



Кривенок А. А.
A. A. Krivenok

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ MSC.MARC ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В РЕЖИМЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ С УЧЕТОМ УСАДКИ МАТЕРИАЛА

MSC.MARC SYSTEM-BASED MODELING OF PART FORMING IN THE MODE OF THERMAL-STRAIN AGING WITH REGARD TO THE MATERIAL'S SHRINKAGE

Кривенок Антон Александрович – инженер-программист научно-производственного отдела филиала ОАО «Компания "Сухой" КнААЗ им. Ю.А. Гагарина» (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681018, ул. Советская, 1; +7(924)1155044.

Mr. Anton A. Krivenok – software engineer, Research and Production Department, Yuri Gagarin Aviation Plant, JSC "Sukhoi Company", (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 1, Soviet Str., Komsomolsk-on-Amur, 681018, mobile phone: + 7 (924) 1155044

Аннотация. В работе приведено описание особенностей технологического процесса формообразования деталей из алюминиевого сплава в режиме термомеханического старения. Приведены физико-механические характеристики стареющего алюминиевого сплава В95оч, которые необходимы для проведения конечно-элементного моделирования. Рассмотрены этапы разработки конечно-элементной модели в системе MSC.Marc.

Summary. The paper describes certain features of the process of part forming from aluminum alloy in the mode of thermal-strain aging. The paper gives physical and mechanical properties of the B95o.ch. aluminum alloy that are necessary for finite element modeling. Considered are the stages of developing a finite-element model in the MSC.Marc system.

Ключевые слова: формообразование, стареющий алюминиевый сплав, термомеханическое старение, ползучесть, усадка, конечно-элементное моделирование.

Key-words: forming, aging aluminum alloy, heat strain aging, creep, shrinkage, finite-element modeling

УДК 629.73.002

Технологический процесс формообразования деталей из высокопрочного стареющего алюминиевого сплава В95 в режиме термомеханического старения внедрен и успешно применяется на «КнААЗ им. А.Ю. Гагарина» при формообразовании крыльевых панелей самолета SSJ-100 на рециркуляционной нагревательной установке РНУ-13. Этот процесс обеспечивает минимизацию остаточных напряжений, наиболее равномерное их распределение в детали и сохраняет ресурс материала на уровне исходного состояния. Формообразование деталей в режиме термомеханического старения характеризуется длительными низкими скоростями деформации при температурах искусственного старения, что позволило расширить диапазон температурно-силовых режимов нагружения, включая нестационарные режимы деформирования, и совместить процесс формообразования с процессом термообработки материала [1; 2; 3].

В результате проведенных ФГУП «ВИАМ» исследований уровня механических свойств и коррозионной стойкости при термомеханическом старении были разработаны технические условия на плиты из алюминиевого сплава В95очТФ, прошедшего первую ступень старения на металлургическом заводе-поставщике (ТУ 1-804-497-2011) и технологические рекомендации (ТР 1.2.2171-2011) для последующего формообразования (Ф) и старения по режиму второй ступени (Т2) на самолетостроительном заводе-потребителе при температуре 160 ± 5 °С.

Кривенок А.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ MSC.MARC ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В РЕЖИМЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ С УЧЕТОМ УСАДКИ МАТЕРИАЛА

При разработке технологического процесса формообразования деталей в режимах термомеханического старения необходимо проведение точного расчета каждого из технологических этапов. Для этого требуется исследовать всевозможные факторы, влияющие на процесс, и наиболее значимые учесть в расчетной модели. В связи со сложностью геометрии деталей, применяемых в авиационной промышленности, наиболее эффективным моделированием технологических процессов является конечно-элементное (КЭ) моделирование, позволяющее также учесть большой спектр различных факторов, влияющих на процесс.

В связи с тем, что в режимах термомеханического старения скорости деформирования низкие и действуют на большом промежутке времени, необходимо применять модель ползучести материала. Для моделирования процесса формообразования в рассматриваемых режимах можно использовать несколько моделей, отличающихся по сложности точности. Например, для моделирования деталей относительно небольших размеров достаточно обойтись обычной моделью ползучести без учета температурных деформаций. Для неё полная деформация в материале будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_{total} = \varepsilon_{elastic} + \varepsilon_{creep},$$

где ε_{total} – полная деформация; $\varepsilon_{elastic} = \sigma/E$ – упругая деформация; $\varepsilon_{creep} = f(\sigma, t, T)$ – деформация ползучести.

