производственной стратегии поставит цель организации эффективного производства. В долгосрочном периоде показателем результатов является

показатель эффективности производственного цикла, а факторами достижения этого показателя - модернизация оборудования, совершенствование технологии и организации труда. Модернизация оборудования, совершенствование технологии и организации труда являются наиважнейшей задачей для машиностроительных предприятий в настоящее время, так как способствуют сокращению затрат, уменьшению длительности производственного цикла и созданию на этой основе эффективного производства.

В среднесрочном периоде в качестве цели выбрано создание комплектного незавершенного производства. Поэтому показателем результатов является коэффициент комплектности незавершенного производства, а факторами достижения этого показателя – мероприятия по непрерывному усовершенствованию. Мероприятия по непрерывному усовершенствованию предполагают сокращение бесполезных действий и разного рода потерь (сверхнормативных запасов материалов, заделов деталей, запасов готовой продукции и др.). Данная цель ориентирует цеха на организацию ритмичной работы и равномерный

выпуск продукции в соответствии с установленным графиком.

Так как в краткосрочном периоде планируются конкретные действия над предметами, то в качестве цели выбрано выполнение оперативных плановых заданий. Показателем результатов является коэффициент комплектности незавершенного производства на текущий рабочий день, а факторами достижения данного показателя - отставание и сверхплановое превышение по деталям в днях.

Ресурсные цели и показатели приведены в табл. 4. Ресурсные цели определяют потребность в материальных ресурсах для достижения производственных целей. Машиностроительное предприятие может создать эффективное производство, если в своей ресурсной стратегии поставит цель снижения материалоемкости продукции. В долгосрочном периоде показателем результатов является доля снижения расхода материалов на изделие, а фактором достижения этого показателя - структура материальных ресурсов. Общая задача снижения материалоемкости производства подразделяется на конкретные задачи отделам, цехам, участкам.

Таблица 4

Ресурсные цели и показатели

Период планирования	Цели	Показатели		Название плана-графика
		Отсроченные	Опережающие	
Долгосрочный	Снижение материалоемкости продукции	Доля снижения расхода материалов на изделие	Структура материальных ресурсов	План-график потребностей материалов
Среднесрочный	Управление материальными ресурсами	Расход материалов на плановый период	Мероприятия по снижению материалоемкости изделий	
Краткосрочный	Экономия материальных ресурсов	Расход материалов на сутки	Рациональное использование материалов	

В среднесрочном периоде требуется эффективно управлять материальными ресурсами. Показателем результатов является расход материалов на плановый период, а фактором достижения этого показателя -

мероприятия по снижению материалоемкости изделий. Данный подход позволяет выявить те виды материальных ресурсов, экономия которых преимущественно обеспечивает эффективность производства. На

оперативном уровне целью управления является экономия материальных ресурсов. Поэтому в краткосрочном периоде в качестве показателя результатов выбран расход материалов на сутки, фактором достиже-

ния этого показателя является рациональное использование материалов.

Цели и показатели обучения работников приведены в табл. 5.

Таблица 5

Цели и показатели обучения работников

Период планирования	Цели	Показатели		Название плана-графика
		Отсроченные	Опережающие	
Долгосрочный	Обучение работников	Коэффициент обучения работников	Повышение эффективности деятельности работников	План-график затрат труда
Среднесрочный	Сохранение работников	Процент текучести кадров	Удовлетворенность работников	
Краткосрочный	Мотивация работников	Зарботная плата работников	Поощрительные выплаты	

Долгосрочные результаты машиностроительного предприятия могут быть улучшения посредством обучения работников. В долгосрочном периоде показателем результатов является коэффициент обучения работников, а фактором достижения этого показателя - повышение эффективности деятельности работников.

В среднесрочном периоде в качестве цели выбрано сохранение работников. Показателем результатов является процент текучести кадров, а фактором достижения этого показателя - удовлетворенность ра-

ботников. Цель сохранения персонала направлена на сбережение работников, в которых предприятие заинтересовано. Удовлетворенность работников способствует повышению производительности труда, качества продукции и степени обслуживания потребителей.

В краткосрочном периоде в качестве цели выбрана мотивация работников. Показателем результатов является заработная плата работников, а фактором достижения этого показателя - поощрительные выплаты.

Заключение

Научная новизна проведенного исследования состоит в следующем:

1. Впервые предложены инструменты формулирования и согласования стратегических, тактических и оперативных целей и показателей - динамичные планы-графики выполнения заказов, выпуска деталей, потребностей материалов, производственных затрат, затрат труда.

2. В составе рассмотренных показателей предложены новые показатели - плановые

затраты на производство продукции и коэффициент комплектности незавершенного производства, ранее не предлагавшиеся в научной литературе и не применявшиеся в практике машиностроительных предприятий.

3. Данный подход внедрен в ЗАО «УК «Брянский машиностроительный завод», имеет универсальный характер и может быть применен на всех машиностроительных предприятиях страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалова, Г.И. Методология внутрифирменного управления на основе системной интеграции / Г.И. Коновалова // Менеджмент в России и за рубежом. - М., 2015. - № 2. - С. 109-118.
2. Коновалова, Г.И. Методология внутрифирменного управления на основе системной оптими-

1. Konovalova, G.I. Methodology for inner-corporation management based on system integration / G.I. Konovalova // *Management in Russia and Abroad*. – М., 2015. – No.2. – pp. 109-118.
2. Konovalova, G.I. Methodology for inner-corporation management based on system optimiza-

ции / Г.И. Коновалова // Менеджмент в России и за рубежом. - М., 2015. - № 5. - С. 121-128.

3. Коновалова, Г.И. Развитие методологии внутрифирменного управления: монография / Г.И. Коновалова. - Брянск: БГТУ, 2014. - 375 с.

tion / G.I. Konovalova // *Management in Russia and Abroad*. – М., 2015. – No.5. – pp. 121-128.

3. Konovalova, G.I. *Development of Methodology for Inner-Corporation Management*: monograph / G.I. Konovalova. – Bryansk: BSTU, 2014. – pp. 375.

Статья поступила в редколлегию 13.11.17.

*Рецензент: д.э.н., доцент Брянского государственного
технического университета
Ерохин Д.В.*

Сведения об авторах:

Коновалова Галина Ильинична, к.э.н., профессор кафедры «Экономика, организация производства и управление» Брянского государственного технического университета, e-mail: eopuk@mail.ru.

Konovalova Galina Ilinichna, Can. Econ., Prof. of the Dep. “Economy, Production Organization and Management”, Bryansk State Technical University, e-mail: eopuk@mail.ru.

УДК 004.942

DOI: 10.12737/article_5a337fbd303d66.87300301

А.В. Аверченков, Е.Э. Аверченкова, Д.И. Гончаров, В.П. Федоров, Г.А. Федяева

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СОВЕТУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Предложен алгоритм для построения математических зависимостей, позволяющих прогнозировать социально-экономическое развитие региона РФ в разрабатываемой информационной советующей системе. На его основе в программном модуле Statistica сформированы уравнения регрессии, описывающие наиболее значимые тренды в социально-экономическом развитии

Брянской области. Для полученных функций определена степень соответствия трендовой модели исходным данным.

Ключевые слова: математическое моделирование, социально-экономическое развитие, регрессионный анализ, информационная советующая система, управленческие решения.

A.V. Averchenkov, E.E. Averchenkova, D.I. Goncharov, V.P. Fedorov, G.A. Fedyaeva

BRYANSK REGION SOCIAL ECONOMIC DEVELOPMENT SIMULATION FOR ADVISING INFORMATION SYSTEM

In this paper there is described an approach to the computer model creation of social economic processes by the example of the Bryansk region. A flow block is presented, which manifests the logic of the operation of an advising information system, a choice of an approximating function type, which is selected according to the method of least deviations from actual point data. The assessment of actual suitability of the created simulator is carried out by the computation of a determination rate. The verification of models created is carried out with the aid of the data of the department for economic development of the Bryansk region; there are defined basic tendencies of their changes in the course of the period of time under consideration. In the paper it is offered to form a forecast of a region development on 12 directions, a

total number of specific indices to the computation is 44. At the formation of mathematic functions there were used statistical data of 2011-2016 and data forecasted for the Bryansk region up to 2019 taken from the official documentation of the Bryansk regional government for the development of the forecast of social economic development of the Russian Federation for the period up to 2019 (for the subjects of the Russian Federation). For easier comprehension the computation data are presented as 3D diagrams. Besides, the paper reports the assessment of efficiency and actuality of all mathematical approaches, models and methods used.

Key words: mathematical modeling, social economic development, regression analysis, advising information system, management decisions.

Моделирование социально-экономического развития региона характеризуется прежде всего сложностью учета влияющих факторов [1]. Следовательно, формирование реалистичной математической модели, описывающей процессы в региональной социально-экономической системе, позволит менеджерам регионального правительства принимать обоснованные управленческие решения.

Для унификации подхода к построению математических зависимостей, позволяющих прогнозировать значения показателей социально-экономического развития любого региона РФ в информационной со-

ветующей системе (ИСС), ниже предлагается соответствующий алгоритм (рис. 1).

Алгоритм обосновывает целесообразность применения конкретной математической функции для описания трендов развития показателей прогноза социально-экономического развития региона РФ в разрабатываемой ИСС. Так, пользователь ИСС может выбрать конкретные показатели, закрепленные за исполнительными органами государственной власти или структурными подразделениями регионального правительства, которые будут моделироваться средствами ИСС. Для них производится выбор типа аппроксимирующей функции по методу

наименьших отклонений от фактических точечных данных. Оценка практической пригодности построенной математической модели осуществляется путем расчета коэффициента детерминации R^2 : если $R^2 > 0,5$, то предлагаемая математическая модель пригодна для практического применения в ИСС, в противном случае программой осуществляется выбор другого типа аппроксимации.

Оценка полученных аппроксимирующих функций производится по критерию Фишера, расчетные значения которого сравниваются с табличным согласно принятому уровню значимости $\alpha = 0,05$. Если расчетное значение F-критерия больше критического, то построенную математическую модель считают адекватной (рабочей) с вероятностью $1 - \alpha$, в противном случае модель считается нерабочей при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$ и выполняется выбор другого вида функции.

ИСС определяет, требуется ли для аппроксимирующей функции линеаризация. Если да, то для новой, линеаризованной функции рассчитывается коэффициент детерминации R^2 . Если он больше соответствующего показателя для исходной аппроксимирующей функции, то происходит переход к завершению алгоритма и осуществляется расчет соответствующих характеристик принятой функции показателей прогноза социально-экономического развития региона.

Параметры полученных функций характеризуются по t-критерию, рассчитываются средние квадратические отклонения факторного и результативного признаков от своих усредненных значений, рассчитывается коэффициент эластичности и определяются факторы, оказывающие наиболее ощутимое влияние на результативный признак, определяется коэффициент корреляции и его значимость по t-критерию.

Таким образом, для каждого показателя, закрепленного за исполнительными органами государственной власти или структурными подразделениями регионального правительства, в ИСС проводится выравнивание данных с помощью

аппроксимирующих функций. ИСС оценивает значения показателей на ближайшую перспективу и с учетом принципа существенности, изложенного ниже, формирует рекомендации о необходимости управленческого воздействия на показатели [2].

Для апробации алгоритма, представленного на рис. 1, авторами был выбран Департамент экономического развития Брянской области в качестве базового структурного подразделения регионального правительства [3]. Показатели, закрепленные за ним, характеризуют следующие направления социально-экономической сферы: население, производство товаров и услуг, торговля и услуги населению, внешнеэкономическая деятельность региона, малое и среднее предпринимательство, инвестиции региона, труд и занятость, развитие социальной сферы, окружающая среда, туризм.

Такой выбор объясняется тем, что Департамент экономического развития Брянской области реализует задачи по социально-экономическому развитию региона, осуществляет стратегическое планирование, способствует развитию инновационной активности в регионе, осуществляет контроль выполнения государственных и региональных программ на территории Брянской области и т.д. [1]. Следовательно, показатели, определяемые этим департаментом, имеют ключевое место в социально-экономическом развитии региона.

В работе предлагается сформировать прогноз развития региона по 12 направлениям, общее количество конкретных показателей к расчету составляет 44. При формировании математических функций были использованы статистические данные за 2011-2016 гг. и прогнозируемые данные Брянского региона до 2019 г., взятые из официальной документации правительства Брянской области для разработки прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2019 г. (для субъектов Российской Федерации).

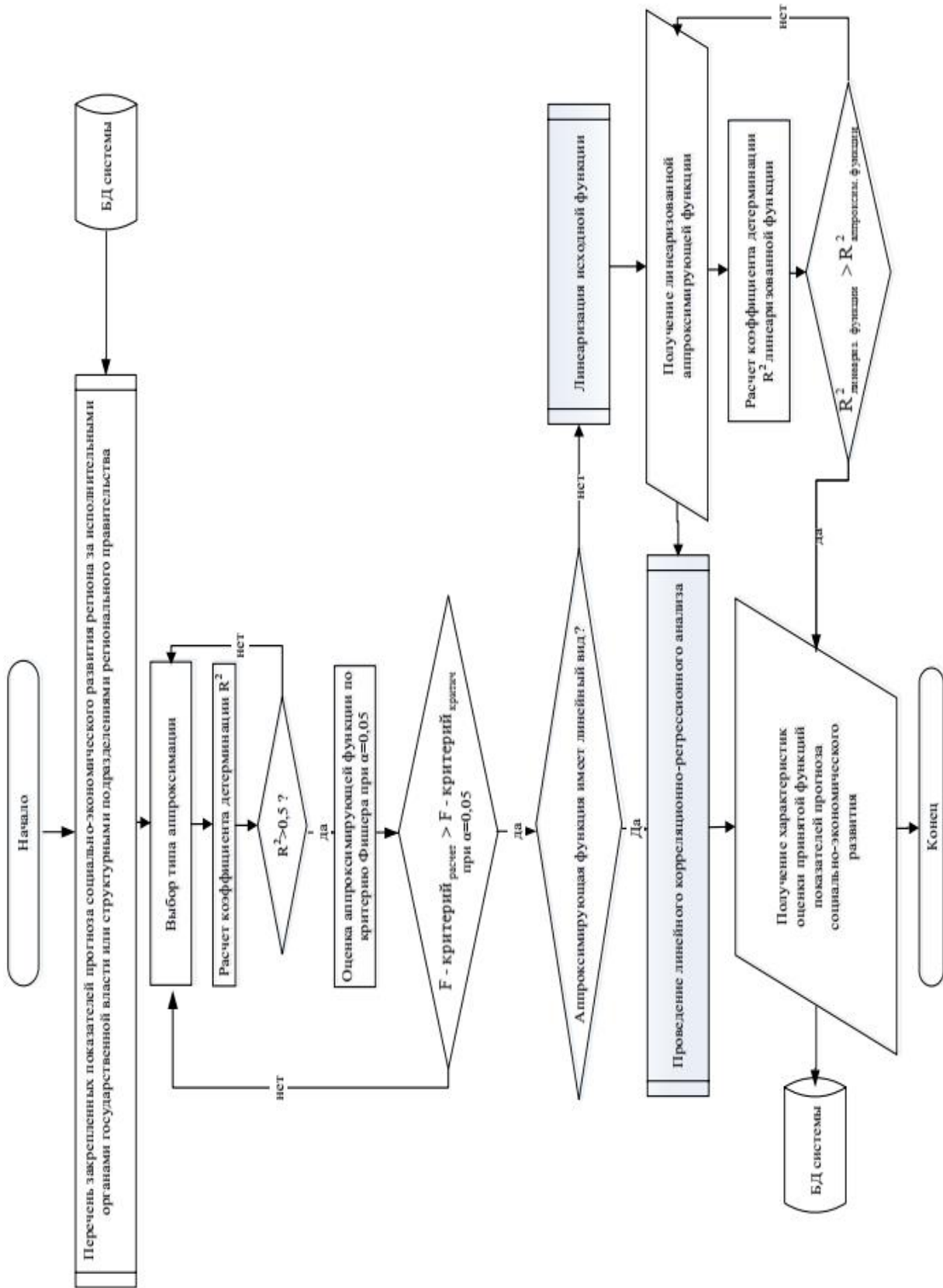


Рис. 1. Алгоритм формирования показателей прогноза социально-экономического развития региона в ИСС

При моделировании показателей был использован такой влияющий фактор, как финансирование соответствующих направлений социально-экономического развития региона. Для этого применялась ведомственная структура расходов Департамента экономического развития Брянской области за 2011-2019 гг. Ранее в статьях авторов были рассмотрены особенности формирования и расходования бюджета Брянской области на 2016-2019 гг. [3;4]. Было показано, что ведомственная структура расходов бюджета как распределение бюджетных ассигнований, предусмотренных законом Брянской области о бюджете, определяет объем и направление финансирования приоритетных для региона направлений его социально-экономического развития. Прогнозирование собственных доходов областного бюджета осуществлялось в соответствии с нормами, установленными статьей 174.1 Бюджетного кодекса

Российской Федерации. Кроме того, при расчетах учитывались положения нормативных правовых актов Российской Федерации и Брянской области, предусматривающие изменения в законодательстве о налогах и сборах, бюджетном законодательстве, вступившие в действие с 1 января 2017 года.

В таблице в качестве примера приводятся аппроксимирующие функции по основным группам показателей развития региональной социально-экономической системы и их характеристики.

Итак, при формировании модели показателей социально-экономического развития Брянской области были получены аппроксимирующие функции, ограниченные диапазоном заданных значений ведомственных расходов бюджета Брянской области за 2012 – 2019 гг. и выступающие в качестве интерполирующей зависимости.

Таблица

Основные характеристики функций показателей прогноза социально-экономического развития Брянской области

Характеристика	Валовой региональный продукт, $y = 5,3938x^4 - 97,948x^3 + 1952,4x^2 + 11176x + 197178$	Индекс потребительских цен, $y = 0,0811x^4 - 1,2929x^3 + 6,0538x^2 - 7,5484x + 107,64$	Индекс промышленного производства, $y = 0,2975x^4 - 5,686x^3 + 36,884x^2 - 91,942x + 175,52$	Инвестиции в основной капитал, $y = -170,57x^4 + 3407,3x^3 - 23172x^2 + 64250x + 1868,7$
Показатель достоверности аппроксимации R^2	0,999	0,728	0,830	0,988
Критерий Фишера (F-критерий)	8565,43	16,05	29,38	506,82
Коэффициент эластичности ε	-3,26	-2,88	-5,94	-3,48
σ_x	57080,69	3,81	5,83	9250,48
Фактическое значение t-критерия параметра a, t_a	12,31	11,21	20,05	12,95
Фактическое значение t-критерия параметра b, t_b	1,87	0,29	0,93	1,43
Парный коэффициент корреляции r	-0,76	-0,12	-0,38	-0,58
Коэффициент детерминации $D, \%$	58,44	1,45	14,48	34,11
Фактическое значение t-критерия коэффициента $r, t_{кр}$	2,90	0,30	1,01	1,76

Сложности, взаимное влияние процессов, протекающих в социально-экономической системе региона, определили выбор типа аппроксимации с помощью полинома 4-й степени. Формирование функций производилось с помощью ресурсов MS Excel. Так как аппроксимирующие функции являются нелинейными, то была проведена их линеаризация путем замены переменной [5;6]. Также были рассчитаны некоторые показатели, характеризующие полученные математические модели. Для оценки средней вариации факторных и результирующего признаков были рассчитаны соответствующие среднеквадратические отклонения. Значимость параметров a и b уравнения регрессии была оценена с помощью коэффициентов Стьюдента t_a и t_b . Проведено сравнение их с табличными значениями. Аналогично (по критерию Стьюдента) была проанализирована значимость рассчитанного коэффициента корреляции.

Расчет достоверности аппроксимации R^2 для полученных математических функций показал тесноту связи между рассматриваемыми признаками и дал оценку надежности вида предлагаемого уравнения регрессии. Для всех функций, представленных в таблице,

показатель R^2 имеет величину, превосходящую значение 0,5. Так как применяемый тип аппроксимации является полиномиальным, то возникла необходимость оценить, насколько лучше предложенный вид выравнивания, чем обычный линейный. Для этого был использован коэффициент детерминации D^2 . Анализ значений D^2 показал, что полученные полиномиальные уравнения регрессии являются более надёжными, чем линейная регрессионная модель.

Использование критерия Фишера для проверки значимости построенной регрессионной модели оценивалось с надёжностью 95%. Все расчетные значения F -критерия были больше табличного критического значения ($F_{\text{критич}}=5,99$). Расчетные значения $F_{\text{расч}}$ для всех функций совпадали, так как количество наблюдений ($n=8$ лет) и число объясняющих переменных ($k=1$) во всех случаях были одинаковыми [7]. Очевидно, что предложенные модели с вероятностью 95% являются адекватными.

Ниже приведено визуальное представление некоторых полученных зависимостей, описывающих наиболее значимые тренды в социально-экономическом развитии Брянской области (рис. 2).

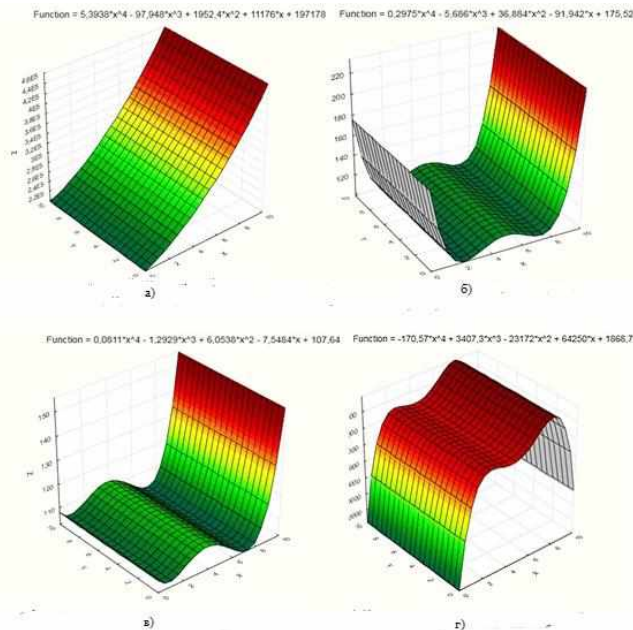


Рис. 2. Пример полученных зависимостей, описывающих наиболее значимые тренды в социально-экономическом развитии Брянской области: а - валовой региональный продукт (млн руб.); б - индекс промышленного производства (в % к предыдущему году в сопоставимых ценах); в - индекс потребительских цен за период с начала года (в % к предыдущему году); г - инвестиции в основной капитал (в ценах соответствующих лет, млн руб.)

Предложенный авторами алгоритм позволяет сформировать математические функции для прогнозирования социально-экономического развития отдельных регионов РФ. С учетом получаемых результатов разрабатываемая ИСС формирует управленческие мероприятия,

которые назначаются в соответствии с системой продукционных правил [1]. Это позволит учитывать разные комбинации трендов показателей прогноза социально-экономического развития отдельного региона РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверченкова, Е.Э. Информационный мониторинг региональных социально-экономических систем / Е.Э. Аверченкова, А.В. Аверченков. - Брянск: БГТУ, 2016. - 177с.
 2. Аверченкова, Е.Э. Концептуальная модель оценки влияния внешней среды на региональную социально-экономическую систему / Е.Э. Аверченкова, А.В. Аверченков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. -2016. - № 9. - С. 148-153.
 3. Аверченкова, Е.Э. Особенности формирования и распределения бюджета Брянской области в 2016 г. / Е.Э. Аверченкова, К.Ю. Помогаева // Проблемы сохранения культурного наследия: материалы VI междунар. семинара (2 дек. 2016 г.) / филиал ОАНО ВО «МПСУ» в г. Брянске. - Брянск: Новый проект, 2017. - С. 165-171.
 4. Аверченкова, Е.Э. Обзор основных направлений формирования бюджета Брянской области на 2017-2019 гг. / Е.Э. Аверченкова, Д.И. Гончаров // Проблемы сохранения культурного наследия: материалы VI междунар. семинара (2 дек. 2016 г.) / филиал ОАНО ВО «МПСУ» в г. Брянске. - Брянск: Новый проект, 2017. - С. 162-165.
 5. Сухарев, О.С. Региональная экономическая политика: структурный подход и инструменты (теоретическая постановка) / О.С. Сухарев // Экономика региона. - 2015. - № 2.
 6. Сухарев, О.С. Отдельные современные проблемы регионального развития / О.С. Сухарев // Современные тенденции регионального развития: материалы III междунар. науч.-практ. конф. - 2017. - С. 32-51.
 7. Сухарев, О.С. Экономическая стратегия и тактика в России / О.С. Сухарев // Управление стратегическим развитием территорий: сб. науч. тр. / отв. ред. О.Н. Фомин. - 2016. - С. 13-16.
1. Averchenkova, E.E. *Information Monitoring of Regional Social Economic Systems* / E.E. Averchenkova, A.V. Averchenkov. – Bryansk: BSTU, 2016. – pp. 177.
 2. Averchenkova, E.E. Conceptual model of assessment of environment impact upon regional social-economic system / E.E. Averchenkova, A.V. Averchenkov // *Bulletin of Shukhov STU*. – 2018. – No.9. – pp. 148-153.
 3. Averchenkova, E.E. Peculiarities in budget formation and distribution of the Bryansk region in 2016 / E.E. Averchenkova, K.Yu. Pomogaeva // *Problems of Cultural Heritage Preservation: Proceedings of the VI-th Inter. Seminar (December 2, 2016)* / Branch of OASC VO “MPSU” in Bryansk. – Bryansk: New Project, 2017. – pp. 165-171.
 4. Averchenkova, E.E. Basic directions review in budget formation of the Bryansk region for 2017-19 / E.E. Averchenkova, D.I. Goncharov // *Problems in Cultural Heritage Preservation: Proceedings of the VI-th Inter. Seminar (December 2, 2016)* / Branch of OASC VO “MPSU” in Bryansk. – Bryansk: New Project, 2017. – pp. 162-165.
 5. Sukharev, O.S. Regional economic policy: structural approach and tools (theoretical setting) / O.S. Sukharev // *Region Economy*. – 2015. – No.2.
 6. Sukharev, O.S. Some current problems in regional development / O.S. Sukharev // *Current Trends of Regional Development: Proceedings of the III-d Inter. Scientif. Tech. Conf.* – 2017. – pp. 32-51.
 7. Sukharev, O.S. Economic strategy and tactics in Russia / O.S. Sukharev // *Strategic Development Management of Regions: Proceedings* / O.N. Fomin, responsible editor. – 2016. – pp. 13-16.

Статья поступила в редколлегию 20.11.17.

Рецензент: д.п.с.н., профессор Брянского государственного технического университета
Спасенников В.В.

Сведения об авторах:

Аверченков Андрей Владимирович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 58-83-62, e-mail: mahar@mail.ru.

Аверченкова Елена Эдуардовна, к.т.н., доцент кафедры «Экономика, организация производства и управление» Брянского государственного технического университета, тел.: (+7903) 869-14-30, e-mail: lana_ki@inbox.ru.

Гончаров Дмитрий Иванович, студент кафедры «Системы информационной безопасности»

Averchenkov Andrey Vladimirovich, D. Eng., Prof., Head of the Dep. "Computer Techniques and Systems", Bryansk State Technical University, e-mail: mahar@mail.ru.

Averchenkova Elena Eduardovna, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Economy, Production Organization and Management", Bryansk State Technical University, e-mail: lana_ki@inbox.ru.

Брянского государственного технического университета, тел.: (+7915) 538-08-40, e-mail: jeriho32@yandex.ru.

Фёдоров Владимир Павлович, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 58-82-20, e-mail: tm-bgtu@yandex.ru.

Федяева Галина Анатольевна, д.т.н., доцент кафедры «Электронные, радиоэлектронные и электротехнические системы» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 56-36-02, e-mail: aep-bgtu@yandex.ru.

Goncharov Dmitry Ivanovich, Student of the Dep. "Information Safety Systems", Bryansk State Technical University, e-mail: jeriho32@yandex.ru.

Fyodorov Vladimir Pavlovich, D. Eng., Prof. of the Dep. "Engineering Techniques", Bryansk State Technical University, e-mail: tm-bgtu@yandex.ru.

Fedyeva Galina Anatolievna, D. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Electronic, Radio-Electronic and Electro-Technical Systems", Bryansk State Technical University, e-mail: aep-bgtu@yandex.ru.

УДК 347.775

DOI: 10.12737/article_5a337fbde60ab3.69866796

В.Т. Еременко, М.Ю. Рытов, А.П. Горлов, В.И. Аверченков, В.П. Фёдоров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ УГРОЗ

Рассмотрено моделирование процесса оценки эффективности комплексных систем защиты информации путем создания автоматизированной системы, основными функциями которой являются: проведение аудита информационной безопасности (ИБ), формирование модели угроз ИБ, рекомендаций по созданию системы защиты информации,

комплекта организационно-распорядительной документации.

Ключевые слова: информационная безопасность, оценка эффективности, аудит ИБ, модель угроз, автоматизированная система, объект информатизации, защищенность, аппарат сетей Петри.

V.T. Eremenko, M.Yu. Rytov, A.P. Gorlov, V.I. Averchenkov, V.P. Fyodorov

EFFICIENCY ASSESSMENT PROCESS SIMULATION OF COMPLEX SYSTEMS FOR INFORMATION PROTECTION OF ENTERPRISES AT THREAT SIMULTANEOUS REALIZATION

The purpose of this paper is a thorough consideration of approaches to the process assessment simulation of the complex system efficiency for information protection of enterprises at the simultaneous realization of some threats. On the statistics basis during recent years in the statistics there is substantiated a topicality of subjects chosen, basic problems of data protection are described. Basic regulations used at the formation of a complex system for information protection are presented. A process for the development of simulators, information support and a software complex for an automation assessment of the protection level and complex system efficiency of information protection is described. The paper reports the circuit of the operation mechanism of the automated system for the efficiency assessment of the information protection system used

at an enterprise, and also basic results of the application of a similar software complex: documentation, simulators of potential threats, recommendations for protection system updating are considered. Petri network is formed on the basis of initial data on the considered protected object of modeling. It is colored, probable and inhibitory which allows assessing the efficiency of the system of object protection taking into account timeliness of the reaction of counteraction means and threat realization simultaneity. The conclusions on the efficiency of use of the procedure presented are drawn.

Key words: information security, efficiency assessment, IF audit, threat model, automated system, informatization object, security, apparatus of Petri network.

Введение

На сегодняшний день проблема защиты конфиденциальной информации стоит особенно остро. Ущерб от искажения, уничтожения, хищения, разглашения конфиденциальной информации превышает миллионы рублей.

Согласно статистике, за 2015 год на территории РФ зафиксировано около 120 тысяч преступлений в сфере информационной безопасности. К этим преступлениям относятся неправомерный доступ к конфиденциальной информации, разглашение сведений, составляющих коммерческую тайну, создание, использование или распространение вредоносных программ

для ЭВМ или машинных носителей с такими программами.

Промышленное предприятие – имущественный комплекс, используемый для осуществления предпринимательской деятельности. В состав промышленного предприятия входят все виды имущества, предназначенного для его деятельности.

Промышленные предприятия как объекты информатизации (ОИ) являются совокупностью информационных ресурсов, средств и систем обработки информации, используемых в соответствии с заданной информационной технологией, а также средств их обеспечения, помещений

и объектов, в которых эти средства и системы установлены, или помещений и объектов, предназначенных для ведения конфиденциальных переговоров [1; 2].

Комплексная система защиты информации (КСЗИ) - это система, в которой действуют в единой совокупности правовые, организационные, технические, программно-аппаратные и другие подсистемы, методы, способы и средства, обеспечива-

ющие защиту информации от всех потенциально возможных и выявленных угроз и каналов утечки. Составные элементы КСЗИ: правовая, организационная, инженерно-техническая, программно-аппаратная и криптографическая защита информации. Элементы КСЗИ, в свою очередь, в общем виде состоят из средств, устройств и способов защиты информации, а также методов их использования.

Методика оценки защищенности объекта информатизации

Практический опыт создания комплексных систем защиты информации на объектах свидетельствует, что чаще всего специалистам приходится дорабатывать и систематизировать уже внедренные на объекте средства и методы защиты информации. Также для поддержания высокого уровня защищенности информации необходимо периодически проводить аудит информационной безопасности и оценивать эффективность функционирования КСЗИ.

При решении рассматриваемой проблемы одной из важнейших задач является разработка математических моделей, ин-

формационного обеспечения и программного комплекса автоматизации оценки уровня защищенности и эффективности комплексных систем защиты информации [2; 4].

В основу предлагаемой методики положена оценка защищенности объекта информатизации согласно положениям законодательной базы РФ, требованиям государственных стандартов, а также проверка наличия организационно-распорядительной документации, регламентирующей защищенную обработку конфиденциальной информации.

Основной задачей разрабатываемой АС (автоматизированной системы) является выявление уязвимостей существующих систем обработки и защиты информации. В качестве входных данных используются данные об объекте информатизации, которые вводятся на основе специально разработанных опросных анкет.

Алгоритм работы АС включает (рис. 1):

1. Ввод исходных данных.
2. Формирование информационной модели объекта информатизации.
3. Оценку состояния защищенности ОИ.
4. Математическое моделирование угроз ИБ.
5. Формирование модели угроз ИБ.
6. Формирование рекомендаций по совершенствованию системы защиты информации.

7. Формирование организационно-распорядительной документации. Преимуществом данной методики является возможность снизить трудоемкость работ, сократить временные и материальные затраты на проведение оценки уровня информационной безопасности, повысить качество проектных решений. Наиболее распространена практика создания единой системы защиты из разрозненных элементов, когда к уже существующей информационной среде добавляются средства защиты информации. Современные условия диктуют другой подход, который заключается в том, что информационная среда изначально проектируется с точки зрения защиты всех ее компонентов. Это предполагает возможность оценивать еще на этапе проектирования целесообразность использования той или иной СЗИ, а также моделировать взаимодействие СЗИ в едином информационном пространстве [3].

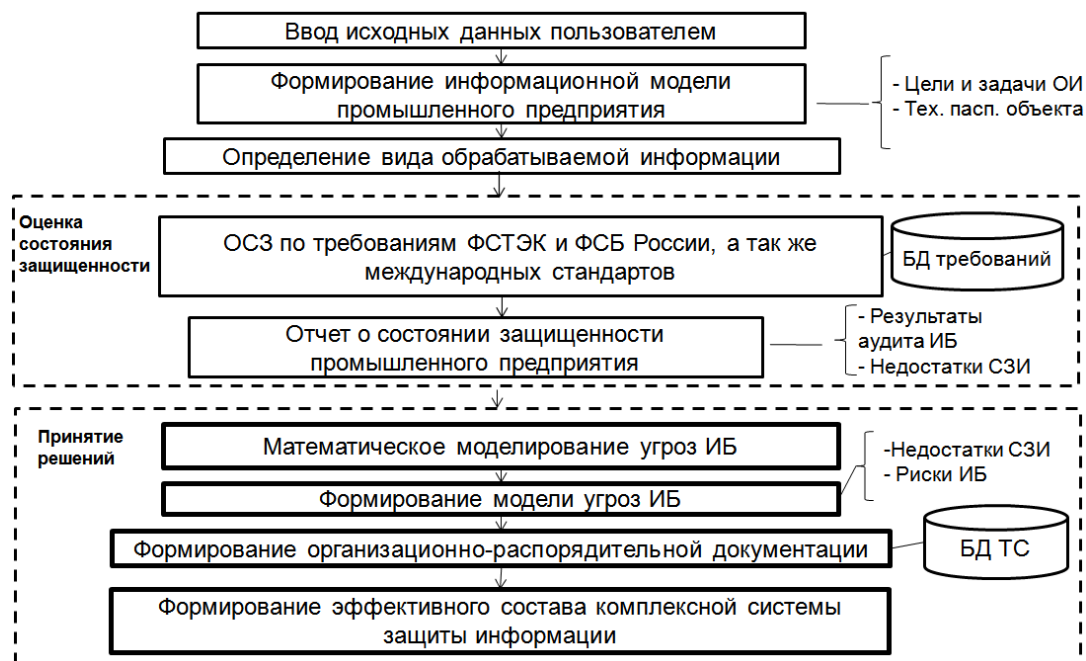


Рис. 1. Механизм работы АС оценки эффективности КСЗИ

Состав и функциональность проектируемой СЗИ должны соответствовать актуальным для рассматриваемой информационной системы угрозам. Для удовлетворения этого требования необходимо на этапе проектирования выявить существующие уязвимости и угрозы информационной безопасности, определить степень актуальности этих угроз и вероятность их реализации, а также возможный ущерб от их реализации. Этот этап проектирования СЗИ является одним из наиболее важных и трудоемких, так как от результата выявления угроз информационной безопасности зависит то, какими средствами будет обеспечиваться защита конфиденциальной информации.

Для автоматизации данного процесса необходимо разработать математическую модель выявления уязвимостей системы защиты информации.

Ввод исходных данных представляет собой заполнение опросных анкет, позволяющих выявить вид обрабатываемой информации, существующие средства защиты информации, угрозы ИБ, уязвимости системы защиты информации, а также прочие данные, необходимые для составления информационной модели объекта информатизации.

Следующим этапом является оценка состояния защищенности ОИ. Выделяют-

ся 3 основных направления оценки защищенности:

- оценка на соответствие требованиям стандартов (ГОСТ, СТР-К, ISO);
- определение наличия технических средств защиты информации на объекте информатизации;
- выявление организационно-распорядительной документации, регламентирующей защищенную обработку конфиденциальной информации.

По результатам данного этапа формируется отчет о состоянии защищенности объекта информатизации.

На этапе формирования модели угроз информационной безопасности формируется описание системы обработки информации, выявляются пользователи данной системы, определяется уровень исходной защищенности, степень актуальности угроз, рассчитывается вероятность реализации угроз.

Актуальность рисков определяется исходя из типа обрабатываемой информации, объема обрабатываемых в системе данных, структуры информационной системы, режима обработки данных и т.д.

Для того чтобы определить актуальность угроз для данного объекта информатизации, целесообразно выделить критерии актуальности каждой конкретной угрозы. Так, для угрозы сетевой атаки

можно выделить такие критерии актуальности, как наличие доступа к глобальной сети, наличие в структуре локальной вычислительной сети средств межсетевого экранирования, антивирусной защиты и т.д.

Следующим этапом является формирование рекомендаций по совершенствованию системы защиты информации. Рекомендации разделяются на 3 основных раздела:

- рекомендации по организационной защите информации;
- рекомендации по инженерно-технической защите информации;
- рекомендации по программно-аппаратной защите информации.

По каждому разделу приводится ряд мер, выполнение которых необходимо для защиты от выявленных угроз. Также на данном этапе подбираются оптимальные средства технической и программно-

аппаратной защиты информации исходя из допустимой стоимости и набора необходимых характеристик.

Заключительным этапом является формирование организационно-распорядительной документации, регламентирующей защиту конфиденциальной информации.

На данном этапе проводится проверка наличия организационно-распорядительной документации на объекте, выявляются недостающие документы и, если нужно, проводится сбор данных, необходимых для формирования дополнительных документов [5].

Выходными данными этого блока является комплект организационно-распорядительной документации, регламентирующей защиту конфиденциальной информации.

Результаты работы автоматизированной системы представлены на рис. 2.



Рис. 2. Результаты работы АС оценки эффективности КСЗИ

Модель реагирования средств защиты на угрозы безопасности

Для моделирования реагирования средств защиты на угрозы безопасности фишки в данной сети определены в множестве $Color = \{red, blue\}$, причем фишки $Color = red$ соответствуют угрозам безопасности, а фишки $Color = blue$ - мето-

дам противодействия. При этом в позициях $\{p1, p2, p3, p5\}$ могут находиться только фишки $Color = red$, в $\{p4, p5'\}$ - только фишки типа $Color = blue$.

Для записи в формализованном виде каждого из способов срабатывания перехода $T = \{t1, t2, t3, t3'\}$ введем дополнительные операнды и параметры:

$F(p_i)$ – функция, отражающая наличие фишки в позиции p_i ;

$\varphi(P)$ – функция, отражающая совершение/отражение угрозы с вероятностью P ;

P_{threat} – вероятность совершения угрозы;

$P_{reaction}$ – вероятность устранения угрозы.

Правила срабатывания задаются с помощью терминальных языков [5] описания сетей Петри:

$$P1^i \rightarrow \tau_i = t1^i(F_{P1i}), t2^i(F_{P2i}, \varphi(P_{threat(n)})), t3^i(F_{P3i}, \varphi(P_{reaction(m)}), t3'^i(F_{P3i}, \varphi(P_{reaction(m)})) \rightarrow P5^i, P5'^i.$$

На основе исходных данных по рассматриваемому защищаемому объекту моделирования строится сеть Петри, фрагмент которой представлен на рис. 3.

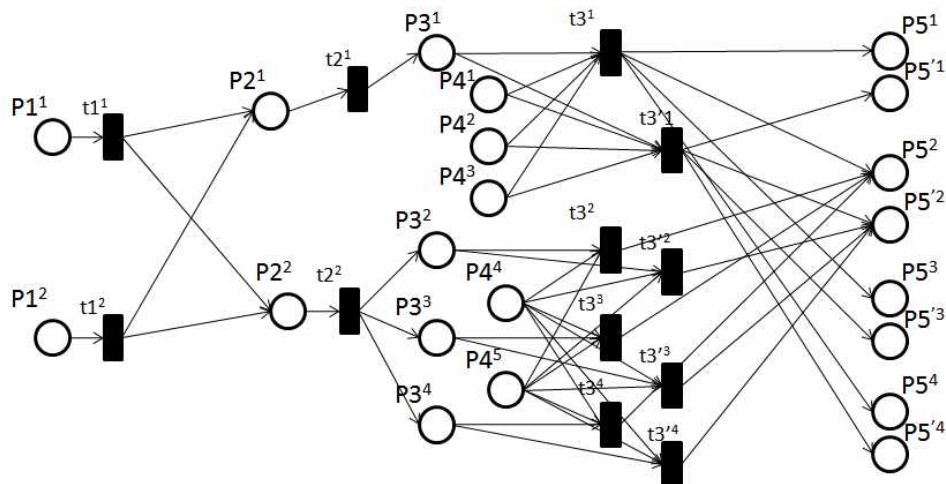


Рис. 3. Фрагмент построенной сети Петри

Данная сеть является раскрашенной, вероятностной и ингибиторной, что позволяет реализовать следующие возможности:

1) вероятностная сеть позволяет учесть как средства нападения, так и средства отражения угроз безопасности за счет настройки вероятностей совершения переходов;

2) раскрашенная сеть Петри позволяет идентифицировать фишки, ассоциируемые с угрозами безопасности и методами противодействия;

3) ингибиторная сеть Петри обеспечивает реализацию механизма предотвращения угроз безопасности методами противодействия [6].

Заключение

Предлагаемый подход к оценке уровня информационной безопасности объекта информатизации позволяет значительно сократить материальные и временные затраты на проведение аудита информационной безопасности, а также повысить качество проектных решений при создании и внедрении комплексных систем защиты информации.

Математический аппарат раскрашенных, вероятностных, ингибиторных сетей Петри позволяет оценить эффективность системы защиты объекта с учетом своевременности реагирования средств противодействия и одновременности реализации угроз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверченков, В.И. Организационная защита информации / В.И. Аверченков, М.Ю. Рытов. - Брянск: БГТУ, 2010. - 184 с. - (Серия «Организация и технология защиты информации»).
2. Аверченков, В.И. Аудит информационной безопасности / В.И. Аверченков. - Брянск: БГТУ, 2010. - 210 с. - (Серия «Организация и технология защиты информации»).
3. Аверченков, В.И. Автоматизация проектирования комплексных систем защиты информации: монография / В.И. Аверченков, М.Ю. Рытов. - Брянск: БГТУ, 2012. - 147 с. - (Серия «Организация и технология защиты информации»).
4. Аверченков, В.И. Разработка системы технической защиты информации / В.И. Аверченков, М.Ю. Рытов, А.В. Кувыклин, Т.Р. Гайнулин. - Брянск: БГТУ, 2008. - 187 с. - (Серия «Организация и технология защиты информации»).
5. Хопкрофт, Дж. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений / Дж. Хопкрофт, Р. Мотвани, Дж. Ульман. - М.: Вильямс, 2002. - 528 с.
6. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. - М.: Мир, 1984. - 264 с.
1. Averchenkov, V.I. Organizational protection of information / V.I. Averchenkov, M.Yu. Rytov. - Bryansk: BSTU, 2010. - pp. 184. - (Series "Organization and Techniques for Information Protection").
2. Averchenkov, V.I. Audit of information safety / V.I. Averchenkov. - Bryansk: BSTU, 2010. - pp. 210. - (Series "Organization and Techniques of Information Protection").
3. Averchenkov, V.I. Design automation of complex systems for information protection: monograph / V.I. Averchenkov, M.Yu. Rytov. - Bryansk: BSTU, 2012. - pp. 147. - (Series "Organization and Techniques for Information Protection").
4. Averchenkov, V.I. Development of Technical Information Protection System / V.I. Averchenkov, M.Yu. Rytov, A.V. Kuvyklin, T.R. Gainulin. - Bryansk: BSTU, 2008. - pp. 187. - (Series "Organization and Techniques for Information Protection").
5. Hopcroft, J. Introduction into Theory of Automatic Machines, Languages and Computations / J. Hopcroft, R. Motvani, J. Ulman. - M.: Williams, 2002. - pp. 528.
6. Peterson, J. Petri Network Theory and System Modeling / J. Peterson. - M.:World, 1984. - pp. 264.

Статья поступила в редколлегию 20.11.17.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Горленко О.А.

Сведения об авторах:

Еременко Владимир Тарасович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информационная безопасность» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, Тел.: +7(920)812-65-64, e-mail: wladimir@orel.ru.

Горлов Алексей Петрович, к.т.н., доцент кафедры «Системы информационной безопасности» Брянского государственного технического университета, Тел.: +7(980)-302 -83 - 80 e-mail: apgorlov@gmail.com.

Аверченков Владимир Иванович, д.т.н., профессор кафедры «Компьютерные технологии и систе-

мы» Брянского государственного технического университета, тел.:(4832) 56-05-33, e-mail: aver@tu-bryansk.ru.

Рытов Михаил Юрьевич, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Системы информационной безопасности» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 51-13-77, e-mail: rmy@tu-bryansk.ru.

Фёдоров Владимир Павлович, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 58-82-20 e-mail: tm-bgtu@yandex.ru.

Eryomenko Vladimir Tarasovich, D. Eng., Prof. Head of the Dep. "Information Safety", Turgenev State University of Orel, e-mail: wladimir@orel.ru.

Gorlov Alexey Petrovich, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Systems of Information Safety", Bryansk State Technical University, e-mail: apgorlov@gmail.com.

Averchenkov Vladimir Ivanovich, D. Eng., Prof. of the Dep. "Computer Technologies and Systems", Bry-

ansk State Technical University, e-mail: aver@tu-bryansk.ru.