Здесь упругие деформации и деформации ползучести определяются на основе текущего напряженного состояния. Функция ползучести зависит от напряжения, времени и температуры. Для определения параметров функции были проведены исследования при температуре старения $T = 165^\circ\text{C}$ и были определены константы зависимости, описывающей степенной закон установившейся ползучести вида $\dot{\varepsilon} = B\sigma^n$. На рис. 1 в логарифмических координатах $\ln \sigma - \ln \dot{\varepsilon}_{in}$ ($\eta = \dot{\varepsilon}$) точками представлены экспериментальные данные на растяжение, сплошная линия – аппроксимация зависимости скорости ползучести от напряжения.

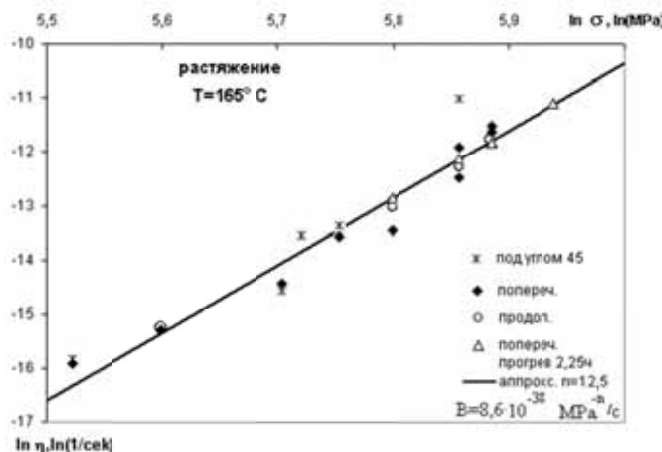


Рис. 1. Зависимость скорости деформаций ползучести от напряжения в логарифмических координатах

В случае если на каком-либо этапе деформирования детали напряжения будут близки или превышать предел текучести материала, тогда необходимо использовать ползучесть, сочетающуюся с упрочнением. Ползучесть, сочетающаяся с упрочнением, позволяет моделировать очень сложное поведение материала, при котором он может иметь начальное пластическое поведение с упрочнением материала и с течением времени может подвергаться неупругим деформациям ползучести. В такой постановке полная деформация в материале будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_{total} = \varepsilon_{elastic} + \varepsilon_{creep} + \varepsilon_{plastic},$$

где $\varepsilon_{plastic} = f(\sigma)$ – пластическая деформация, которая определяется независимо от других компонентов деформации и зависит от напряжения в материале. Эта функция задается либо

степенной зависимостью, либо линейно-кусочной аппроксимацией, заданной на основании экспериментальных данных. Важно, чтобы упругопластическая характеристика соответствовала тем скоростным режимам, при которых проходит процесс деформирования (см. рис. 2). Для сплава В95оч определены константы зависимости, описывающей упругопластическое деформирование ($\dot{\epsilon} = 0,041 \text{ с}^{-1}$). $\epsilon_{plastic} = K\sigma^m$, $E = 67 \text{ ГПа}$, $K = 1,05 \cdot 10^{-77} (\text{МПа}^{-m})$, $m = 29$ (см. табл. 1).

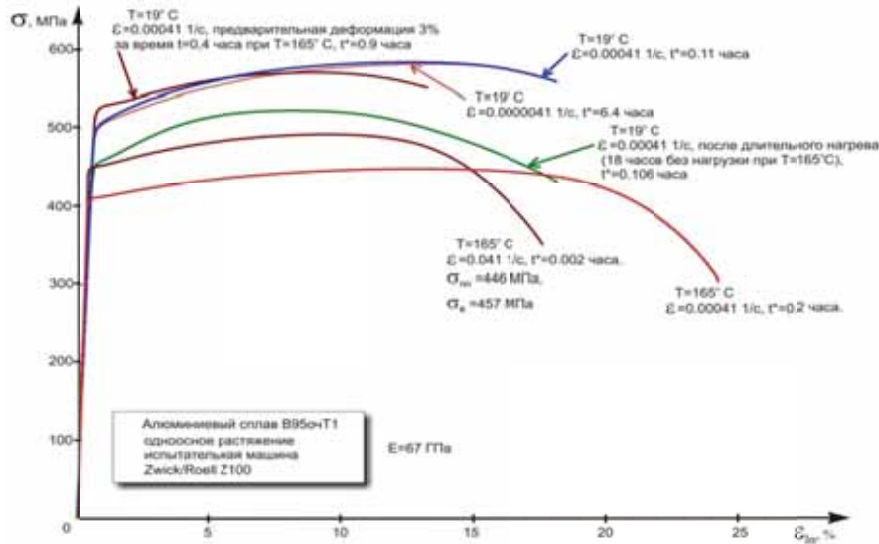


Рис. 2. Диаграмма «σ-ε» на растяжение при комнатной температуре и температуре 165 °С с различными постоянными скоростями деформирования