Rytov Mikhail Yurievich, Can. Eng., Assistant Prof., Head of the Dep. "Systems of Information Safety", Bryansk State Technical University, e-mail: rmy@tu-bryansk.ru.

Fyodorov Vladimir Pavlovich, D. Eng., Prof. of the Dep. "Engineering Techniques", Bryansk State Technical University, e-mail: tm-bgtu@yandex.ru.

УДК 004.932.2

DOI: 10.12737/article_5a337fbe79d953.82565419

В.В. Колякин, В.И. Аверченков, Ф.Ю. Лозбинец, А.А. Реутов, А.А. Обозов

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ МУЗЕЕВ

Проведен анализ текущего состояния в области трехмерной реконструкции моделей реальных объектов. Проанализированы направления применения виртуальных трехмерных моделей. Проведен анализ возможности применения трехмерной реконструкции в сфере виртуальных музеев. Предложена концепция

создания автоматизированной системы трехмерной реконструкции для построения виртуальных музеев.

Ключевые слова: трехмерные модели, трехмерная реконструкция, облако точек, виртуальная реальность, музеи, виртуальные музеи, обработка изображений.

V.V. Kolyakin, V.I. Averchenkov, F.Yu. Lozbinev, A.A. Reutov, A.A. Obozov

RECONSTRUCTION OF 3D MODELS OF REAL OBJECTS FOR VIRTUAL MUSEUM FORMATION

The purpose of this paper writing is a consideration of the process in the complex automated system realization for the virtual museum formation on the basis of data obtained as photo-images or a video-stream. Basic museum functions are considered thoroughly, it is pointed out a place of modern information technologies in institutions dealing with the collection, analysis, storage and demonstration of certain objects. The topicality of subjects chosen is substantiated, and also there is considered a concept of a virtual museum – an interactive multimedia software product presenting museum collections in an electronic way. In the paper current approaches to 3D reconstruction of objects are reflected, basic differences between contact

and contactless techniques of 3D modeling are shown. Besides, there is presented in it a structural functional diagram of the automated system of 3D reconstruction used at virtual museum formation. Functional possibilities of each module are described; mathematical methods in 3D modeling are presented. There is given an assessment of the efficiency of the approach used to the formation of an automated system. Basic ways to the solution of problems connected with formation of virtual areas to show peculiarities of real objects.

Key words: 3D models, 3D reconstruction, point cloud, virtual reality, museums, virtual museums, image processing.

Целью проводимой работы является реализация комплексной автоматизированной системы построения виртуальных музеев на основе данных, получаемых в виде фотоизображений или видеопотока.

Среди задач можно выделить:

- разработку нового эффективного алгоритма поиска преобразования между изображениями, включающую в себя новый метод нахождения точечных особенностей на исходных данных в виде фотоизображений, вычисление дескрипторов этих особенностей и вычисление модели преобразования;

- разработку эффективного алгоритма оценки параметров моделей, получаемых для дальнейшей обработки и генерации облака трехмерных точек;

- разработку эффективного алгоритма стереорекострукции для получения облака трехмерных точек и регистрации относительно него фотоизображений;

- разработку автоматизированной системы трехмерной реконструкции для решения задачи построения виртуальных музеев [1].

Современные музеи помогают человеку увидеть сходства и различия между давно исчезнувшими цивилизациями и современным миром. Благодаря многочисленным историческим трудам и музейным коллекциям сегодня практически каждый человек имеет возможность окунуться в прошлое. Современные музеи - это неотъемлемая часть культуры любого народа и

государства [4].

Большинство ученых сходятся во мнении, что музеем является учреждение, которое занимается сбором, изучением, хранением и экспонированием определенных предметов. Такими предметами могут выступать памятники естественной истории или материальной культуры. Кроме того, музеи занимаются просветительской и популяризаторской деятельностью [5].

В соответствии с Федеральным законом РФ № 54-ФЗ от 26.05.1996 музей является некоммерческим учреждением культуры, созданным собственником для хранения, изучения и публичного представления музейных предметов и музейных коллекций, а также для достижения иных целей, определенных настоящим федеральным законом.

Изначально понятие музея обозначало коллекцию экспонатов, но начиная с XVIII века оно включает в себя также здание, где располагаются экспонаты. С XIX века музеи начали заниматься научно-исследовательской работой, а с середины XX века началась педагогическая деятельность музеев.

Существуют различные классификации музеев. Ниже представлена классификация по основным направлениям (типу экспонатов):

- Этнографический специализируется на истории и современности различных народов, а также на их культуре.

- Археологический экспонирует преимущественно материалы, полученные в результате раскопок, проведенных на территории различных стран.

- Военно-исторический хранит материалы военных и послевоенных времен, включая боевую технику, оружие, одежду и т.д.

- Историко-революционный собирает информацию материального характера о различных государственных реформах в тех или иных странах.

- Общеисторический содержит материалы о происхождении различных государств и истории их развития.

- Технический - к такому профилю можно отнести музеи машиностроения, космонавтики и т. д. [7].

Обычные музеи в настоящий момент не так востребованы, но в связи с активным развитием информационных технологий в последнее время во всем мире, и в частности в России, развиваются виртуальные музеи.

Изначально виртуальный музей представлял собой тип веб-сайта, оптимизированный для экспозиции музейных материалов. Представленные материалы могли быть из самых разных областей: от предметов искусства и исторических артефактов до виртуальных коллекций и фамильных реликвий. Виртуальные музеи за счёт применения интернет-технологий предлагают решение таких традиционных музейных проблем, как хранение, безопасность, обеспечение широкого, быстрого и лёгкого доступа к экспонатам. В отличие от простых коллекций фотографий виртуальный музей характеризуется расширенными поисковыми возможностями для нахождения и классификации экспонатов.

В 2014 году Министерство культуры России опубликовало технические рекомендации по созданию виртуальных музеев, определяющие критерии отнесения веб-сайта к категории виртуальных музеев для получения государственной поддержки, а также содержащие ряд рекомендаций по использованию технологий для представления предметов музейного фонда и недвижимых объектов культурного наследия [16].

В соответствии с этими техническими рекомендациями понятие виртуального музея приобретает более широкое значение, чем веб-сайт с экспозицией определенных предметов. Согласно данным рекомендациям, виртуальный музей - это интерактивный мультимедийный программный продукт, представляющий музейные коллекции в электронном виде.

Базовым критерием отнесения программного продукта к понятию «виртуальный музей» служит реализация

определенного набора механизмов взаимодействия с посетителем и показателей:

- механизм презентации экспозиции;
- механизм презентации экспоната;
- механизм представления дополнительной информации;
- показатель языковой локализации;
- показатель доли экспозиционных помещений, демонстрируемых в формате виртуального музея, от общего числа экспозиционных помещений музея [16].

Также в данных рекомендациях выделяются три уровня виртуальных музеев, начиная от коллекции фотоизображений и виртуальных туров, построенных на панорамных изображениях, и заканчивая реализацией трехмерных моделей. Последний уровень наиболее предпочтителен, но является самым труднореализуемым.

Для построения музея третьего

уровня необходимо получить трехмерные модели экспонатов [3].

В настоящий момент методы получения трехмерных моделей реальных объектов можно разделить на два типа:

- Ручное или автоматизированное создание трехмерных моделей. Трехмерные модели создаются непосредственно человеком с помощью систем трехмерного моделирования или систем автоматизированного проектирования.

- Реконструкция трехмерных моделей реальных объектов. Реконструкция трехмерных моделей производится по данным об уже имеющихся изделиях.

Существующие методы реконструкции трехмерных моделей реальных объектов можно разделить на контактные и бесконтактные (рис. 1).



Рис. 1. Классификация технологий получения трехмерных моделей

Контактные методы получения трехмерной модели подразумевают использование механического устройства - щупа, посредством которого передаются координаты выбранных точек.

Бесконтактные технологии получения трехмерных моделей более сложные в реализации, чем контактные. Некоторые бесконтактные технологии подразумевают наличие специальных лазерных датчиков, в большинстве случаев заменяющих щуп. Кроме того, преимущество бесконтактных технологий состоит в возможности получения текстур реконструируемых объектов. Получение

текстур достигается за счет использования фото- или видеокамер.

Для создания трехмерных моделей, используемых при проектировании виртуальных музеев, могут применяться оба типа получения моделей, однако каждый из них сопряжен с рядом сложностей. При автоматизированном создании трехмерных моделей человеком тратится значительное количество времени на анализ, сбор данных и непосредственно проектирование. С учетом этого предпочтительной является трехмерная реконструкция, однако и данный способ получения моделей сопряжен с рядом

сложностей. Для трехмерной реконструкции определенных экспонатов не подходят контактные технологии получения моделей, а в том случае, когда экспонат безвозвратно утерян и остались лишь его фотографии, единственным способом получения его трехмерной модели является трехмерная реконструкция на основе фотоизображений [8].

Трехмерная реконструкция моделей

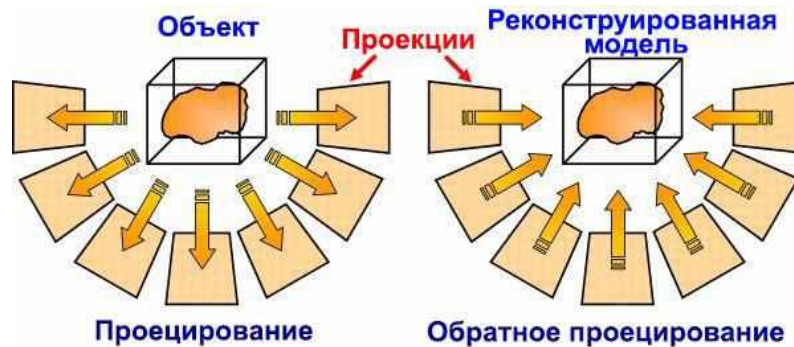


Рис. 2. Принцип трехмерной реконструкции

В большинстве случаев процесс трехмерной реконструкции моделей реальных объектов состоит из следующих этапов:

- 1) поиск особенностей на изображениях;
- 2) установление соответствий между найденными особенностями на различных изображениях;
- 3) непосредственно реконструкция;
- 4) построение трехмерной модели [12].

Одним из важных этапов при решении задачи реконструкции трехмерных моделей реальных объектов является выделение на исходных изображениях определенных окрестностей точек, которые в дальнейшем будут служить для построения следов точечных особенностей, получения карты глубин и, соответственно, получения трехмерного облака точек, необходимого для построения трехмерной модели.

Обнаружение особенностей - низкоуровневая функция обработки изображений и обычно первая операция, которая проверяет каждый пиксель изображения и анализирует, является ли данный пиксель или его окрестность локальной особенностью изображения. В

реальных объектов пассивными оптическими методами - одна из классических задач компьютерного зрения, находящаяся на стыке таких областей, как обработка изображений, компьютерная графика и искусственный интеллект.

Принцип реконструкции трехмерных моделей реальных объектов представлен на рис. 2.

В большинстве случаев алгоритм обнаружения локальных особенностей является частью более крупного алгоритма, который анализирует изображения только в области локальных особенностей. В тех случаях, когда обнаружение особенностей имеет большую вычислительную сложность и имеется ограничение по времени работы алгоритма, используется алгоритм более высокого уровня [10].

Другим этапом трехмерной реконструкции является подбор моделей, подгоняемых к набору характеристических точек.

В связи с тем что в исходных данных существует множество шумов и выбросов, неустойчивые методы часто дают неверные результаты. Поэтому чаще всего используются методы, основанные на схемах голосования, и устойчивые методы, основанные на оценочных функциях и случайных выборках. Эти методы из-за присущих им недостатков имеют также большое число производных методов. Это позволяет решать задачу нахождения параметров моделей, используя различные методы.

За прошедшее с момента появления RANSAC время было предложено большое

количество методов, устраняющих такие недостатки базового алгоритма, как малая вероятность выборки без шума и выбросов, неточная оценка гипотез и высокая вероятность построения неподходящей модели. Самым эффективным путем решения этих проблем является использование априорной информации об исходных данных [2].

Одним из последних, но не менее важным этапом является стереореконструкция. Стереореконструкция называется плотной, если для каждой точки изображения

восстанавливается соответствующая трехмерная точка. В противном случае стереореконструкцию называют разреженной. В контексте общей задачи трехмерной реконструкции наибольший интерес представляет именно плотная стереореконструкция, поскольку она позволяет наиболее полно использовать представленную на изображениях информацию.

На рис. 3 представлена структурно-функциональная схема автоматизированной системы трехмерной реконструкции, используемой при построении виртуальных музеев.

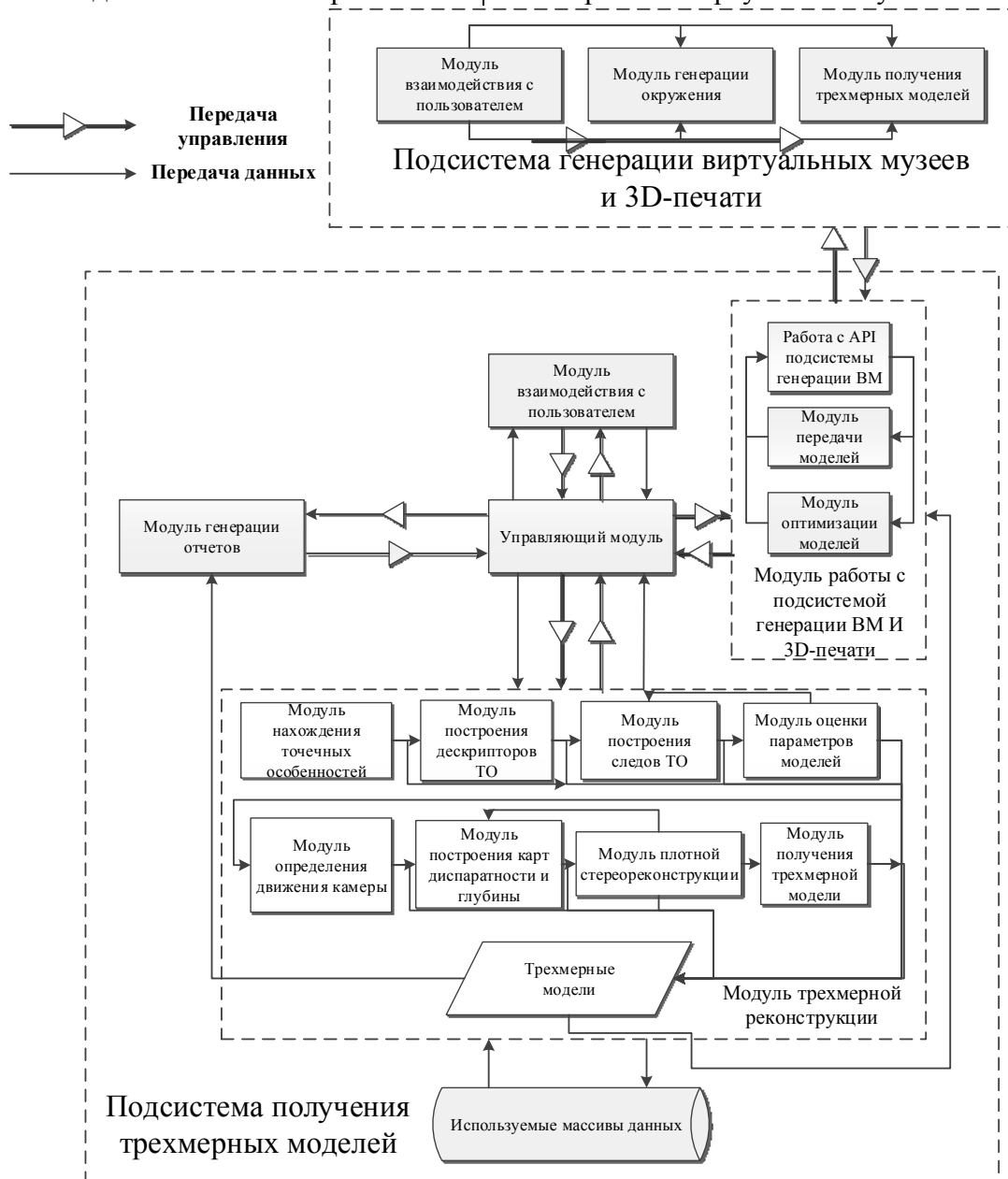


Рис. 3. Структурно-функциональная схема автоматизированной системы создания виртуальных музеев (VM)

За получение трехмерной модели независимо от ее назначения отвечает подсистема получения трехмерных моделей, которая состоит из следующих модулей:

- Модуль трехмерной реконструкции:
 - модуль нахождения точечных особенностей (ТО);
 - модуль построения дескрипторов ТО;
 - модуль построения следов ТО;
 - модуль оценки параметров моделей;
 - модуль определения движения камеры;
 - модуль построения карт диспаратности и глубины;
 - модуль плотной стереорекострукции;
 - модуль получения трехмерной модели.
- Управляющий модуль.
- Модуль генерации отчетов.
- Модуль взаимодействия с пользователем.
- Модуль работы с подсистемой генерации ВМ и трехмерной печати:
 - модуль оптимизации моделей;
 - модуль передачи моделей;
 - модуль работы с API подсистемы генерации ВМ.

Модуль взаимодействия с пользователем и модуль генерации отчетов служат для ввода данных и получения различных отчетов для последующего их анализа пользователем.

Модуль работы с подсистемой генерации ВМ служит для оптимизации моделей и передачи в подсистему построения ВМ.

Управляющий модуль управляет всеми потоками данных в подсистеме.

Подсистема генерации ВМ состоит из следующих модулей:

- модуль взаимодействия с пользователем;
- модуль генерации окружения;
- модуль получения трехмерных моделей.

В данной подсистеме модуль

взаимодействия с пользователем выполняет задачи управления, взаимодействия с пользователем и генерации отчетов.

Модули генерации окружения и получения трехмерных моделей непосредственно выполняют генерацию ВМ.

Модуль трехмерной реконструкции является главным расчетным модулем подсистемы, в нем производятся все необходимые расчеты, анализируются входные данные и генерируется трехмерная модель.

Для выделения из изображения некоторой интерпретируемой информации необходимо привязаться к локальным особенностям изображения. На изображении возможно выделить особые точки. Особая точка m , или точечная особенность (англ. point feature), изображения – это точка изображения, окрестность которой $o(m)$ можно отличить от окрестности любой другой точки изображения $o(n)$ в некоторой другой окрестности особой точки $o_2(m)$. В модуле нахождения точечных особенностей реализуется алгоритм их определения. Затем для дальнейших действий находятся дескрипторы с помощью детекторов. Детектор – это инструмент извлечения особых точек из изображения. Детектор обеспечивает инвариантность нахождения одних и тех же особых точек относительно преобразований изображений. Дескриптор – идентификатор особой точки, выделяющий её из остального множества особых точек. В свою очередь, дескрипторы должны обеспечивать инвариантность нахождения соответствия между особыми точками относительно преобразований изображений. Данные операции реализуются в модуле построения дескрипторов ТО. Построение следов точечных особенностей реализуется в модуле построения следов ТО [6].

В случае если часть исходных данных порождена не исследуемой моделью, а, например, ошибками измерений (такие данные называются выбросами), результат оценки параметров

модели с помощью метода максимального правдоподобия может оказаться сколь угодно далек от реальных параметров модели. Для решения указанной проблемы разработан ряд методов робастной оценки параметров, учитывающих присутствие выбросов в исходных данных. Данный алгоритм реализуется в модуле оценки параметров моделей. После этого в модуле определения движения камеры определяются внешние и внутренние параметры камеры, а также ее движение. Затем строятся карты глубины и диспаратности в соответствующем модуле. После получения необходимых данных реализуется алгоритм стереорекострукции для получения разреженного облака точек, после чего непосредственно реконструируется трехмерная модель [2].

Из структурно-функциональной схемы видно, что подход, выбранный для реализации автоматизированной системы трехмерной реконструкции трехмерных

моделей для дальнейшего их использования в системах виртуальной реальности, в частности при реализации виртуальных музеев, а также для трехмерной печати полученных моделей, позволяет реализовать модули таким образом, чтобы при разработке новых математических моделей конкретной задачи не было необходимости в доработке остальных. Это видно на основе как модулей самой системы, так и модулей, входящих в состав модуля трехмерной реконструкции. Кроме того, при реализации отдельных алгоритмов разрабатываются модели, в которых используется глубокое обучение. В частности, для обнаружения точечных особенностей, получения их дескрипторов и следов применяются сверточные нейронные сети. Предложенное разбиение модуля трехмерной реконструкции на блоки позволяет достаточно просто реализовать обучение нейронных сетей, используемых в системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колякин, В.В. Трехмерная реконструкция сложных моделей реальных объектов / В.В. Колякин, В.И. Аверченков, М.В. Терехов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы III междунар. науч.-практ. конф. - 2016. - С. 102-107.
2. Колякин, В.В. Методы оценки параметров моделей для решения задачи трехмерной реконструкции сложных моделей реальных объектов / В.В. Колякин, В.И. Аверченков, М.В. Терехов // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2016. - № 3 (51). - С. 233-242.
3. Аверченков, В.И. Принципы изготовления изделий с использованием оборудования для быстрого прототипирования / В.И. Аверченков, М.В. Терехов, В.В. Колякин // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы II междунар. науч.-практ. конф. - 2016. - С. 368-372.
4. Гужов, В.И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения: учеб. пособие / В.И. Гужов. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. - 82 с.
5. Майоров, А.А. Мониторинг инфраструктуры пространственных данных / А.А. Майоров, И.В. Соловьёв, В.Я. Цветков, С.С. Дубов, Ф.Ф. Шкуров. - М.: Изд-во МИИГАиК, 2012. - 198 с.
6. Иванов, В.П. Трёхмерная компьютерная графика / В.П. Иванов, А.С. Батраков; под ред. Г.М. Полищука. - М., 2011. - 224 с.
7. Драгомиров, Д.Ю. Компьютерная трехмерная реконструкция памятников архитектуры / Д.Ю. Драгомиров // Вестник УдмГУ. - 2006. - № 12.
8. Ли, Дж. Трёхмерная графика и анимация / Дж. Ли, Б. Уэр. - 2-е изд. - М.: Вильямс, 2002. - 640 с.
9. Davies, E.R. Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities / E.R. Davies. - Morgan Kaufmann, 2004.
10. Forsyth, D.A. Computer Vision: A Modern Approach / D.A. Forsyth, J. Ponce. - 2nd ed. - 2012. - 792 p.
11. Hough, P.V.C. A method and means for recognizing complex patterns: US patente 3069654. -1962.
12. Дегтярева, А. Преобразование Хафа (Hough transform) / А. Дегтярева, В. Вежневцев // Компьютерная графика и мультимедиа. - 2003. - Вып. № 1(2).
13. Hartley, R. Multiple View Geometry in Computer Vision / R. Hartley, A. Zisserman. - 2nd ed. - Cambridge University Press, 2003.
14. Fischler, M.A. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography / M.A. Fischler, R.C. Bolles // Comm. Of the ACM. - 1981. - № 24. -P. 381-395.
15. Chum, O. Two-View Geometry Estimation by Random Sample and Consensus: PhD Thesis / O. Chum. - 2005.
16. Технические рекомендации Министерства культуры РФ по созданию виртуальных музеев.

1. Kolyakin, V.V. 3D reconstruction of complex models of real objects / V.V. Kolyakin, V.I. Averchenkov, M.V. Terekhov // *Virtual Modeling, Prototyping and Industrial Design: Proceedings of the III-d Inter. Scientif.-Pract. Conf.* – 2016. – pp. 102-107.
2. Kolyakin, V.V. Methods for parameter assessment of models of to solve problems of 3D reconstruction complex models of real objects / V.V. Kolyakin, V.I. Averchenkov, M.V. Terekhov // *Bulletin of Bryansk State Technical University.* – 2016. – No.3 (51). – pp. 233-242.
3. Averchenkov, V.I. Principles of manufacturing products using equipment for quick prototyping / V.I. Averchenkov, M.V. terekhov, V.V. Kolyakin // *Virtual Modeling, Prototyping and Industrial Design: Proceedings of the II-d Inter. Scientif. Pract. Conf.* – 2016. – pp. 368-372.
4. Guzhov, V.I. *Measuring Procedures for 3D Objects. Contact Triangulation Systems and Methods of Structured Lighting: manual* / V.I. Guzhov. – Novosibirsk: NSTU Publishers, 2015. – pp. 82.
5. Mayorov, A.A. *Spatial Data Infrastructure Monitoring* / A.A. Mayorov, I.V. Soloviyov, V.Ya. Tsvetkov, S.S. Dubov, F.F. Shkurov. – M.: Publishing House of MIECA and C, 2012. – pp. 198.
6. Ivanov, V.P. *3D Computer Graphics* / V.P. Ivanov, A.S. Batrakov; under the editorship of G.M. Polishchuk. – M., 2011. – pp. 224.
7. Dragomirov, D.Yu. 3D computer reconstruction of architectural monuments / D.Yu. Dragomirov // *Bulletin of UdmSU.* – 2006. – No.12.
8. Lee, J. *3D Graphics and Animation* / J. Lee, B. Wear. – 2-d ed. – M.: Williams, 2002. – pp. 640.
9. Davies, E.R. *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities* / E.R. Davies. – Morgan Kaufmann, 2004.
10. Forsyth, D.A. *Computer Vision: A Modern Approach* / D.A. Forsyth, J. Ponce. - 2nd ed. – 2012. – 792 p.
11. Hough, P.V.C. A method and means for recognizing complex patterns: US patente 3069654. –1962.
12. Degtyareva, A. *Hough Transformation (Hough transform)* / A. Degtyareva, V. Vezhnevets // *Computer Graphics and Multi-media.* – 2003. – Issue. No.1 (2).
13. Hartley, R. *Multiple View Geometry in Computer Vision* / R. Hartley, A. Zisserman. – 2nd ed. – Cambridge University Press, 2003.
14. Fischler, M.A. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography / M.A. Fischler, R.C. Bolles // *Comm. Of the ACM.* – 1981. – № 24. -P. 381–395.
15. Chum, O. *Two-View Geometry Estimation by Random Sample and Consensus: PhD Thesis* / O. Chum. – 2005.
16. *Engineering Recommendations of the Ministry of Culture of the RF on Virtual Museums Creation.*

Статья поступила в редколлегию 20.11.17.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Мирошников В.В.

Сведения об авторах:

Колякин Владислав Валерьевич, аспирант кафедры «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета, тел.: +7(900) 695-99-98, e-mail: vladislavkol93@mail.ru.

Аверченков Владимир Иванович, д.т.н., профессор кафедры «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета, тел.:(4832) 56-05-33, e-mail: aver@tubryansk.ru.

Лозбинец Фёдор Юрьевич, д.т.н., профессор ка-

Kolyakin Vladislav Valerievich, Post graduate student of the Dep. “Computer Techniques and Systems”, Bryansk State Technical University, e-mail: vladislavkol93@mail.ru.

Averchenkov Vladimir Ivanovich, D. Eng. of the Dep. “Computer Techniques and Systems”, Bryansk State Technical University, e-mail: aver@tubryansk.ru.

Lozbinev Fyodor Yurievich, D. Eng., Prof. of the Dep. “Computer Techniques and Systems”, Bryansk

факультета «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета, e-mail: flozbinev@yandex.ru.

Реутов Александр Алексеевич, д.т.н., профессор кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 68 89 51.

Обозов Александр Алексеевич, д.т.н., профессор кафедры «Тепловые двигатели» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 588-230.

State Technical University, e-mail: flozbinev@yandex.ru.

Reutov Alexander Alexeyevich, D. Eng., Prof. of the Dep. “Lifting Vehicles and Equipment”, Bryansk State Technical University, phone: (4832) 688951.

Obozov Alexander Alexeyevich, D. Eng., Prof. of the Dep. “Heat-Engines”, Bryansk State Technical University, phone: (4832) 588230.

УДК 621.022.3; 669.2; 666.1.01

DOI: 10.12737/article_5a337fc0274d14.52018906

Б.Я. Мокрицкий, Т.И. Усова, А.В. Морозова

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВИДЕОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

Исследована возможность выявления дефектов типа трещин при использовании не предназначенных для этой цели видеоизмерительных машин моделей Micro-Vu Sol 161 и MarVision MM 320.

Ключевые слова: видеоизмерительные мультисенсорные системы, технологические возможности, обнаружение микротрещин.

B. Ya. Mokritsky, T. I. Usova, A. V. Morozova

ENGINEERING CAPABILITIES ENHANCEMENT OF VIDEO-MEASURING MULTI-SENSOR SYSTEMS

Standard optical appliances are not suitable for the direct detection and measurement of micro-defects similar cracks in materials having a low reflectivity. It restrains the introduction in manufacture a number of engineering products.

There are carried out investigations showing a possibility of defects diagnostics such as cracks at the use of video-measuring appliances of Micro-Vu Sol

161 and MarVision MM 320 type which are not intended for this purpose. It allows solving partially the problem, but this is an interim measure. It is necessary to develop corresponding methods, techniques, regulations and equipment. The results obtained in the work may serve for this purpose as a methodological basis.

Key words: video-measuring multi-sensor systems, engineering capabilities, micro-cracks detection.

Введение

Проблема обнаружения и измерения трещин (микротрещин) в материалах с малой отражательной способностью существует в различных отраслях машиностроения, например в автомобильной, железнодорожной, в авиастроении и т.д. Если для автомобилестроения это направлено на обеспечение ремонта стёкол путём заделывания трещин, то в других отраслях это связано с отбраковкой изделий и остановкой эксплуатации технического средства. Так, наличие трещины в остеклении кабины самолета недопустимо в принципе, а проявление микротрещины как блуждающего дефекта вынуждает прекратить полёты самолёта. В скоростных железнодорожных подвижных составах наличие микротрещины вызывает появление сетки микротрещин по типу серебрянки при определённом угле падающего солнечного освещения.

Номенклатура материалов с малой отражательной способностью в машиностроении растёт неуклонно. В таких условиях нет времени на разработку специальных приборов и технологий выявления (обнаружения) трещин. Необходимо использовать имеющиеся на предприятии технические возможности. Микроскопы, даже с большим увеличением и разрешающей способностью, в большинстве своём несостоятельны для этих целей из-за принципа действия, так как в них используется либо отражение, либо пропускание светового потока.

В работе рассмотрена возможность применения для решения указанной проблемы видеоизмерительных машин (мультисенсорных систем) моделей MicroVuSol 161 (США) и MarVision MM 320 (Германия)¹.

Анализ состояния проблемы

Проблема описана в работах С.С. Солнцева [1; 2], где изложены современные представления о хрупком разрушении

стекла, методы анализа изломов и трещин на примере силикатных стекол и ситаллов [3]. Он отмечает ограниченные возможно-

сти ультразвукового метода (позволяет выявить только очень большие трещины), необходимость визуального (отмечаются инородные включения и дефекты) и микроскопического (под микроскопом удаётся выявить особенности строения отдельных участков излома) осмотра изделий, сложность и ограниченность капиллярной де-

фектоскопии (неприменима при закрытых трещинах).

Отмечается общий недостаток оптических средств – сложность и невозможность фокусировки изображения из-за криволинейности поверхности разрушения.

Примеры трещин на лобовом стекле автомобиля приведены на рис. 1.

¹Разрешены к применению в Российской Федерации.



Рис. 1. Примеры форм трещин на автомобильном стекле (фото заимствованы из Интернета)

Для более сложных материалов (спецстёкла авиационного назначения, полистирол, композиционные материалы) методики и оборудование для выявления

дефектов отсутствуют. Национальный стандарт РФ [4] даёт описание более 30 видов дефектов в стекле, но не содержит информации о методах их выявления.

Обсуждение полученных результатов

Дефекты на образцах формировали на микротвердомерах и твердомерах стандартными инденторами (конус, пирамидка Берковича, шарик) при регламентированной величине нагрузки (от 50 до 200 г при нагружении на микротвердомере модели ПМТ-3, от 588 до 1470 Н - при измерении по методу Роквелла, от 4900 до 14700 Н - при измерении по методу Бринелля). При-

меры дефектов, полученных индентированием в изделии, выполненном из полистирола, приведены на рис. 2. Различия в дефектах, приведённых на рис. 1 и 2, очевидны. При проведении измерений учтены рекомендации работ [5; 6].

На первом этапе были проведены работы по оценке возможностей применения контрастирующих жидкостей для выявле-

ния трещин. Из всей номенклатуры таких жидкостей, применяемых на одном из авиационных заводов, наиболее эффективным оказался пенетрант марки ЦМ-15. Но

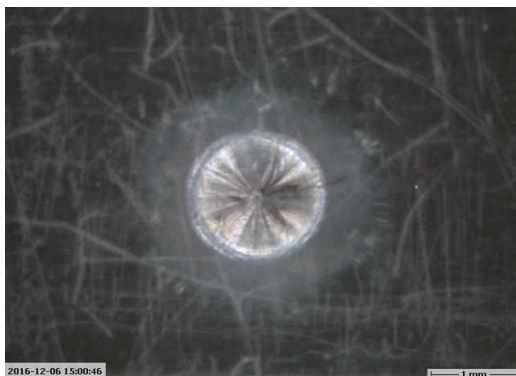
для него требовалось последующее применение люминофора марки ЛЮМ 33 ОВ с подсветкой ультрафиолетовым светом.



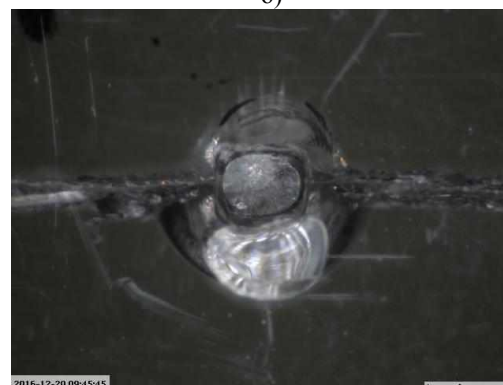
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Примеры дефектов, полученных в разных условиях индентирования (алмазный конусный наконечник; $\times 36$ раз): а - нагрузка 1471 Н; б - нагрузка 980 Н; в - нагрузка 588 Н; г - нагрузка предельная (более 2000 Н)

Примеры трещин, выявленных в таких условиях, показаны на рис. 3. Они свидетельствуют о том, что:

1) поверхность образца претерпевает необратимые изменения, что недопустимо для большинства изделий;

2) габариты, контуры, разветвления и т.д. дефектов неочевидны, т.е. обнаружение дефекта состоялось, но его измерения затруднены или исключены.

Примеры аналогичных дефектов, полученных в тех же образцах при тех же условиях индентирования, но подвергнутых воздействию контрастирующей жидкости, разработанной авторами, и исследуемых в тех же условиях на том же оборудовании (MicroVuSol 161) без применения

каких-либо люминофоров, показаны на рис. 4. Они свидетельствуют о том, что:

1) поверхность образцов остаётся пригодной к использованию;

2) дефекты более пригодны (в сравнении с приведёнными на рис. 3) к измерениям.

В результате исследования установлено, что видеоизмерительная машина модели Micro-Vu Sol 161 пригодна для выявления и документирования дефектов указанного типа. Остался нерешённым вопрос о допустимости эксплуатации детали с такими дефектами или её браковании (недопустимости детали с таким дефектом). Эти же образцы с этими же дефектами передавали в производственные условия для аттестования или бракования де-

талей по используемым на производстве критериям. В результате получены параметры дефекта, позволяющие исключить деталь из эксплуатации или разрешить её

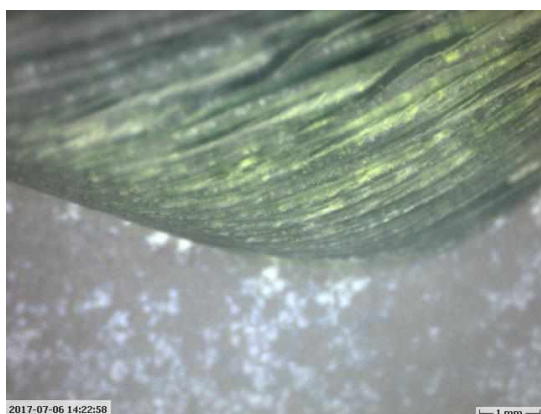
эксплуатацию. Этот методологический вопрос может быть решён путем разработки соответствующих технических условий или программы и методики испытаний.



а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Примеры дефектов, нанесённых индентированием и выявленных с применением пенетранта марки ЦМ-15с люминофором марки ЛЮМ 33 ОВ: а – в оконном стекле; б – в авиационном кварцевом стекле; в – в органическом стекле; г – в эластичном пластике

Аналогичные исследования с применением видеоизмерительной машины модели MarVision MM 320 тоже показали возможность её применения. Её ограничением является более грубая (в сравнении с MicroVuSol 161) настройка резкости изображения по вертикальной оси, что затрудняет измерение глубины залегания трещин.

Пробные эксперименты выполнены для ряда полимерных материалов и пластмасс.

Для расширения возможностей типовых видеоизмерительных машин указанных моделей дополнительно разработаны иные контрастирующие жидкости с различной проникающей способностью, устройства для позиционирования и деформирования образцов, для их подсветки прямым солнечным светом и светом, разложенным на составляющие цвета, с применением лазерного освещения и т.д.

Выводы

1. Выполненные исследования служат методологической основой для разработки методов, технологии и оборудования для выявления дефектов в виде трещин и микротрещин в изделиях из материалов, обладающих низкой отражательной способностью.

2. Доказана возможность применения типовых видеоизмерительных машин моделей Micro-Vu Sol 161 и MarVision MM 320 для выявления и измерения указанных дефектов.



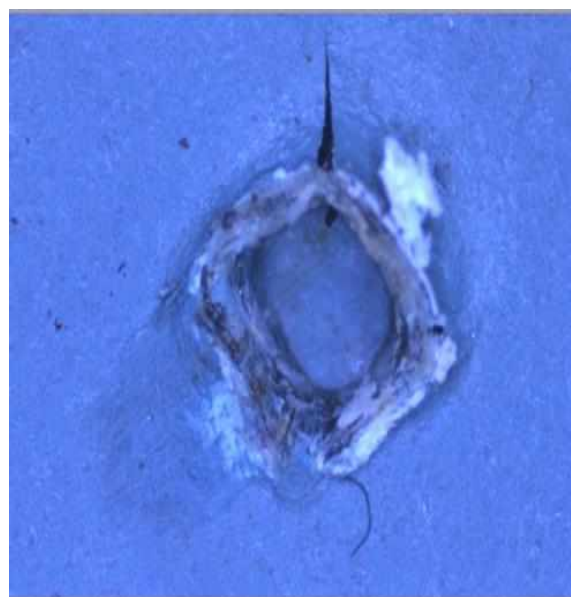
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Примеры дефектов, нанесённых индентированием: а, б, в - при нагружении специального кварцевого авиационного стекла (один и тот же образец, одинаковые индентор и усилие нагружения); г - при тех же условиях нагружения образца, выполненного из приборного органического стекла

3. Разработаны предложения по созданию контрастирующих жидкостей для

дефектов указанного типа в указанных материалах.

4. Сформированы подходы к разработке вспомогательной оснастки, методик и регламентов выполнения работ по дефектоскопии и контролю указанных дефектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнцев, С.С. Разрушение стекла / С.С. Солнцев, Е.М. Морозов. - Изд. 2-е, испр. - М.: Изд-во ЛКИ, 2008. - 149 с.
2. Солнцев, С.С. Разрушение стекла / С.С. Солнцев, Е.М. Морозов. - М.: Машиностроение, 1978. - 152 с.
3. Фрактографические методы изучения процессов разрушения ситаллов. Химия и технология стекла и ситаллов: сб. науч. тр. ГИС. - М., 1984. - С. 80-87.
4. ГОСТ Р 54494-2011. Дефекты стекла и изделий из него. - М.: Стандартинформ, 2012.
5. Кристоф, Р. Технология мультисенсорных координатных измерений. Измерения форм, размеров и позиций в производстве и в процессе контроля качества / Ральф Кристоф, Ханс Иоахим Нейманн. - Германия, 2004. - (Серия «Die Bibliothek der Technik»).
6. Соломахо, В.Л. Нормирование точности средств измерений, входящих в состав мультисенсорных измерительных систем / В.Л. Соломахо, Д.В. Соломахо // XV МНПК «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика»: сб. материалов. - Киев: АТМ Украины, 2015. - С. 150.
1. Solntsev, S.S. *Glass Fracture* / S.S. Solntsev, E.M. Morozov. – 2-d Edition revised – M.: Publishing house of LKI, 2008. – pp. 149.
2. Solntsev, S.S. *Glass Fracture* / S.S. Solntsev, E.M. Morozov. – M.: Mechanical Engineering, 1978. – pp. 152.
3. Fracto-graphical methods to study processes of pyroceramics destruction. Chemistry and techniques of glass and pyroceramics: *Proceedings of SIG*. – M., 1984. – pp. 80-87.
4. SSR 54494-2011. *Defects of Glass and Its Products*. – M.: Standardinform, 2012.
5. Christoph, R. Technology of Multi-sensor Coordinate Measuring. Measuring of Forms, Dimensions, and Positions in Manufacturing and at Quality Control Process / Ralf Christoph, Hans Joachim Neumann. – Germany, 2004. – (Series “Die Bibliothek der Technik”).
6. Solomakho, V.L. Control of measuring means accuracy included in multi-sensor measuring systems / V.L. Solomakho, D.V. Solomakho // *The XV-th Inter. Scientific-Pract. Conf. “Quality, Standardization, Control: Theory and Practice”*: Proceedings. – Kiev: ATS of the Ukraine, 2015. – pp. 150.

Статья поступила в редколлегию 9.10.17.

*Рецензент: д.т.н. Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета
Ким В.А.*

Сведения об авторах:

Мокрицкий Борис Яковлевич, профессор кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, e-mail: boris@knastu.ru.

Усова Татьяна Ивановна, магистрант кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-

Mokritsky Boris Yakovlevich, Prof. of the Dep. “Engineering Techniques”, Komsomolsk-upon-Amur State Technical University, e-mail: boris@knastu.ru.

Usova Tatiana Ivanovna, Master degree student of the Dep. “Engineering Techniques”, Komsomolsk-

на-Амуре государственного технического университета, e-mail: usova-tanya95@mail.ru.

Морозова Анна Валентиновна, к.социол.н., Брянский государственный технический университет, e-mail: niotlostu@gmail.com.

upon-Amur State Technical University, e-mail: usova-tanya95@mail.ru.

Morozova Anna Valentinovna, Can. Sociol., Bryansk State Technical University, e-mail: niotlostu@gmail.com.

Металлургия и материаловедение

УДК 669.054.8

DOI: 10.12737/article_5a337fc09db9c9.16154608

А.А. Веселовский, С.А. Лайхан

**ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ НИКЕЛЯ И ЖЕЛЕЗА
ИЗ ОТВАЛЬНЫХ НИКЕЛЕВЫХ ШЛАКОВ**

Приводятся результаты лабораторных исследований химического и фазового составов отвальных никелевых шлаков Южно-Уральского никелевого комбината (ЮУНК) и лабораторных исследований по извлечению из данного вида шлака никеля и железа посредством химико-термической

обработки хлорсодержащими реагентами с последующей магнитной сепарацией.

Ключевые слова: отвальный шлак, химико-термическая обработка, никель, железо, ферроникель, магнитная сепарация.

А.А. Veselovsky, S.A. Laikhan

**CHEMICAL-THERMAL EXTRACTION OF NICKEL
AND IRON FROM WASTE NICKEL SLAGS**

This paper reports a current state of the problem in waste nickel-bearing slag processing by the example of waste anthropogenic formations of the South-Urals Nickel Complex (SUNC). The data of the average analysis of the waste slag chemical composition of the SUNC, phases containing iron, cobalt, nickel and chromium, charts of these elements distribution in slag, the reactions of the decomposition of the phases mentioned with the formation of nonferrous metals halogenide compounds included in waste slag composition are set up and substantiated thermodynamically. A structure and morphology of ferronickel bead nucleation are shown, and a further magnetic separation is

substantiated, the data of the chemical analysis of slag structural components after magnetic concentrate and magnetic separation tail glowing are presented. A chemical composition and useful ferronickel output obtained from magnetic concentrate remelt in Tamman furnace with the use as a coke deoxidizer (1 mass. %) to complete reducing processes are under investigation, and also data on the degree of nickel and iron extraction from waste slag into a magnetic concentrate and a slag chemistry obtained after magnetic concentrate remelt are shown.

Key words: waste slag, chemical-thermal processing, nickel, iron, ferronickel, magnetic separation.

Введение

Обеднение известных рудных месторождений и непрерывный рост производства цветных металлов вызвали научный и промышленный интерес к техногенным отходам металлургических предприятий как к фактору снижения себестоимости готовой металлопродукции при их вовлечении в процесс производства [1-3]. Вовлечение низкосортного лома и отходов в производство никелевых сплавов увеличилось более чем в 1,5 раза [4]. В результате значительно выросли объемы техногенных отходов (шлаков, шламов, пыли и т.д.), значительная часть которых до сих пор не используется, складывается в отвалах, хранилищах, отстойниках.

ОАО «ЮУНК» является основным загрязнителем окружающей среды Орен-

бургской области по количеству образующихся отходов. На него приходится 25% всех загрязнений по Оренбургской области. По состоянию на 1 января 2009 года в отвале данного предприятия складировано 116361,344 тыс. тонн отходов производства при общей вместимости 190000 тыс. тонн [5]. С 2012 года ЮУНК прекратил свою работу по причине банкротства, а количество складированных отходов на настоящий момент в значимых объемах не уменьшилось.

Отвальные никелевые шлаки в твердом состоянии частично перерабатываются чисто механическими методами с целью извлечения металлической фазы. В основе данных методов лежит магнитная сепарация. Никель, кобальт и железо, находящи-

еся в этих шлаках в виде химических соединений (сульфидов, ферритов и т.д.), не извлекаются, так как для этого необходимы сложные технологические операции, связанные с переплавом отвальных шлаков. Данные методы являются экономически неэффективными. Немагнитная фракция отвальных шлаков частично используется в качестве абразивного порошка для абразивной обработки металлоизделий, в качестве щебня для строительства дорог неответственного назначения, железнодорожных насыпей и т.д. При этом часть элементов теряется безвозвратно.

Материалы, оборудование и методика проведения экспериментов

Исследованию подвергались складированные отвальные шлаки ЮУНК усредненного состава, находящиеся в отвалах на настоящий момент.

Шлак измельчался в мельнице методом истирания до фракции 0,16 мм (основная часть на калиброванном сите) на машине истирания модели ИДА-175 уфимского производства (рис. 1). Для проведения восстановительного обжига в качестве восстановителя использовался хлористый аммоний, разлагающийся при температуре 350⁰С на хлороводород и аммиак (при более высоких температурах роль восстановителя играет свободный хлор). Дополнительно в шихту вводился кокс.



Рис. 1. Истирающая машина ИДА-175

Реакционная шихта для обжига состояла из 98 масс. % шлака и 2 масс. % NH₄Cl. Обжиг проводился при температуре 1000⁰С в течение 1-8 часов в спроектированной лабораторной установке на базе нагревательной трубчатой печи

Исследования строения шлака и его химического состава проводились

Анализируя изложенное, можно заключить, что экономия и резкое снижение уровня потерь цветных металлов при производстве готовой продукции - одна из приоритетных задач современного развития металлургического производства. Её решение должно удовлетворять требованиям экологии. В связи с этим актуальной представляется разработка и внедрение альтернативных технологий переработки техногенных отходов с получением готовой продукции.

СУОЛ, схема которой представлена на рис. 2.

Работа установки происходит следующим образом. Камера нагрева с цилиндрическим муфелем, электронагревателем и датчиком температуры с помощью механизма поворота устанавливается в вертикальное положение (пунктирные линии на рис. 2). Реакционная шихта заполняет 90-95% объема реторты для возможности перемешивания при вращении в период нагрева. Затем реторта закрывается задней крышкой, камера нагрева приводится в горизонтальное положение. Вал реторты приводится во вращение приводом с частотой 3-10 об/мин. Контроль температурного режима обработки проводится датчиками температуры, установленными на муфеле, и дополнительными датчиками, размещенными в гильзе. Такой контроль температуры обеспечивает равномерный нагрев по длине и сечению реторты. При необходимости создания виброкипящего слоя на реторту накладываются высокочастотные колебания от вибратора. По окончании процесса реторта остывает вместе с печью до температуры ниже 100⁰С, раскрывается, после чего проводятся дальнейшие исследования.

методами электронно-микроскопического, рентгенофлуоресцентного анализа и анализа фазового состава.

Электронно-микроскопический анализ проводился на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM-7001F. Поверхность исследовалась в режиме вторичных и отраженных электронов, были построены карты распределения элементов по поверхности.

Рентгенофлуоресцентный анализ осуществляли с помощью энергодисперсионного спектрометра Oxford INCA X-ma/80, который смонтирован на микроскопе Jeol JSM-7001F.

Исследование фазового состава проведено с помощью рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima 4.

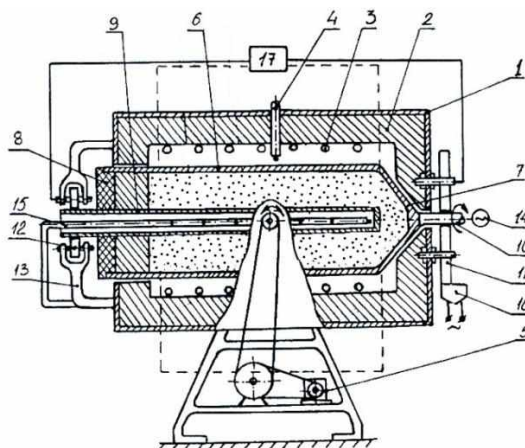


Рис. 2. Лабораторная установка для обжига отвального никелевого шлака:

1 - камера нагрева; 2 - цилиндрический муфель; 3 - электронагреватель; 4 - датчик температуры; 5 - механизм поворота; 6 - реторта; 7 и 8 - передняя и задняя крышки; 9 - глуходонная гильза; 10 - вал; 11 - передние катки; 12 - задние катки; 13 - изолятор; 14 - привод; 15 - дополнительные датчики температуры; 16 - вибратор; 17 - источник питания

Результаты экспериментов

Карты распределения элементов в отвальном шлаке, полученные при анализе площади 300x400 мкм, и карты распределения элементов в никельсодержащем включении

представлены на рис. 3 и 4. Результаты химического анализа отвального шлака и никельсодержащего включения представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Состав закаленного шлака, полученный от анализа участка 2x3 мм

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Итого
Участок 1	42,31	0,35	4,97	2,94	17,66	0,63	8,19	0,11	0,99	0,30	20,80	0,20	0,36	0,15	0,09	0,17	100,00
Участок 4	42,74	0,41	5,09	2,93	17,93	0,61	8,29	0,11	0,75	0,30	20,09	0,19	0,29	0,19	0,12	0,16	100,00
Участок 6	42,14	0,32	4,95	2,90	17,89	0,72	8,42	0,11	0,77	0,30	20,74	0,24	0,32	0,20	0,10	0,12	100,00
Участок 8	42,08	0,44	4,77	2,82	17,88	0,81	8,22	0,14	0,77	0,26	21,14	0,21	0,37	0,25	0,10	-0,03	100,00
Участок 9	41,37	0,38	4,74	2,87	17,56	1,01	8,26	0,13	0,72	0,30	21,59	0,21	0,48	0,23	0,19	0,19	100,00
Среднее	42,13	0,38	4,90	2,89	17,78	0,76	8,28	0,12	0,80	0,29	20,87	0,21	0,36	0,20	0,12	0,12	100,00

Таблица 2

Состав никельсодержащего включения

O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Итого
15,97	0,24	0,88	0,76	2,71	13,13	0,78	0,06	0,14	0,00	53,98	1,13	10,32	0,23	0,34	0,50	100,00

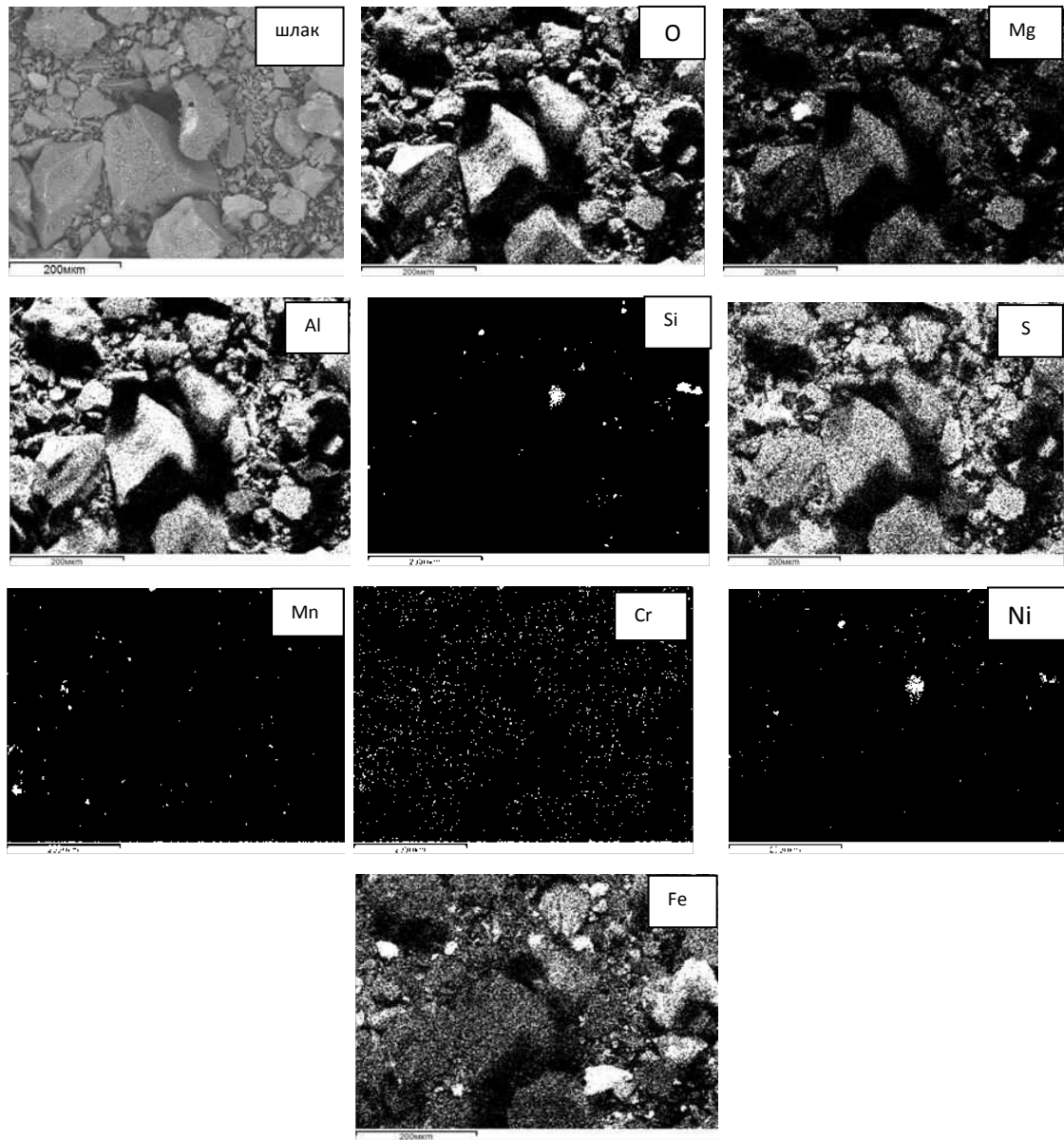


Рис. 3. Карты распределения элементов в шлаке на площади 300x400 мкм

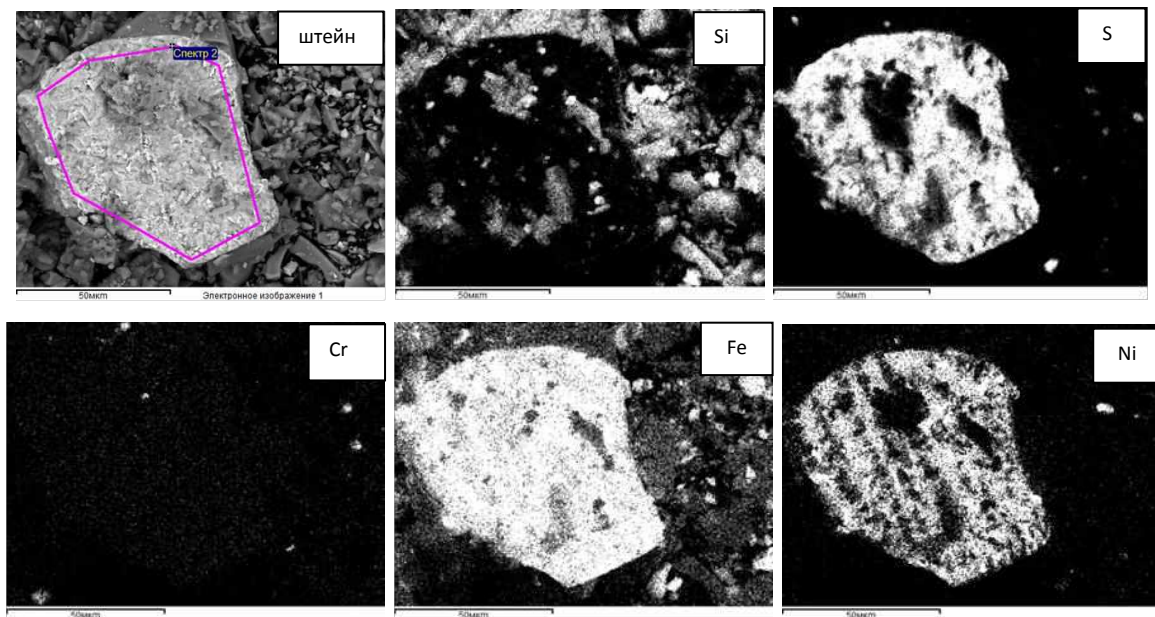


Рис. 4. Область определения состава никелевого включения и карты распределения элементов

Результаты рентгеновского фазового анализа представлены на рис. 5 и 6.

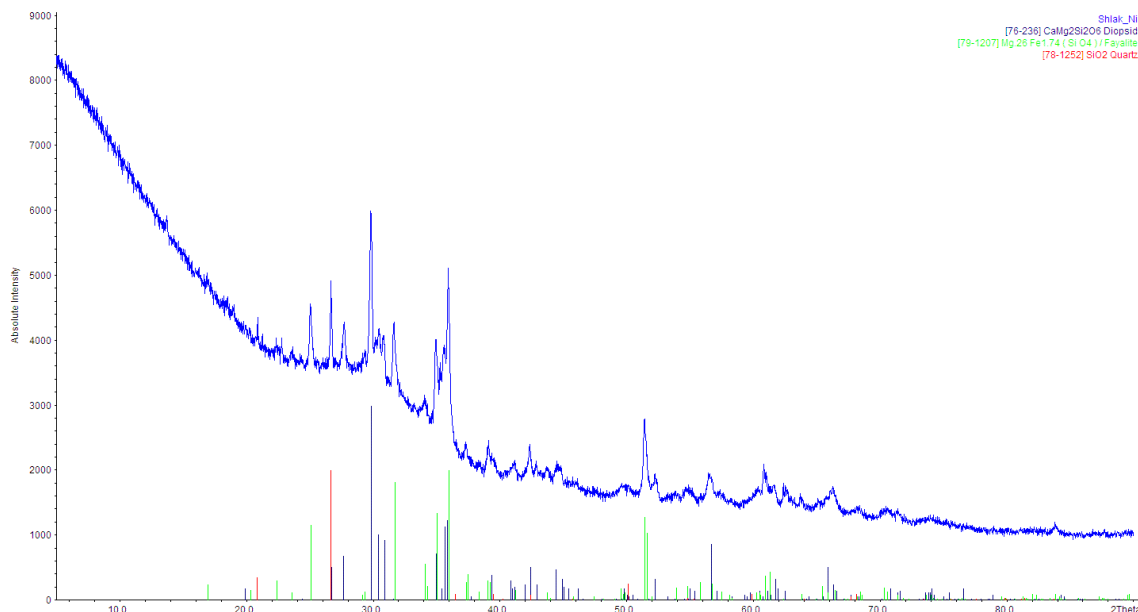


Рис. 5. Отнесение пиков рентгенограммы мы $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (диопсид), $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ (фаялит), SiO_2 (кварц)

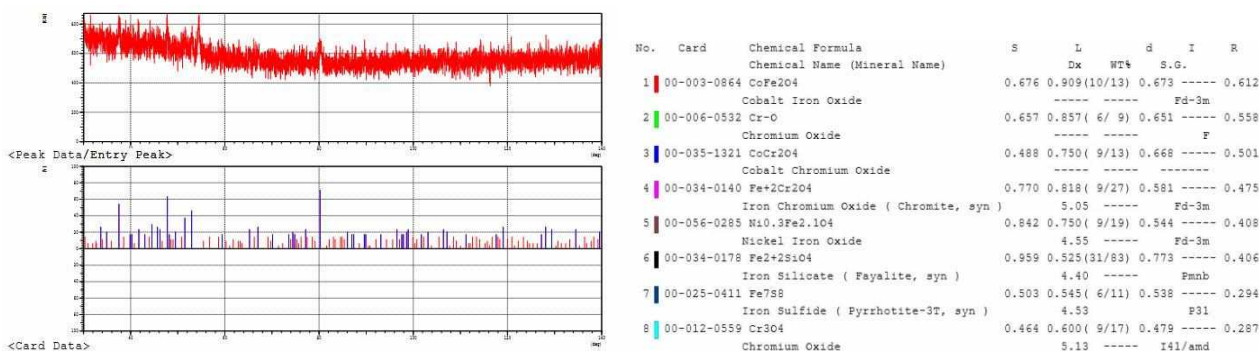


Рис. 6. Рентгенограмма аморфной составляющей никелевого шлака

Рентгенограмма на рис. 5 позволяет выделить три основные фазы - диопсид $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (35 масс. %), частично замещенный магнием фаялит $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ (12 масс. %), кварц SiO_2 (2,5 масс. %) - и большое количество аморфного стекло-видного шлака (50 масс. %).

Результаты фазового анализа согласуются с данными, полученными при картировании. Никель в шлаке находится в виде фазы $(\text{Fe,Ni})\text{S}$, которая присутствует в малом количестве в виде отдельных включений, попавших в основной шлак механическим путем, и не может быть определена. Соотношение Fe:Ni в представленных на рис. 3 и 4 картах составляет от 1:1 до 1:5. Часть никеля находится в окисленной форме в виде ферритов (рис. 6). Опираясь на рентгенограмму аморфного

шлака (рис. 6), можно заключить, что кобальт преимущественно распределен в оксидной части шлака в виде ферритов и хромитов, хром присутствует в виде хромитов и оксидов.

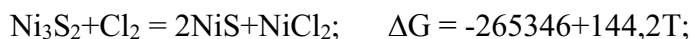
На основании данных микрорентгено-спектрального и фазового анализа отвального никелевого шлака Южно-Уральского никелевого комбината можно заключить, что основная часть никеля входит в состав сульфидных фаз с участием железа (типа $(\text{Fe,Ni})\text{S}$), остальной никель замещает железо в фаялите или входит в состав ферритов. Сульфидные фазы являются мелкими каплевидными включениями (размером от 10 до 100 мкм) в массе стекло-видного шлака на основе фаялита. Поэтому для полноты извлечения необхо-

димо первоочередно тонко измельчать отвальный шлак.

Восстановление никеля из отвального никелевого шлака коксом путем расплавления позволило получить железоникелевый сплав с содержанием никеля 2,2-3,0 масс. % (0,57-0,7% серы, остальное – железо). Выход годного составил по металлической фазе 8-10%, степень извлечения никеля - 49%. Извлекать данным способом никель, даже применяя для этого сульфидирующие добавки или металл-коллектор, экономически неэффективно и технологически трудно: приходится извлекать большие объемы шлака из печи и использовать разжижающие флюсы. Для увеличения экономических показателей переплава необходимо предварительно

обогащать отвальный никелевый шлак до содержания в нем никеля, эквивалентного ряду окисленных никелевых руд разрабатываемых месторождений [5].

Гораздо эффективнее с технологических и экономических позиций извлекать никель из отвальных шлаков в магнитный концентрат, используя хлористый аммоний и кокс. Хлористый аммоний начиная с температуры 350 °С разлагается с выделением хлороводорода, который при более высоких температурах диссоциирует с образованием свободного хлора. Кокс создает восстановительную атмосферу и участвует в процессах восстановления никеля и железа. Процессы, протекающие в шихте, могут быть реализованы следующими химическими процессами [6-9]:



Образующийся хлорид никеля начиная с температуры 978 °С возгоняется и конденсируется на поверхности железных включений, которые, в свою очередь, образуются при восстановлении железа из

оксидов в шлаке на границах коксовых включений (рис. 7а). В результате реакции обмена железные частицы обогащаются никелем и увеличиваются в размерах (рис. 7б).

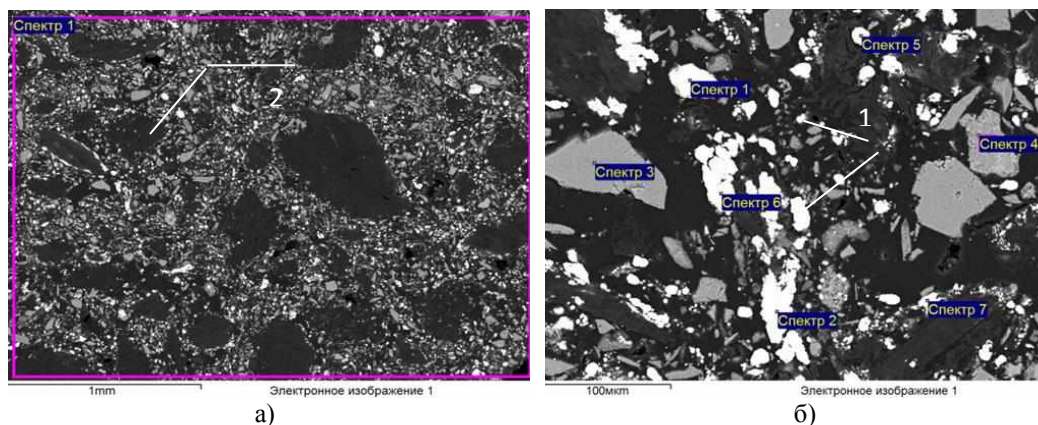


Рис. 7. Морфология зарождения металлической фазы (а) и корольки ферроникеля (б) в шихте (2% NH_4Cl , 10% кокса, остальное - шлак) после ее нагрева и выдержки при температуре 1000 °С в течение 1 ч:

1 - корольки ферроникеля; 2 - кокс

Таблица 3

Химический состав структурных составляющих шлака после прокалки (рис. 7б)

Номер спектра	Химический состав, масс. %									
	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Fe	Co	Ni
1	1,3	0	0,1	0,2	0,2	0,1	0	76,7	2,0	19,8
2	1,6	0	0	0,2	0,3	0,1	0	95,8	0,8	1,9
3	42,7	7,0	3,3	21,0	0	13,9	0,5	11,4	0,1	0,1
4	40,2	4,7	3,4	20,9	0,4	11,7	1,2	17,2	0,1	0,1
5	1,0	0,1	0	0,1	0,3	0,1	0	96,5	0,9	1,5
6	1,3	0	0	0,2	0,2	0	0	96	1,0	1,7
7	2,6	0,4	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	94,4	0,8	1,7

Последующие измельчение спекшейся шихты и магнитная сепарация позволяют извлечь данные образования в магнитный концентрат. Результаты анализа магнитной части шлака с площади 2х3 мм представлены в табл. 4. Структура,

места точечного спектрального анализа и результаты химического анализа с исследуемой площади поверхности немагнитной части шлака приведены на рис. 8 и в табл. 5.

Таблица 4

Химический состав магнитного концентрата (рис. 7а)

№	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Fe	Co	Ni
1	36,0	3,2	1,8	13,0	0,3	5,3	0,5	39,0	0,3	0,5

Таблица 5

Химический состав немагнитной фракции (рис. 8б)

№	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Fe	Co	Ni
1	43,8	5,2	3,1	22,4	0,4	10,1	0,8	14	0,2	0,1

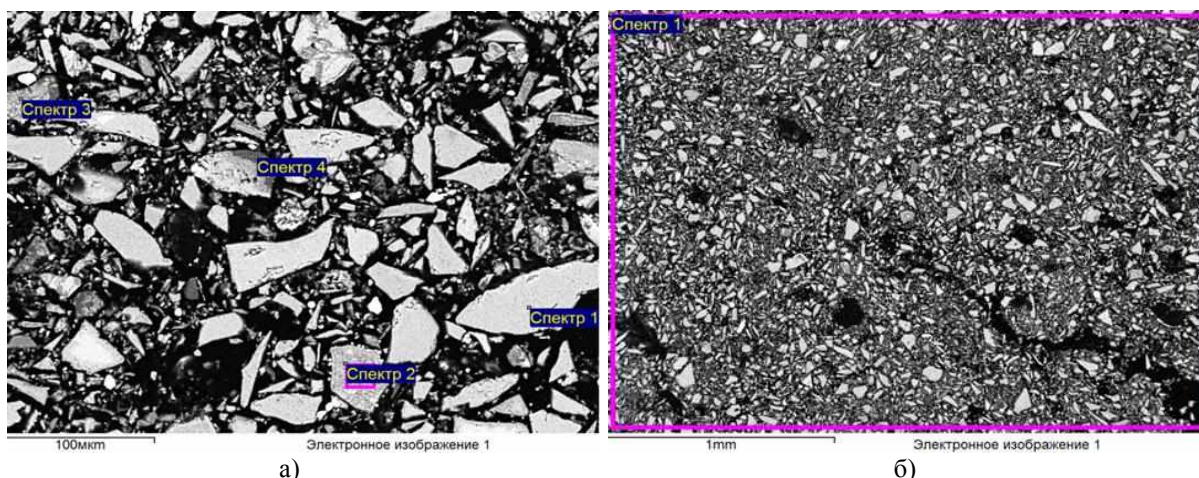


Рис. 8. Структура немагнитной фракции шлака с площади 500х400 мкм (а) и 3х2 мм (б), полученная от магнитной сепарации шихты (2% NH₄Cl, 10% кокса, остальное - шлак), прокаленной в течение часа при 1000 °С

Химический состав структурных составляющих немагнитной части шлака после химико-термической обработки (рис. 8а) представлен в табл. 6. Последующий

переплав магнитной части шлака, составов, приведенных в табл. 7, позволяет получить ферроникель, химический состав которого приведен в табл. 8.

Таблица 6

Химический состав структурных составляющих хвостов магнитной сепарации

Номер спектра	Химический состав, масс. %									
	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Fe	Co	Ni
1	42,4	5,3	2,6	22,6	0,1	14,4	0,8	11,7	0,1	0,0
2	41,1	6,3	2,6	23,9	0,0	9,9	0,7	15,4	0,2	0,0
3	36,0	7,4	0,3	27,1	0,0	11,9	1,0	16,5	0,0	0,0
4	40,5	0,1	0,4	46,6	0,3	0,2	0,1	12,1	0,1	0,3

Таблица 7

Состав шихты и выход годного магнитного концентрата

№	Шихта для ХТО, масс. %			Температура, °С	Выдержка, ч	Концентраты после сепарации, масс. %	
	Шлак	NH ₄ Cl	Кокс			магн.	немагн.
1	88	2	10	1000	1	15	85
2	88	2	10	1000	2	69	31
3	88	2	10	1000	4	64	36
4	88	2	10	1000	6	54	46
5	88	2	10	1000	8	62	38

Анализируя данные табл. 6, можно заключить, что в большинстве структурных составляющих немагнитной части шлака отсутствует никель, так как он перешел в магнитный концентрат. Степень извлечения никеля в магнитный

концентрат составляет 80-85%, а при последующем переплаве никель практически полностью переходит в расплав. Химический состав шлака, полученный от переплава магнитного концентрата, представлен в табл. 9.

Таблица 8

Химический состав и выход годного ферроникеля, полученного от переплава магнитного концентрата (табл. 7)

№ опыта	Шихта, масс. %		T, °С	ВГ, %	Химический состав ферроникеля, масс. %					
	Конц.	Кокс			Cr	Ni	S	Si	Co	Fe
1	99	1	1550	34	0,8	9,2	3,0	3,0	0,8	Ост.
2	99	1	1550	28	1,0	6,1	1,7	4,3	0,7	Ост.
3	99	1	1550	27	1,1	6,2	1,8	3,4	0,9	Ост.
4	99	1	1550	32	1,9	6,2	4,5	6,0	0,8	Ост.
5	99	1	1550	34	1,2	7,0	4,2	3,0	0,7	Ост.

Таблица 9

Химический состав шлака, полученный после переплава магнитной фракции

№ опыта	Химический состав, масс. %						
	O	Al	Si	Ca	Mn	Fe	Ni
1	54,12	15,44	20,82	7,93	0,28	0,08	0,09
2	53,96	18,29	19,38	8,05	0,16	0,1	0,08
3	53,75	15,21	21,62	8,95	0,26	0,11	0,10
4	53,51	20,18	18,20	7,86	0,28	0,00	0,00
5	52,89	20,70	17,16	8,99	0,15	0,08	0,03

Согласно данным табл. 9, шлак представляет собой очищенную от железа и

Заключение

Проведенными анализами установлено, что отвальный никелевый шлак содержит в среднем 0,36 масс. % никеля, основная часть которого входит в состав сульфидных фаз с участием железа (типа (Fe,Ni)S). Остальной никель замещает железо в фаялите или входит в состав ферритов. Кобальт преимущественно распределен в оксидной части шлака в виде ферри-

никеля пустую породу в виде стекловидной фазы темно-блестящего цвета.

тов и хромитов. Основная часть железа сосредоточена в фаялите.

Переработка отвальных никелевых шлаков представленным способом позволяет извлекать до 80-85% никеля и хрома (последний содержится в отвальных никелевых шлаках в качестве примеси, перешедшей из руды) и 55-65% железа, которое переходит в магнитный концентрат после химико-термической обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куприянов, Ю.П. Шахтная плавка вторичного сырья цветных металлов / Ю.П. Куприянов. - М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1995. - 164 с.
2. Шохин, В.Н. Гравитационные методы обогащения / В.Н. Шохин, В.Н. Лопатин. - М.: Недра, 1993. - 350 с.
3. Стрельцов, Ф.Н. Повышение эффективности переработки шлаков на заводах ОЦМ / Ф.Н. Стрельцов, А.Н. Задиранов // Цветные металлы. - 1993. - № 1. - С. 61-64.
4. Козырев, В.М. Основы современной экономики / В.М. Козырев. - М.: Финансы и статистика, 1998. - 368 с.
5. Диомидовский, Д.А. Metallurgy of ferrous nickel / Д.А. Диомидовский, Б.П. Онищин. - М.: Metallurgy, 1983. - 183 с.
6. Вайсбурд, С.Е. Физико-химические свойства и особенности строения сульфидных расплавов / С.Е. Вайсбурд. - М.: Metallurgy, 1996. - 304 с.
7. Maurel, C. Types de reactions d'oxidation observes au cours de analyse thermique differentielle, dans air mineral sulfures et arsenies de Fe, Co, Ni, Cu, Zn / C. Maurel // Bull. Soc. Franc. Min. Crist. - 1994. - Т. 87. - № 3. - P. 377-385.
8. Tanabe, T. Oxidation of mixed nickel-iron sulfide / T. Tanabe, M. Ogawa // J. Jap. Inst. Metals. - 1996. - V. 50. - № 2. - P. 192-200.
9. Мечев, В.В. Особенности сульфидирования ферритов цветных металлов / В.В. Мечев // Металлы. - 1994. - № 2. - С. 3-10.
1. Kupriyanov, Yu.P. Mine melting of nonferrous metals recycled material / Yu.P. Kupriyanov. - M.: CRI of Nonferrous Metals Economy and Information, 1995. - pp. 164.
2. Shokhin, V.N. Gravitational Methods of Concentration / V.N. Shokhin, V.N. Lopatin. - M.: Mineral Resources, 1993. - pp. 350.
3. Streltsov, F.N. Efficiency increase in slag processing at NM plants / F.N. Streltsov, A.N. Zadiranov // Nonferrous Metals. - 1993. - No.1. - pp. 61-64.
4. Kozyrev, V.M. Modern Economy Fundamentals / V.M. Kozyrev. - M.: Finances and Statistics, 1998. - pp. 368.
5. Diomidovsky, D.A. Ferronickel Metallurgy / D.A. Diomidovsky, B.P. Onishchin. - M.: Metallurgy, 1983. - pp. 183.
6. Weisburd, S.E. Physical-Chemical Properties and Peculiarities of Sulfide Liquid Melts Structures / S.E. Weisburd. - M.: Metallurgy, 1996. - pp. 304.
7. Maurel, C. Types de reactions d'oxidation observes au cours de analyse thermique differentielle, dans

- air mineral sulfures et arsenies de Fe, Co, Ni, Cu, Zn / C. Maurel // Bull. Soc. Franc. Min. Crist. - 1994. - Т. 87. - № 3. - P. 377-385.
8. Tanabe, T. Oxidation of mixednickel-iron sulfide / T. Tanabe, M. Ogawa // J. Jap. Inst. Metals. - 1996. - V. 50. - № 2. - P. 192-200.
9. Mechev, V.V. Peculiarities in nonferrous metal ferrite sulfidizing / V.V. Mechev // *Metals*. – 1994. – No.2. – pp. 3-10.

Статья поступила в редколлегию 2.10.17.

*Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного
технического университета*

Киричек А.В.

Сведения об авторах:

Веселовский Александр Александрович, к.т.н., директор по качеству ООО «Ходовые системы», г. Челябинск, e-mail: a_a_ves@mail.ru.

Veselovsky Alexander Alexandrovich, Can. Eng., Quality Director of “Running Systems”, Chelyabinsk, e-mail: a_a_ves@mail.ru.

Лайхан Саламат Армангулы, магистрант Южно-Уральского государственного университета, e-mail: sala_laihan_93@mail.ru.

Laikhan Salamat Armanguly, Master Student of South-Urals State University, e-mail: sa-la_laihan_93@mail.ru.

УДК 539.4: 624.04

DOI: 10.12737/article_5a337fc1156255.5022456

М.В.Зернин

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦЫ ПЕРЕРАСТАНИЯ КОРОТКИХ ТРЕЩИН В МАКРОТРЕЩИНЫ И РЕАЛИЗАЦИЯ ЕГО ДЛЯ БАББИТА НА ОСНОВЕ ОЛОВА

Проанализированы стадии развития трещин усталости и показано, что для описания перехода от коротких трещин к макротрещинам логично использовать статистический подход, основанный на существенном различии характеристик рассеивания скоростей развития трещин на этих двух этапах. Приведены результаты экспериментальных иссле-

дований циклической трещиностойкости баббитовых слоев, нанесенных на стальную основу, и получены параметры указанной границы перехода.

Ключевые слова: циклическое нагружение, стадии развития трещин, скорость развития трещин, короткие трещины, макротрещины, статистический подход, баббит на основе олова.

M.V. Zernin

STATISTICAL PRINCIPLE FOR BOUNDARY DEFINITION IN DEVELOPMENT OF SHORT CRACKS INTO MACRO-CRACKS AND ITS REALIZATION FOR TIN-BASED BABBIT

On the basis of the analysis of stages in the nucleation and development of fatigue cracks there is offered a statistical principle for the definition of boundary parameters at the development of short cracks into macro-cracks. This principle is based on the considerable difference in dissemination parameters of crack development at the two stages mentioned above. The results of experimental investigations of cracks development in a babbit layer of bimetallic cylindrical samples bearing load according to a pattern of a curve with

rotation are processed. It is established that a transition from short cracks to long ones (macro-cracks) is realized on reaching by a rate of stress intensity a value of $1 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$. The results of the work will be used for the further rated definition of life for sliding bearings with a babbit layer.

Key words: repeated loading, stages of crack development, rate of crack development, short cracks, macro-cracks, statistical approach, tin-based babbit.

Постановка задачи

На кафедре «Механика, динамика и прочность машин» БГТУ в течение многих лет выполняются исследования различных механических свойств антифрикционных материалов (АФМ) для подшипников скольжения (ПС). В частности, исследованы свойства баббита Б83, содержащего кроме Sn 10...12% Sb и 5,5...6,5% Cu. Этот баббит проявляет отличные антифрикционные качества, но прочностные его свойства сравнительно низки. Нами систематизированы свойства баббита в монографии [1], в настоящее время уточняются [2-4] характеристики разрушения баббита при статическом и циклическом нагружении.

АФМ применяются в ПС в виде тонкого слоя, нанесенного на более прочную основу (так называемые вкладыши). Нам представляется рациональной следующая система методик экспериментальных исследований АФМ. При испытаниях образ-

цов баббита следует определить основные его прочностные характеристики [1; 2]. Далее при испытаниях баббитовых слоев, нанесенных на стальную основу, но при отсутствии смазочного материала и контактного нагружения следует определить прочностные и усталостные характеристики сталебаббитовой композиции [1; 3; 5-7]. Желательно такие испытания выполнять в четко контролируемых условиях нагружения баббита. А испытания баббитовых слоев при наличии смазывающего материала и контактирования поверхностей следует использовать для оценки влияния этих факторов на прочностные и усталостные характеристики [1; 4; 8; 9]. При этом желательно тоже в максимальной степени контролировать условия нагружения АФМ. В настоящей статье обобщены результаты теоретических и экспериментальных исследований циклической тре-

щиностойкости баббитовых слоев [2; 3; 5-7] и предложен статистический принцип

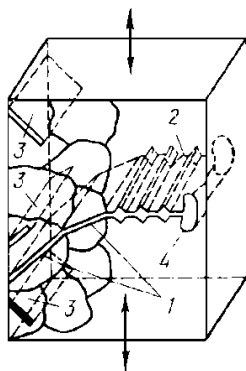
описания перехода коротких трещин в макротрещины.

Стадии развития усталостных трещин и перспективность построения статистических моделей циклической трещиностойкости

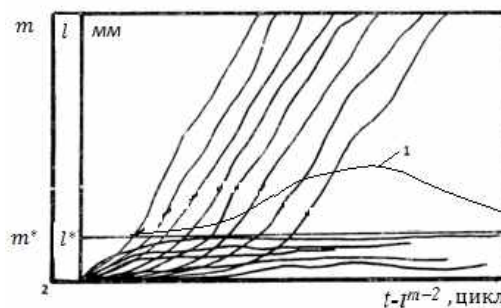
При контактных условиях нагружения приповерхностные слои материала повреждаются сильнее, чем глубинные. При многократном нагружении усталостные микротрещины возникают обычно на поверхности даже при отсутствии контактных нагрузок и располагаются в активных плоскостях скольжения, в которых действуют максимальные сдвиговые напряжения (рис. 1а). Часто трещиноподобные дефекты микроскопических размеров имеются до начала нагружения объекта.

При высоком уровне напряжений рост трещин начинается с самых первых

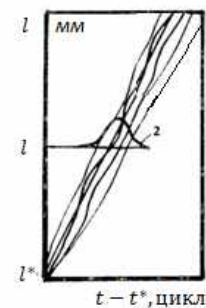
циклов нагружения. Так бывает и при меньших уровнях напряжений, если уже до начала эксплуатации детали имеется значительное количество трещиноподобных дефектов в ее объеме и на поверхности. Причем концентрация начальных и вновь появившихся микродефектов в приповерхностных слоях может быть на несколько порядков выше, чем в глубинных слоях [10-14]. Исключениями являются поверхностно упрочненные материалы и некоторые виды нагружения, при которых максимальные напряжения возникают под поверхностью.



а)



б)



в)

Рис. 1. Усталостные трещины, распространяющиеся с поверхности (а); кривые роста усталостных трещин с учетом (б) и без учета (в) стадии перехода от коротких трещин к макротрещине:

- 1 – кривая плотности распределения долговечности стадии перехода от коротких трещин к макротрещине;
2 – кривая распределения долговечности стадии развития трещины от длины l^* до некоторой длины l

Применяется следующая упрощенная градация трещин по размерам. Трещины принято называть малыми (или микротрещинами), если их длина не превышает размера зерна материала. Концентрация напряжений у вершины трещины сопоставима с микроструктурной концентрацией напряжений (например у границы зерен). Критерием отнесения трещины к разряду макроскопических (длинных) служит высокая концентрация напряжений у ее вершины по сравнению с микроструктурной концентрацией напряжений. То есть сопоставляются концентрация напряжений от

внутреннего самоуравновешенного поля микроструктурного НДС и концентрация напряжений у вершины трещины от действия внешних нагрузок. Поэтому уровень внешних нагрузок влияет на размер трещины, который соответствует размеру зародыша макротрещины. Обычно зародыш макротрещины превышает размеры элементов структуры в несколько раз (до 10 и более). Короткими трещинами принято называть такие, размеры которых больше размера зерна, но меньше размера зародыша макротрещины. Размеры короткой трещины также можно условно оценивать

параметром m – количеством объединившихся (находящихся рядом) разрушенных зерен структуры (микротрещин). Этот параметр можно отсчитывать от $m=2$ (объединились две микротрещины) и до m^* , соответствующего размеру зародыша макротрещины l^* .

Если построить графики приращений длин отдельных трещин (рис. 1б), то видно, что большинство коротких трещин останутся, не достигнув размеров зародыша макротрещины. Кривая распределения скоростей развития всех трещин охватывает большую полосу значений скоростей. Если для трещин, достигнувших размеров зародыша макротрещины, графики их развития построить, взяв по горизонтальной оси время их развития от момента достижения размера зародыша l^* , то такие линии будут группироваться значительно плотнее (рис. 1в). Кривая распределения скоростей (линия 2 на рис. 1в) замкнута в сравнительно узком диапазоне скоростей. То есть развитие коротких трещин характеризуется большим рассеянием скоростей, чем развитие макротрещин.

Процессы развития коротких и макротрещин можно объединить на схеме кинетической диаграммы усталости (рис. 3).

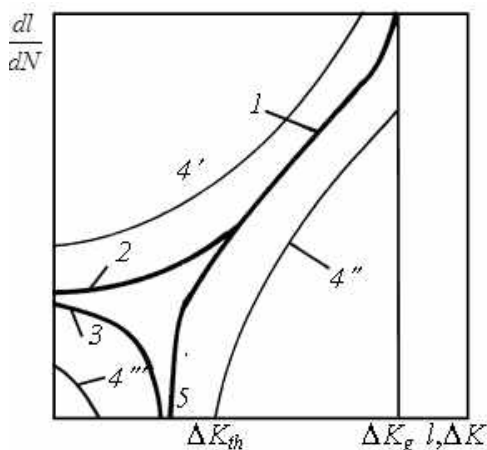


Рис. 2. Схематическое изображение обобщенной кинетической диаграммы развития усталостных трещин

На рис. 2 линия 1 – это кинетическая диаграмма, характерная для макротрещин; линия 2 описывает развитие эффективных коротких трещин, перерастающих в мак-

Здесь приведена так называемая обобщающая схема стадий развития усталостных трещин, основанная на достаточно представительных экспериментальных исследованиях и обзорных публикациях [11-13].

По горизонтальной оси может отсчитываться длина трещины или изменение (размах) коэффициента интенсивности напряжений (КИН), потому что мы рассматриваем процесс при постоянной нагрузке и единственным параметром, влияющим на КИН, является длина трещины. Использование КИН в качестве параметра оси абсцисс является условным. Например, при одноосном нагружении макротрещина развивается по схеме нормального отрыва (рис. 3а), а короткие трещины – по схеме поперечного сдвига (рис. 3б). На горизонтальной оси имеется некоторая переходная область, до которой необходимо отсчитывать K_{II} , а после нее – K_I , где нижний индекс соответствует обозначению типа трещины на рис. 3. Фактически по горизонтальной оси можно отсчитывать только какие-то условные значения КИН, в то время как характерный размер трещины (например ее максимальный размер – длина) сохраняет ясный физический смысл.

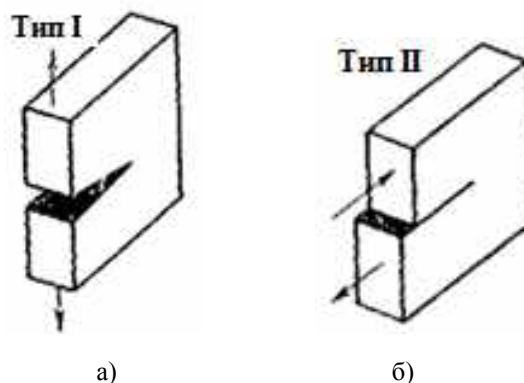


Рис. 3. Схематическое изображение трещины нормального отрыва (а), поперечного сдвига (б)

ротрещины; 3 – характеризует развитие нераспространяющихся (неэффективных) трещин. Линии 4', 4'', 4''' очерчивают границы области рассеивания эксперимен-

тальных значений скоростей развития всех трещин. Причем границы 4" чаще всего не бывает, что означает присутствие в материале нераспространяющихся трещин очень малых размеров. Фактически в допороговой области имеется система коротких трещин, и скорости их развития существенно (на несколько порядков) различаются.

В механике развития длинных трещин усталости принято, что существует некоторое пороговое значение КИН (и соответствующее значение длины трещины при каждом уровне напряжений) - точка 5 на оси абсцисс, левее которой трещины не развиваются. В самом деле, трещины могут расти и в допороговой области, иначе бы гладкие образцы без начальных макротрещин никогда не разрушились бы. Причем многие исследователи обнаружили, что скорости роста трещин в допороговой

области для многих материалов оказались на 2-4 порядка выше скоростей роста длинных трещин.

При решении упругой задачи о НДС у вершины трещины получаем бесконечное значение напряжений (рис. 4а). Но в реальных случаях (рис. 4б) у вершины трещины возникает пластическая зона. Размер зоны пластичности при вершине трещины можно оценить, если определить расстояние от вершины трещины r_p , на котором упругое напряжение σ_y превышает предел текучести σ_{ys} (рис. 4б). Если пластическая зона у вершины трещины невелика и игнорируется или каким-то образом корректируется, то говорят о линейной механике разрушения. Если пластическая деформация в теле с трещиной развита настолько, что ее игнорирование невозможно, то применяются методы нелинейной механики разрушения.

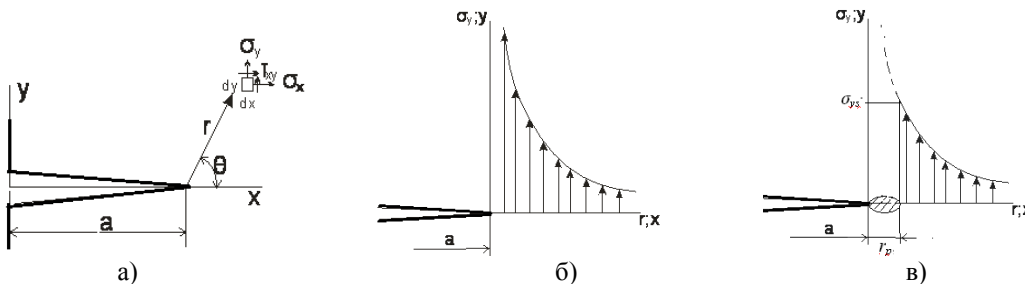


Рис. 4. Компоненты напряжений вблизи вершины трещины (а); асимптотический (б) и реальный (в) графики напряжений вблизи вершины трещины

Результаты решения задачи о напряженно-деформированном состоянии (НДС)

$$U_i = \frac{K}{G} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} F_i(\mu, \theta); \quad \sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta); \quad \varepsilon_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \varphi_{ij}(\theta),$$

где r и θ - полярные координаты (рис. 4а); U_i - компоненты поля перемещений; σ_{ij} - компоненты поля напряжений (рис. 4а); ε_{ij} - компоненты поля деформаций; G - модуль упругости при сдвиге; μ - коэффициент Пуассона.

Можно выделить стадию устойчивого развития макротрещин, после которой одна из трещин (или несколько) вступает в стадию неустойчивого развития, переходящую в долом образца (разделение его на две или больше частей). Этот переход осуществляется при некотором критиче-

ском значении параметров, характеризующих напряжение у вершины трещины. Для статического нагружения критерий разрушения в общем виде записывается так [15-17]:

$$P(p, l) \leq P_c. \tag{1}$$

Здесь $P(p, l)$ обозначена критериальная величина, зависящая от параметров внешней нагрузки p и длины трещины l . Справа в выражении (1) стоит та же критериальная величина P , но соответствующая предельному (критическому) состоянию материала и поэтому обозначенная P_c . Эта

величина определяется экспериментально. Как правило, она постоянная и считается механической характеристикой материала, по которой оценивают сопротивление материала росту трещины (его трещиностойкость). Если в выражении (1) оказывается знак «меньше», то трещина не растет; если равенство, то наступает критическое (предельное) состояние равновесия, трещина страгивается, образец разрушается.

В усталостном изломе можно выделить три зоны, соответствующие различным этапам развития макротрещин: зона развития трещины с несущественным влиянием пластических деформаций (условно названная упругой) e ; зона развития трещины с влиянием пластики ep ; зона долома образца fr .

На процессы развития коротких и макроскопических трещин оказывает влияние большое количество факторов, большинство из которых трудно контролировать. Этот факт указывает на перспективность статистических методов обработки результатов экспериментов и расчетов процесса развития трещины в деталях. После определения экспериментальных значений скоростей развития коротких и длинных трещин получаем систему точек, практически полностью заполняющую (но с различной плотностью) зону рассеивания, ограниченную линиями 4 на рис. 2.

Сильное влияние статистической природы развития трещин, рассеивание критериальных значений параметров перехода от одной стадии к другой наглядно демонстрируют сложность применения детерминированных моделей и способов обработки экспериментальных данных. В принципе, возможно тщательное исследование каждой отдельной поверхностной трещины с применением сложных способов определения ее реальной конфигурации в глубину и ориентации в системе кристаллографических координат каждого очередного кристаллита, пересекаемого трещиной. Но даже при такой достаточно строгой постановке эксперимента практически невозможно учесть многие из влияющих факторов. Не отрицая важности

тщательных исследований индивидуальных особенностей развития каждой допороговой трещины в отдельности, заметим, что более перспективными представляются статистические модели и способы обработки результатов эксперимента. В основе таких подходов лежит гипотеза о проявлении и неявном учете всех индивидуальных особенностей развития отдельных трещин при достаточно представительной выборке экспериментальных данных. Статистические модели сравнительно легко и корректно экстраполируются на другие условия. Их логично применять в расчетах конкретных деталей, условия нагружения которых также в большинстве случаев следует определять на основе статистических подходов.

Представляет интерес статистическое представление результатов по развитию коротких трещин, как это выполнено, например, в работе [18] для сплава Д1 (рис. 5). Представленный диапазон длин трещин включает границу перехода от коротких трещин к длинным. На нормальной вероятностной бумаге этот факт проявляется таким образом, что эти две стадии развития трещин характеризуются двумя нормальными законами распределения скоростей. Причем дисперсия скоростей коротких трещин значительно больше дисперсии скоростей длинных трещин из-за влияния большего числа факторов. В зоне перехода от коротких трещин к длинным закон распределения скоростей имеет две ветви, соответствующие двум указанным нормальным законам (линии 1-3 на рис. 5).

По нашему мнению, подобные экспериментальные данные для меньших размеров трещин должны группироваться возле линий под номерами 7 и 8 (рис. 5). Таким образом, чем меньше размер трещины (чем в большей степени ее можно классифицировать как малую), тем больше на таких линиях участок для нормального закона с большим рассеиванием. Причем на данном этапе исследований можно принять углы наклона указанных двух ветвей постоянными для всех длин трещин. Сле-

довательно, по углам наклона левых участков можно восстановить характеристики распределения скоростей развития коротких трещин, а по углам наклона правых участков – характеристики рассеивания скоростей развития макротрещин.

Размер зародыша макротрещины можно отыскивать из серии таких линий. Размеру зародыша макротрещины должна соответствовать линия, точка перелома которой находится на уровне вероятности 50% (например линия 1 на рис. 5). Имея такие статистические данные, можно строить статистические модели развития трещин со статистическим описанием стадии перехода от коротких трещин к макротрещинам.

В обобщение сказанного о развитии коротких и длинных трещин предложена статистическая модель. Схематически обобщенная кинетическая диаграмма

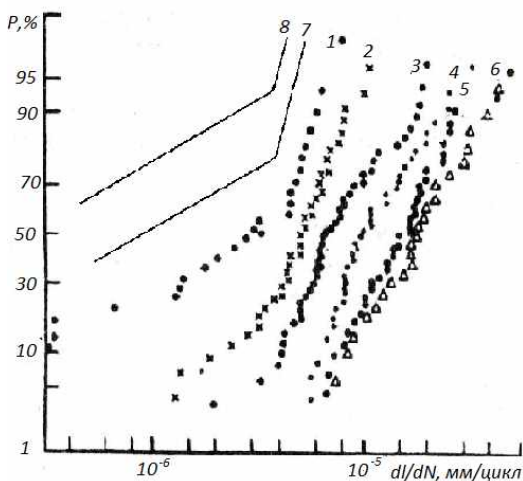


Рис. 5. Распределение скоростей развития усталостных трещин в сплаве Д1 при разных длинах трещин: 1 – 1,5 мм; 2 – 3 мм; 3 – 5 мм; 4 – 8 мм; 5 – 10 мм; 6 – 12 мм; 7, 8 – экстраполяция наблюдаемых закономерностей в область малых трещин

предлагаемой модели представлена на рис. 6. Помимо линий 1, 2 и 3, соответствующих вероятностям 99, 50 и 1% , нанесены серии вертикальных сечений и линии 5-11, представляющие дифференциальные функции распределения скоростей развития трещин при различных значениях КИН. Если на таких графиках выделяются участки, соответствующие различным законам рассеивания, то можно провести линию 4, соединяющую границы перехода от одного нормального закона (с большим рассеиванием) к другому нормальному закону (с меньшим рассеиванием). Значение КИН (длины трещин), при котором такой переход реализуется при вероятности 50%, можно считать порогом перехода от коротких к макроскопическим трещинам. Это значение КИН соответствует размеру зародыша макротрещины при данной нагрузке.

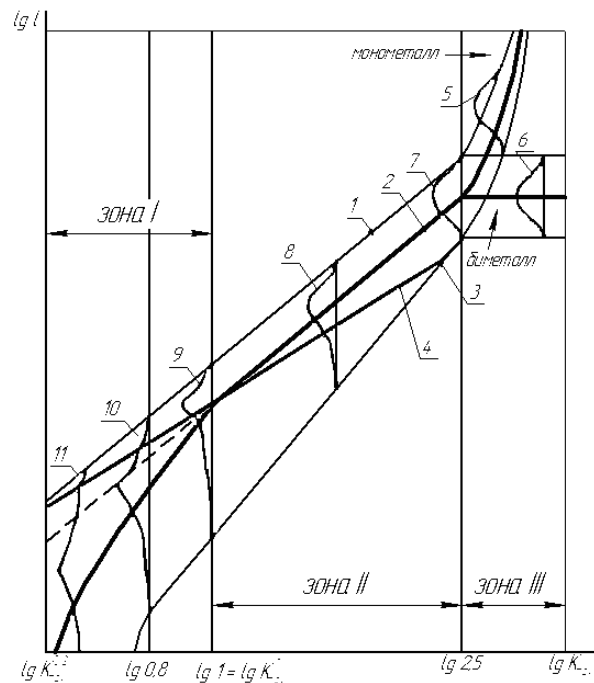


Рис. 6. Схематическое представление вероятностной кинетической диаграммы усталости: 1, 2, 3 – кинетические диаграммы усталости, соответствующие вероятностям $p=99\%$, $p=50\%$, $p=1\%$; 4 - линия, соединяющая границы перехода от одного нормального к другому нормальному закону распределения скоростей развития трещин при разных K_{max} ; 5-11 – графики дифференциальных функций распределения скоростей развития трещин

Из такой модели можно получить следующие параметры циклической трещиностойкости:

- Границу перехода от коротких трещин к макротрещинам (от зоны I к зоне II).
- Уравнение развития (например уравнение Париса) для участка стабильного роста макротрещины (зона II).
- Границу перехода от стабильного роста к ускоренному росту макротрещины (от зоны II к зоне III). Обычно этой точке соответствует переход от упругой (с пре-

небрежительно малой пластической зоной у вершины) к упругопластической (с пластической зоной значимых размеров, учет которой необходим) стадии развития макротрещин.

Если из результатов эксперимента можно получить графики, подобные рис. 5, то по углам наклона ветвей можно получить количественные характеристики рассеивания скоростей развития коротких и длинных трещин.

Определение параметров обобщенной кинетической диаграммы развития трещин в баббитовых слоях

При участии инж. Лукьяновой (Азаровой) В.В. предпринята попытка обработать результаты экспериментальных исследований развития независимых трещин усталости в баббитовых слоях двухслойных образцов [1; 3; 5-7]. На рис. 7 приведены статистические данные о скоростях развития трещин одного размера в бабби-

товом слое. Эти результаты соответствуют замеченной закономерности: реализуется переход от нормального закона с большим рассеиванием к нормальному закону с меньшим рассеиванием. Границей перехода от коротких трещин к макротрещинам можно считать значение $K_{ИН} = 1 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$.

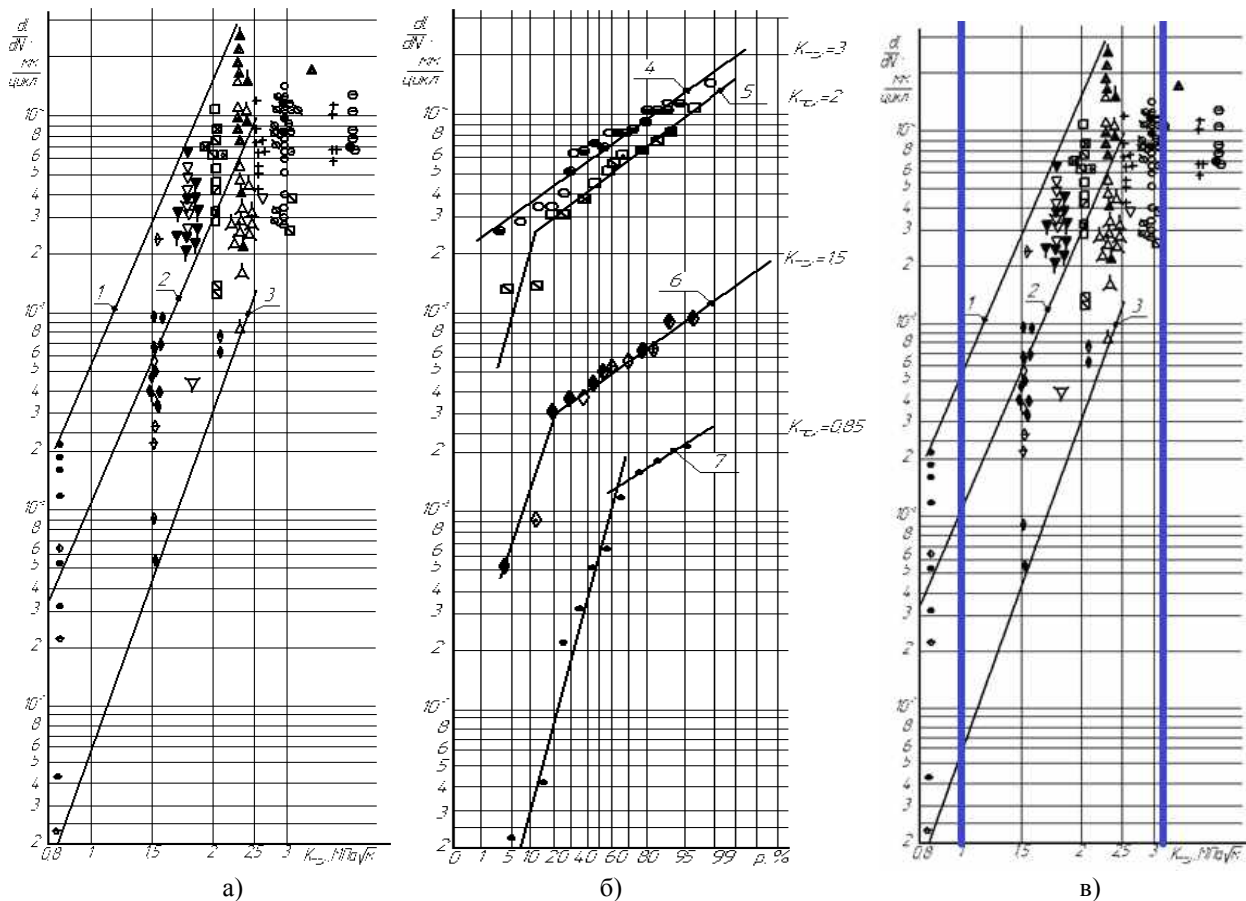


Рис. 7. Кинетическая диаграмма усталости баббитового слоя, нанесенного на стальную основу (а, в), и статистическое представление скоростей развития трещин разных размеров (разных значений КИН) (б)

В нашей статье [2] показано, что характеристики вязкости разрушения образцов из баббита Б83 (при статическом нагружении) $K_C \approx 3,0...3,2 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$. При циклическом нагружении баббитовых образцов разрушение реализуется при $K_g = K_C \approx 3 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$, переход к стадии упругопластического развития трещины реализуется при $K_{ep} \approx 2,0...2,8 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$.

Для двухслойных образцов выявилось, что выше значения КИН = 3 МПа $\sqrt{\text{м}}$ скорости развития трещин не увеличиваются.

Для области стабильного развития макротрещин ($1 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}} < \text{КИН} < 3 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$) принята аппроксимация результатов уравнением Париса:

Заключение

Таким образом, выявлено, что нижняя граница стадии развития макротрещин соответствует уровню КИН $1 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$, пе-

$$\frac{dl}{dN} \approx 10^{-6} K_{I\max}^5$$

реход к нестабильному развитию трещины и долому реализуется при уровне КИН $3 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов, Е.М. Контактные задачи механики разрушения / Е.М. Морозов, М.В. Зернин. – 2-е изд. – М.: Либроком, 2010. – 544 с.
2. Зернин, М.В. Трещиностойкость баббита Б83 / М.В.Зернин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. - № 1 (54).- С. 91- 101.
3. Зернин, М.В. Напряженно – деформированное состояние баббитовых слоев с трещинами / М.В.Зернин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. - № 1 (54). - С. 102 - 111.
4. Зернин, М.В. Напряженное состояние в антифрикционном слое подшипника скольжения при наличии трещин/ М.В.Зернин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. - № 2 (55).- С. 93-103.
5. Кузьменко, А. Г. Закономерности развития трещин в баббитах / А.Г.Кузьменко, М.В.Зернин. - Брянск, 1983. - 83 с. - Деп. в ВИНТИ 9.09.83, № 5280-83.
6. Зернин, М.В. Развитие независимых усталостных трещин в баббитовых слоях, нанесенных на подложку / М.В.Зернин // Динамика, прочность и надежность транспортных машин: межвуз. сб. науч. тр. - Брянск: Брян. ин-т транспорт. машиностроения, 1990. - С. 119 – 131.
7. Зернин, М.В. Экспериментальные исследования зарождения системы трещин в баббитовых слоях, нанесенных на стальную основу / М.В.Зернин, А.Г.Кузьменко, П.Н.Савоничев // Заводская лаборатория. - 1998. - Т. 64. - № 1. - С. 38-44.
8. Кузьменко, А.Г. Методика оценки сопротивления усталости антифрикционных материалов для подшипников скольжения / А.Г. Кузьменко, А.В. Яковлев, М.В. Зернин // Заводская лаборатория. - 1984. - № 8. - С. 77-79.
9. Зернин, М.В. К исследованию усталостной долговечности баббитового слоя тяжело нагруженных подшипников скольжения / М.В.Зернин, А.В.Яковлев// Заводская лаборатория. - 1997. - № 11. - С. 39-47.
10. Алехин, В.П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов / В.П.Алехин. - М.: Наука, 1983.- 280 с.
11. Головин, С.А. Микропластичность и усталость металлов / С.А.Головин, А.Пушкар. - М.: Металлургия, 1980. - 240 с.
12. Ботвина, Л.Р. Кинетика разрушения конструкционных материалов / Л.Р.Ботвина. - М.: Наука, 1989. - 230 с.
13. Трощенко, В.Т. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении / В.Т.Трощенко,

- В.В.Покровский, А.В.Прокопенко. - Киев: Наукова думка, 1987. - 256 с.
14. Зернин, М.В. Конечноэлементное описание процессов усталости с учетом особых свойств поверхности материалов / М.В.Зернин // Заводская лаборатория. - 1995. - № 2. - С. 43-51.
15. Броек, Д. Основы механики разрушения / Д.Броек. - М.: Высш. шк., 1980. - 368 с.
1. Morozov, E.M. *Contact Problems of Fracture Mechanics* / E.M. Morozov, M.V. Zernin. -2-d Edition - M.: Librokom, 2010. - pp. 544.
2. Zernin, M.V. Crack resistance of babbitt B83 / M.V. Zernin // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. - 2017. - No.1 (54). - pp. 91-101.
3. Zernin, M.V. Stress-strain state of babbitt layers with cracks / M.V. Zernin // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. - 2017. No.1 (54). - pp. 102-111.
4. Zernin, M.V. Stressed state in antifriction layer of sliding bearing having cracks / M.V. Zernin // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. - 2017. - No.2 (55). - pp. 93-103.
5. Kuzmenko, A.G. *Regularities of Crack Development in Babbitts* / A.G. Kuzmenko, M.V. Zernin. - Bryansk, 1983. - pp. 83. - Dep. in AISTI 9.09.83, No. 5280-83.
6. Zernin, M.V. Development of independent fatigue cracks in babbitt layers applied upon substrate / M.V. Zernin // *Dynamics, Strength and Reliability of Transport Vehicles: Inter-college Proceedings - Bryansk: Bryansk Institute of Transport Engineering*, 1990. - pp. 119-131.
7. Zernin, M.V. Experimental investigations of crack system nucleation in babbitt layers applied upon steel base / M.V. Zernin, A.G. Kuzmenko, P.N. Savonichev // *Plant Laboratory*. - 1998. - Vol. 64. - pp. 38-44.
8. Kuzmenko, A.G. Procedure for fatigue resistance assessment in antifriction materials for sliding bearings / A.G. Kuzmenko, A.V. Yakovlev, M.V. Zernin // *Plant Laboratory*. - 1984. - No.8. - pp. 77-79.
16. Качанов, Л.М. Основы механики разрушения / Л.М.Качанов. - М.: Наука, 1974. - 312 с.
17. Черепанов, Г.П. Механика хрупкого разрушения / Г.П.Черепанов. - М.: Наука, 1974. - 640 с.
18. Степнов, М.Б. К исследованию стадии развития малых усталостных трещин / М.Б.Степнов, А.С.Серегин, А.Б.Лисин, Ю.П.Доронин // *Машиноведение*. - 1986. - № 4. - С. 52-55.
9. Zernin, M.V. To investigation of babbitt layer fatigue life in heavy duty sliding bearings / M.V. Zernin, A.V. Yakovlev // *Plant Laboratory*. - 1997. - No.11. - pp. 39-47.
10. Alekhin, V.P. *Physics of Strength and Plasticity of Surfaced Layers in Materials* / V.P. Alekhin. - M.: Science, 1983. - pp. 280.
11. Golovin, S.A. *Micro-plasticity and Metal Fatigue* / S.A. Golovin, A. Pushkar. - M.: Metallurgy, 1980. - pp. 240.
12. Botvina, L.R. *Kinetics of Constructional Material Destruction* / L.R. Botvina. - M.: Science, 1989. - pp. 230.
13. Troshchenko, V.T. *Metal Crack Resistance at Cyclic Loading* / V.T. Troshchenko, V.V. Pokrovsky, A.V. Prokopenko. - Kiev: Scientific Thought, 1987. pp. 256.
14. Zernin, M.V. Finite element description of fatigue processes taking into account special properties of material surface / M.V. Zernin // *Plant Laboratory*. 1995. - No.2. - pp. 43-51.
15. Broyek, D. *Fundamentals of Fracture Mechanics* / D.Broyek. - M.: Higher School, 1980. - pp. 368.
16. Kachanov, L.M. *Fundamentals of Fracture Mechanics* / L.M. Kachanov. - M.: Science, 1974. - pp. 312.
17. Cherepanov, G.P. *Mechanics of Brittle Fracture* / G.P. Cherepanov. - M.: Science, 1974. - pp. 640.
18. Stepanov, M.B. To investigation of small fatigue cracks development stage / M.B. Stepanov, A.S. Seregin, A.B. Lisin, Yu.P. Doronin // *Machine Science*. - 1986. - No.4. - pp. 52-55.

Статья поступила в редколлегию 27.10.17.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного
технического университета

Кеглин Б.Г.

Сведения об авторах:

Зернин Михаил Викторович, к.т.н., доцент кафедры «Механика, динамика и прочность машин» Брянского государственного технического университета, e-mail: zerninmv@mail.ru.

Zernin Mikhail Victorovich, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Mechanics, Dynamics and Machine Strength", Bryansk State Technical University, e-mail: zerninmv@mail.ru.

Транспорт

УДК 625.280

DOI: 10.12737/article_5a337fc1789a47.95702073

Е.В. Сливинский, Т.Е. Митина

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЗОВ
ЗА СЧЁТ СНИЖЕНИЯ ПРОБОКСОВКИ ИХ КОЛЁСНЫХ ПАР**

Представлены материалы, касающиеся разработки перспективной конструкции, предназначенной для исключения боксования колёсных пар ходовых частей тепловозов. Разработка рекомендована научно-исследовательским и промышленным структурам в области тяжёлого машиностроения

как в нашей стране, так и за рубежом с целью ее дальнейшего изучения и возможного внедрения в практику.

Ключевые слова: тепловозы, колёсные пары, сила тяги, сцепление, боксование, песочница, форсунка.

E.V. Slivinsky, T.E. Mitina

**DIESEL LOCOMOTIVES EFFICIENCY INCREASE DUE TO THEIR
WHEEL PAIRS BOXING DECREASE**

In the structures of modern diesel locomotives for tractive force increase sanders, different in their design, are used. A significant drawback of such designs is that sand used by them litters tracks and causes the accelerated wear of diesel locomotives and cars followed in the train. In Bunin SU of Yelets at the level of the invention there is developed a promising design

of the device meant for the exclusion of wheel pair boxing in diesel locomotive undercarriages and a set of computations to substantiate its efficient design parameters is carried out.

Key words: diesel locomotives, wheel pairs, tractive force, clutch, boxing, sander, nozzle.

Введение

Известно, что тепловозы экипируют не только топливом, маслами, водой и охлаждающей жидкостью, но и песком. Идея повысить силу тяги локомотива посыпанием рельсов песком возникла очень давно - как только начало развиваться паровозостроение. Обычно на локомотивах устанавливается песочница - емкость, предназначенная для подачи песка под колеса колесных пар. Основной целью таких устройств является повышение сцепления колес с рельсами, что в результате позволяет повысить касательную силу тяги, за счёт исключения боксования. Обычно в качестве рабочего тела, используемого в устройствах подачи песка в зону контакта колеса с рельсом, применяют кварцевый песок с размерами частиц 0,2-0,5 мм. Причём он должен быть однородным, с наименьшим содержанием каких-либо других примесей и глинистых частиц. Конструкция песочных систем включают в себя песочные бункеры (четыре на одну

секцию тепловоза) вместимостью по 200 кг каждый, форсунки, песочницы, воздухораспределители, трубопроводы с накопниками и резиновыми рукавами, электропневматические клапаны. Последние соединены с контактами реверсора, которые в зависимости от направления движения меняют положение. Подается песок в форсунки с помощью сжатого воздуха. Оттуда струя песка направляется в зону контакта колес с рельсами (рис. 1).

В современных локомотивах песочницы устанавливаются в специально отведенных карманах кузова. Заправка тепловоза песком происходит не в то же самое время, что и заправка смазочными материалами и топливом. Подача песка используется, если поезд осуществляет преодоление подъёмов, при трогании с места, на кривых участках пути, при наличии атмосферных осадков, провоцирующих скольжение колес колёсных пар, иногда при торможении состава. Для одиночных ло-

комотивов не рекомендуется использовать песок при торможении до полной остановки, поскольку возникает вероятность, что между колесами и рельсами окажется слой песка. Светофор воспримет это как информацию о том, что путь свободен, хотя на самом деле на данном участке будет находиться поезд. Подача песка осуществляется только под первую и четвертую колесные пары по ходу тепловоза. Именно они начинают боксовать первыми при неблагоприятных условиях. Для экономии этого расходного материала очень важно

направлять его подачу в место контакта колеса с рельсом. Иногда песок достаточно подавать только под первую пару колес. Управление подачей песка осуществляется из кабины машиниста. Несмотря на достаточно высокую эффективность использования, указанные системы обладают существенными недостатками: песок, во-первых, захламляет железнодорожные пути и, во-вторых, провоцирует повышенный износ ходовых частей тепловозов и вагонов, следующих в составе поезда.



Рис. 1

Описание перспективной конструкции челюстной тепловозной тележки

С учетом изложенного на кафедре механики и технологических процессов ЕГУ им. И.А. Бунина в течение ряда лет проводятся НИР по заказу Елецкого участка Белгородского отделения ЮВЖД (филиала ОАО «РЖД»), связанные с модернизацией существующих и созданием перспективных конструктивных узлов и агрегатов для локомотивов, обладающих по-

вышенной надёжностью и эффективностью использования. Одним из направлений является разработка технических решений, направленных на создание конструкций, исключающих боксование колёсных пар как магистральных, так и промышленных тепловозов при движении их в различных эксплуатационных условиях. Ряд из них признаны изобретениями.

Рассмотрим одну из таких конструкций, на которую ФИПС выдан патент на

изобретение RU2551873.

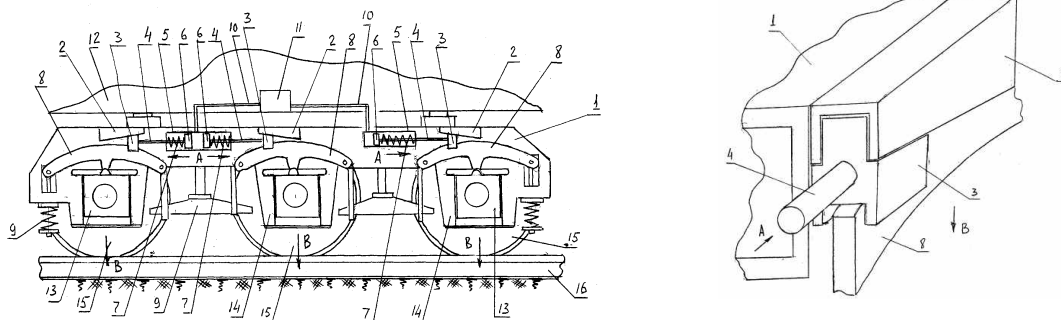


Рис. 2

На рис. 2 показаны общий вид сбоку челюстной тепловозной тележки и часть узла сопряжения рамы тележки с устройством перемещения букс колёсных пар колёсно-моторных блоков тепловоза в вертикальной плоскости тележки.

Челюстная тепловозная тележка состоит из рамы 1, на которой жёстко закреплены направляющие 2 П-образной формы с наклонными поверхностями. В них подвижно размещены башмаки 3, жёстко закреплённые на штоках 4 гидроцилиндров 5, также жёстко установленных на раме 1. Поршни 6 гидроцилиндров 5 подпружинены пружинами сжатия 7, а башмаки 3 охватывают балансиры 8 рессорного подвешивания 9 тележки. Гидроцилиндры 5 с помощью трубопроводов 10 взаимосвязаны с гидростанцией 11, установленной в кузове 12 тепловоза. Балансиры 8 опёрты на буксы 13, расположенные в челюстях 14 рамы 1, а сами буксы 13 закреплены на колёсных парах 15 тележки. Колёсные пары 15 перемещаются по рельсовому пути 16.

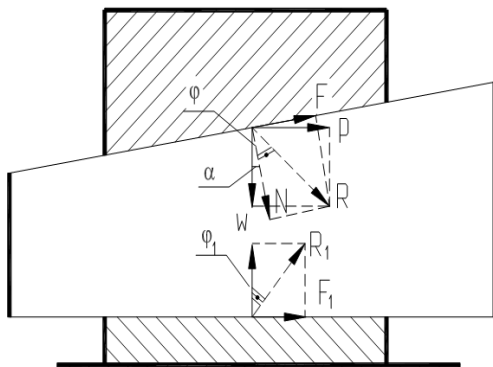
Работает челюстная тепловозная тележка следующим образом. Перед началом движения тепловоза, находящегося в составе, например, грузового поезда, машинист, имея информацию о его весе, состоянии пути, атмосферных условиях и т. д., решает, какие необходимо принять меры управления тепловозом, чтобы избежать пробоксовки колёс последнего. Предположим, что в момент трогания состава указанные выше условия говорят о том, что

пробоксовка возможна. Тогда машинист широко известными в практике управления агрегатами тепловоза включает гидростанцию 11, что позволяет рабочей жидкости по трубопроводам 10 поступить в гидроцилиндры 5. В результате поршни 6 гидроцилиндров 5 получают перемещение по стрелкам А, а их штоки 4 приведут в движение по этим же стрелкам башмаки 3, которые, двигаясь в направляющих 2, взаимодействуют с балансирами 8 и тем самым обеспечивают движение последних по стрелкам В. А так как балансиры 8 контактируют с буксами 13, то и они получают перемещение по стрелкам В. В итоге колёсные пары 15 с соответствующим усилием прижмутся к головкам рельсов рельсового пути 16. Известно, что, например, нагрузка на ось тепловоза 2ТЭ116 составляет порядка 22 т. Предложенное техническое решение позволит увеличить её до 30 т и выше. Это будет зависеть от усилия, создаваемого гидроцилиндрами 5. Такое увеличение осевой нагрузки позволит в момент трогания с места тепловоза избежать боксования колёс колёсных пар. После того как состав наберёт устойчивую скорость движения, машинист отключает гидростанцию 11. Рабочая жидкость под действием ранее сжатых пружин сжатия 7 и движения поршней 6 в направлении, обратном стрелкам А, поступает в гидростанцию 11, что позволяет буксам 13, балансирам 8 и башмакам 3 занять первоначальное положение (рис. 2). Далее описанные процессы могут повторяться, и не

только в период трогания поезда с места, но и на перегонах, имеющих лимитирующие уклоны.

Технико-экономическое преимущество предложенного технического решения в сравнении с известными очевидно, так как оно позволяет снизить боксование колёс тепловозов и тем самым повысить надёжность последних в эксплуатационных условиях.

Проанализируем описанную конструкцию тележки, предназначенную для тепловоза М62, снабжённого челюстными тележками. Видно, что наиболее ответственным её узлом является кинематическая пара, включающая в себя башмак 3, сопрягаемый как с наклонной направляющей 2, жёстко закреплённой на раме тележки, так и с балансиром 8 рессорного



подвешивания 9 (рис. 2). Для обоснования работоспособности такого устройства рассмотрим расчётную схему, представленную на рис. 3, где показаны одноосный клин и гидравлический цилиндр управления последним.

Определим геометрические характеристики гидроцилиндра двухстороннего действия, исходя из того, что в данном механизме с трением на обеих поверхностях одноосного клина от действия внешнего усилия Q возникают следующие усилия:

$$P = W \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad \text{и} \quad F_1 = W \operatorname{tg} \varphi_1.$$

$$\text{Тогда} \quad Q = P + F = W [\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg} \varphi_1].$$

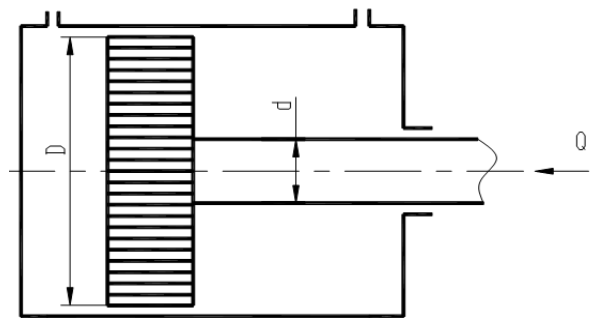


Рис. 3

Примем $\varphi = 8^{\circ}30'$. Тогда коэффициент трения скольжения $f = \operatorname{tg} 8^{\circ}30' = 0,15$. Условие самоторможения для клина с трением по двум поверхностям: $\alpha = 17^{\circ}$ при $\varphi = \varphi_1 = 8^{\circ}30'$. Окончательно примем $\alpha = 15^{\circ}$. Тогда для клина запас самоторможения составит:

$$K = \frac{2 \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{2 \operatorname{tg} 8^{\circ}30'}{\operatorname{tg} 15^{\circ}} = 1,12.$$

Определим усилие Q , развиваемое гидроцилиндром, приводящим в движение по стрелке А башмак 3 (рис. 2), с учётом того, что диаметр его поршня $D_n = 200$ мм, диаметр штока $d_{ш} = 50$ мм и давление рабочей жидкости $p = 10$ МПа:

$$Q = \frac{p\pi(D_n^2 - d_{ш}^2)}{4} = \frac{100 \cdot 3,14(15,0^2 - 5,0^2)}{4} = 15700 \text{ кг} = 15,7 \text{ т}.$$

Известно, что статическая нагрузка на ось тепловоза М52 составляет 19,0 т, причём на каждую из букс колёсной пары приходится 9,5 т. Известно также и то, что статический прогиб рессорных комплектов

этого тепловоза равен 77 мм. Следовательно, определённое усилие $Q = 15,7$ т, создаваемое гидроцилиндром, способно увеличить статический прогиб на 127 мм. То есть от действия усилия, создаваемого

гидроцилиндром, статический прогиб возрастёт на 50 мм, что позволит увеличить

Заключение

Результаты исследования рекомендуются как отечественным, так и зарубежным НИИ, конструкторским и производственным структурам локомотивостроения

силу сцепления колеса с рельсом.

для дальнейшего изучения и доработки предложенного технического решения с целью возможного внедрения его в практику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железнодорожный транспорт: энциклопедия / гл. ред. Н.С. Конарев. - М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. - 559 с.
2. Бабичков, А.М. Тяга поездов / А.М. Бабичков, В.Ф. Егорченко. - М.: Трансжелдориздат, 1947. - 123 с.
3. Самме, Г.В. Фрикционное взаимодействие колёсных пар локомотива с рельсами: монография / Г.В. Самме. - М.: Маршрут, 2005. - 80 с.
4. Минов, Д.К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей / Д.К. Минов. - М.: Транспорт, 1965. - 163 с.

1. *Railway Transport: encyclopedia* / editor-in-chief N.S. Konarev. - M.: *Great Russian Encyclopedia*, 1994. - pp. 559.
2. Babichkov, A.M. *Train Haulage* / A.M. Babichkov, V.F. Yegorchenko. - M.: Transzheldorizdat, 1947. - pp. 123.
3. Samme, G.V. *Friction Interaction of Locomotive Wheel Pairs with Rails: monograph* / G.V. Samme. - M.: Route, 2005. - pp. 80.
4. Minov, D.K. *Tractive Properties Increase in Electric Locomotives and Diesel Locomotives with Elec-*

5. Лужнов, Ю.М. Сцепление колёс с рельсами / Ю.М. Лужнов. - М.: Интекс, 2003. - 82 с.
6. Покровский, С.В. Новая электронная защита от боксования и юза для электровозов ВЛ85 и ВЛ65 / С.В. Покровский, И.Я. Логинов, Б.М. Наумов, Д.Е. Викулин // Локомотив. - 1993. - № 5.
7. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. - М.: Наука, 1970. - 544 с.

tric Gear / D.K. Minov. - M.: Transport, 1965. - pp. 163.

5. Luzhnov, Yu.M. *Wheel Coupling with Rails* / Yu.M. Luzhnov. - M.: Intex, 2003. - pp. 82.
6. Pokrovsky, S.V. New electronic protection against boxing and skidding for electric locomotives VL85 and VL65 / S.V. Pokrovsky, I.Ya. Loginov, . B.M. Naumov, D.E. Vikulin // *Locomotive*. - 1993. - No.5.
7. Feodosiev, V.I. *Material Resistance* / V.I. Feodosiev. - M.: Science, 1970. - pp. 544.

*Статья поступила в редколлегию 23.11.2016.
Рецензент: к.т.н., доцент ЕГУ им. И.А. Бунина
Елецких С.В.*

Сведения об авторах:

Сливинский Евгений Васильевич, д.т.н., профессор кафедры механики и технологических процессов Елецкого государственного университета им. И.А.Бунина, e-mail: evgeni_sl@mailo.ru.

Slivinsky Evgeny Vasilievich, D. Eng., Prof. of the Dep. "Mechanics and Technological Processes" of Bunin State University of Yelets, e-mail: evgeni_sl@mailo.ru.

Митина Татьяна Евгеньевна, соискатель Елецкого государственного университета им. И.А.Бунина, e-mail: tatiana_mitina@mail.ru.

Mitina Tatiana Evgenievna, Applicant of Bunin State University of Yelets, e-mail: tatiana_mitina@mail.ru.

ПРАВИЛА
направления, рецензирования и опубликования научных статей
в журнал «Вестник Брянского государственного технического университета»

1. К публикации принимаются научные и научно-технические статьи, отражающие результаты исследований, проведенных автором (авторами), научные обзоры, итоговые материалы научных мероприятий (симпозиумов, конференций, семинаров и т.д.), которые должны соответствовать тематике журнала.

2. Авторы должны предоставлять оригинальные работы, содержащие достоверные результаты проделанной научной работы. При использовании текстовой или графической информации, заимствованной из работ других лиц, необходимы ссылки на соответствующие публикации. Если элементы рукописи ранее уже были опубликованы, то авторам необходимо сослаться на более раннюю работу, указав отличие новой работы от предыдущей.

3. Подача статьи в более чем один журнал является неприемлемой и расценивается как неэтичное поведение авторов.

4. Для публикации статьи в журнале в редакцию представляются в электронном виде:

- текст статьи с подписями всех авторов (файл с расширением .pdf);
- текст статьи (файл с разрешением .doc; Word-2003);
- рецензия-рекомендация доктора наук с подписью рецензента и печатью организации, в которой он работает (файл с расширением .pdf);
- экспертное заключение о возможности опубликования материалов статьи в открытой печати (файл с расширением .pdf);
- письменная рекомендация научного руководителя (для аспирантов, магистрантов и студентов) (файл с расширением .pdf);
- пакет рисунков и иллюстраций (файлы tiff, jpg с расширением растровых иллюстраций не ниже 300 dpi).

Текст статьи должен быть вычитан автором.

5. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. В качестве рецензентов могут быть привлечены члены редакционного совета журнала, обладающие профессиональными знаниями и опытом работы по научному направлению, близкому к теме рукописи авторов. Рекомендации рецензентов являются основанием для принятия решения о публикации статьи. Специалисты, работающие в той же организации, в которой работает и автор (авторы) статьи, не могут выступать в качестве рецензентов. Срок рецензирования - не более 10 дней со дня поступления статьи в редакцию журнала. При наличии рекомендации статьи к доработке или отказе в публикации автору высылается копия рецензии. Рецензии на статьи хранятся в редакции не более 3 лет.

6. Файлы, представляемые в редакцию, должны быть названы по фамилии первого автора (например: Ivanov_I.I.).

7. Объем статьи - 5-10 страниц формата А4 (режим автоматической расстановки переносов), включая графики, рисунки, таблицы и список литературы.

8. Текст статьи печатается через 1 интервал и должен содержать:

- в левом верхнем углу - УДК (высота букв - 12 пт.);
- справа – инициалы, фамилию автора (авторов) через запятую (высота букв - 12 пт.);
- название статьи (высота прописных букв - 14 пт., шрифт жирный, выравнивание по центру);
- аннотацию (4 – 6 строк; высота букв - 10 пт.; абзац - 7 мм; распределение текста по двум колонкам);
- ключевые слова (6 – 8 слов; высота букв - 10 пт.; абзац - 7 мм; распределение текста по двум колонкам);
- текст статьи (высота букв - 12 пт.; абзац – 10 мм; поля: слева, справа, сверху и снизу – 20 мм);
- список литературы (высота букв - 10 пт., заголовки – прописными буквами);

– сведения об авторах: Ф.И.О. (полностью), ученую степень, ученое звание, должность, место работы, рабочий и домашний телефоны, e-mail (высота букв - 10 пт., заголовок – прописными буквами, выравнивание по правому краю);

– реферат (высота букв - 10 пт.; абзац - 7 мм; распределение текста по двум колонкам).

Ссылку на гранты размещают в конце текста статьи (после раздела «Заключение»).

9. Заглавие статьи должно быть информативным, четко отражать ее содержание в нескольких словах (преимущественно ключевых). Аннотация дает возможность установить основное содержание статьи, определить его релевантность и следует ли читателю обратиться к полному тексту статьи (одним из вариантов построения аннотации является краткое повторение структуры статьи, включающей цели, задачи, методы и результаты). Реферат переводится в редакции журнала на английский язык и имеет целью информировать зарубежного читателя о содержании статьи. Он должен быть информативным (не содержать общих слов), оригинальным (не дублировать полученные и опубликованные ранее результаты), содержательным (отражать цель, методы, ход проведенного исследования, результаты, краткие выводы работы), структурированным (следовать логике описания результатов статьи) и компактным (15 – 20 строк).

10. Текст статьи должен быть структурирован. Введение содержит реферативное изложение постановки задачи и возможного применения результатов на практике. Основная часть должна иметь несколько внутренних разделов (с подзаголовками) и содержать формализованную постановку задачи и предлагаемый метод ее решения; отличие предлагаемой постановки задачи от уже известных; преимущество развиваемого метода по сравнению с существующими (содержать пример, подтверждающий работоспособность и эффективность предлагаемого решения). Завершить статью должно содержательное обсуждение (заключение) полученных результатов.

11. Формулы, буквенные обозначения (прописные и строчные, латинского и греческого алфавитов), цифры, знаки должны быть четкими, различимыми. Все латинские буквы набираются курсивом, все русские и греческие – прямо. Формулы должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 (версия Word-2003) размером 12 пт.

12. Рисунки, графики, диаграммы, схемы, таблицы и др. графические материалы размещаются внутри текста (после их упоминания) и должны иметь подрисуночные подписи (высота букв - 10 пт., выравнивание по центру), а таблицы – заголовок. Формат обтекания рисунков - «вокруг рамки». На рисунках надписи пишутся прямо, с заглавной буквы, шрифт - Times, высота букв – 10 пт. Формулы должны быть набраны в редакторе, совместимом с MS Word 2010.

13. Список литературы оформляется по ГОСТ 7.1 – 2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание», не должен превышать 10 наименований изданий, напечатанных не ранее 1970 г.

14. Единицы измерения всех физических величин приводятся в СИ.

15. Редакционная коллегия проводит экспертизу комплектности представленных документов (в соответствии с п. 4), анализирует текст статьи на наличие заимствований с использованием системы «Антиплагиат» и рецензирует статьи, используя критерии актуальности, научной новизны, информативности, соответствия основным научно-техническим направлениям журнала.

16. Если статья по рекомендации редакционного совета возвращается на доработку (до 7 рабочих дней), то в журнале указывается дата поступления исправленного текста.

17. Авторам статей гонорар не выплачивается.

18. Статьи, не соответствующие тематике научно-технического журнала и не отвечающие настоящим требованиям, а также представленные с нарушением комплектности, к рассмотрению не принимаются. Рукописи авторам не возвращаются. Редакция не несёт обязательств по рецензированию всех поступающих материалов и не вступает в дискуссию с авторами отклоненных рукописей.



Лаборатория волнового деформационного и комбинированного упрочнения в аддитивных и субтрактивных технологиях

Задачей лаборатории, созданной в 2016 году на базе Брянского государственного технического университета при финансовой поддержке Фонда перспективных исследований, является разработка новой технологии упрочнения металлов и сплавов с использованием волны деформации.

В основе технологии - удар, но не простой, а через промежуточное звено – волновод. При одной и той же энергии удара достигаются разные результаты. Благодаря волноводу формируется волна деформации. Волна деформации - поток импульсов, отличающихся наличием не только головной, но и хвостовой части, которая формируется за счет отражения и наложения упругих волн в бойке, волноводе, упрочняемом изделии. Это позволяет в 10 раз увеличить длительность импульса, в несколько раз увеличить коэффициент полезного действия удара. В результате наложения проходящих и отраженных волн при определенных условиях в монолитном металлическом материале формируется уникальная многослойная гетерогенная, естественно армированная структура, обеспечивающая высокую вязкость и высокую прочность материала одновременно, что способствует многократному повышению эксплуатационных свойств.

Предлагаемая технология волнового деформационного упрочнения может применяться как самостоятельно, так и в составе комбинированных упрочняющих технологий, например, совместно с химико-термической и термической обработкой, как в субтрактивных, так и в аддитивных технологиях.

Субтрактивными называют традиционные технологии, которые связаны с вырезанием изделия из глыбы материала, при этом большая часть материала превращается в стружку. Аддитивные технологии – интенсивно развивающиеся сегодня технологии будущего, связаны с выращиванием готового изделия послойным сплавлением из порошка или из проволоки. Обработка тоже может иметь место, однако, количество стружки в этом случае минимально.

В настоящее время важнейшей задачей аддитивных технологий является обеспечение не только высокой точности изделия, но и качественной структуры материала и высоких эксплуатационных свойств получаемой детали при многократном увеличении производительности. С увеличением производительности резко увеличивается количество дефектов структуры, растет пористость, снижается надежность и ресурс изделия. Предлагается в процессе аддитивного выращивания изделия подвергать материал послойному волновому деформационному упрочнению с целью структурирования, уплотнения, что позволит быстро получать изделия с высокими эксплуатационными свойствами.

Успешное решение поставленной задачи позволит увеличить полезную нагрузку на материал, что таит огромные резервы повышения тактико-технических характеристик изделий в авиации, космонавтике, автомобилестроении, общем машиностроении, инструментальном производстве, энергетической, нефтегазовой и строительной отраслях.

Исследования проводятся в интересах АО «Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод», Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва, Государственного космического научно-производственного центра имени М.В. Хруничева, АО «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз–Антей», ПАО «Объединённая авиастроительная корпорация».

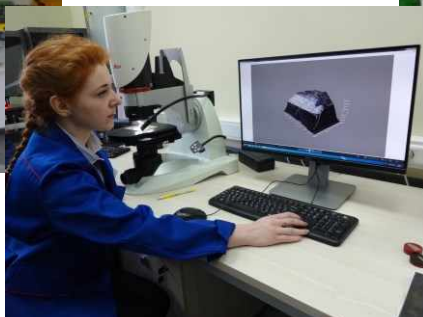


Для достижения поставленных целей выстраиваются партнерские отношения с ведущими научно-исследовательскими центрами страны, такими, как Центральный научно-исследовательский институт материалов (г. Санкт-Петербург), Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (г. Москва), Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН (г. Черноголовка), АО Центральный научно-исследовательский институт точного машиностроения (г. Климовск), АО "Центральный научно-исследовательский институт "БУРЕВЕСТНИК" (г. Нижний Новгород).

Практическая востребованность результатов и глубина научной проработки проекта явились основанием для принятия решения Фондом перспективных исследований (ФПИ) и Министерством образования и науки РФ о финансировании исследований лаборатории на три года в объеме более 200 миллионов рублей.

Целью деятельности ФПИ является поддержка научных исследований в интересах обороны страны и безопасности государства, создания качественно производства высокотехнологичной продукции военного, специального и двойного назначения. Все поддержанные ФПИ проекты проходят тщательную комплексную трехуровневую экспертизу.

За всю историю ФПИ поддержано всего 52 проекта, следовательно, далеко не в каждом регионе есть лаборатория фонда. Открытая при Брянском государственном техническом университете лаборатория – единственная не только в Брянской области, но и в прилегающих регионах.



Тел. (4832) 51-51-38, моб. +7-919-214-04-24

(контактное лицо – д-р техн. наук, проф. Киричек Андрей Викторович)

E-mail: avk@tu-bryansk.ru



В Е С Т Н И К БРЯНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Литературный редактор М.Л. Щербакова
Корректоры В.А. Ерохина, М.Л. Щербакова
Компьютерная верстка В.А. Ерохина

Подписано в печать 22.11.17. Дата выхода в свет 29.11.17. Формат 60x84¹/₈.
Бумага офсетная. Офсетная печать. Усл. печ. л. 12,09. Уч.-изд. л. 12,09.
Тираж 500 экз. Свободная цена. Заказ 133

Адрес редакции и издателя:
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет».
241035, Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7, БГТУ., тел. (4832) 58-82-77.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии БГТУ,
241035, Брянск, ул. Институтская, 16