Таблица 1

Физико-механические свойства сплава В95оч

Вид механических свойств	Ед. изм.	20 °С	125 °С	165 °С	
Модуль Юнга	E	МПа	72000	68400	67000
Коэффициент Пуассона	μ		0,33	0,37	0,38
Предел текучести	σ ₀₂	МПа	470	425	400
Предел прочности	σ _B	МПа	550	465	420
Удлинение	δ	%	12	13	18
Показатель ползучести	B	(МПа) ⁻ⁿ /с			8,6 · 10 ⁻³⁸
Показатель напряжения в ползуч. n					12,5

При разработке модели процессов формообразования крупногабаритных деталей в режиме термомеханического старения важно учитывать то, что материал в процессе деформирования проходит процесс старения, сопровождающийся усадкой материала. То есть в процессе старения изменяется объем детали. При состаривании сплава В95очТ2Ф величина усадки невысокая, однако на крупногабаритных деталях, таких как крыльевая панель SSJ-100 (длина более 14 м), уменьшение длины может превышать 5 мм, что недопустимо. В связи с чем также необходимо проводить дилатометрические исследования материала при температурах старения (см. рис. 3). На основе полученных данных необходимо в заготовке закладывать дополнительные объемы в соответствующих направлениях проката плиты. Также необходимо учитывать усадку и в КЭ модели.

Кривенок А.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ MSC.MARC ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В РЕЖИМЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ С УЧЕТОМ УСАДКИ МАТЕРИАЛА

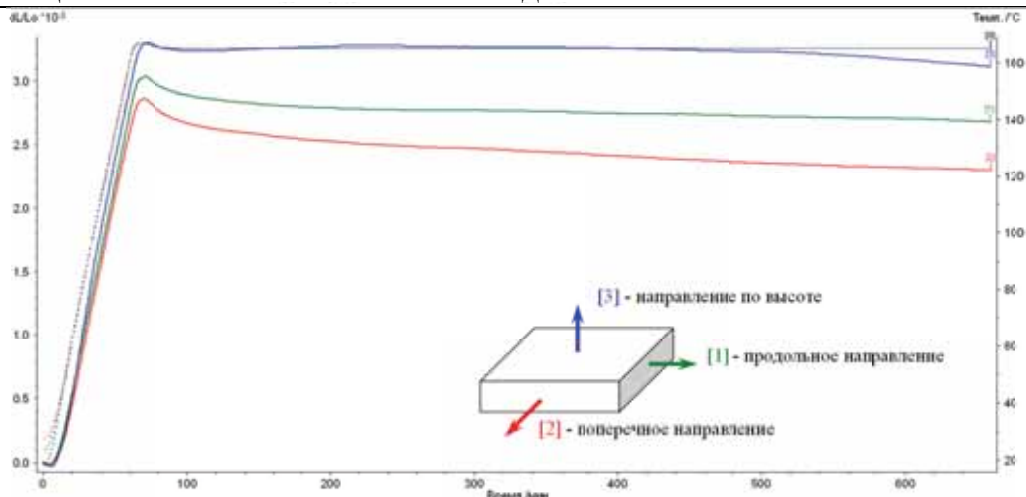


Рис. 3. Изменение длины заготовки в процессе старения

С учетом основных факторов, влияющих на материал: напряжение, время, температура, КЭ модель должна решаться в термостатической постановке. В этой постановке полная деформация в материале будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_{total} = \varepsilon_{elastic} + \varepsilon_{creep} + \varepsilon_{plastic} + \varepsilon_{term} + \varepsilon_{shrinkage},$$

где $\varepsilon_{term} = \alpha(T)$ – деформация температурного расширения, которая зависит от температуры; $\varepsilon_{shrinkage} = (1 + V_r^S)^{1/3} - 1$ – деформация усадки. В системе MSC.Marc усадочная деформация вычисляется согласно процессу объемного сжатия [5]. Степень усадки α_S определена как отношение объема усадки V_r^S к максимальному объему усадки $V_r^{S\infty}$ состарившегося материала:

$$\alpha_S = V_r^S / V_r^{S\infty} = -3,07 \cdot 10^{-4}.$$

Рассматривая анизотропное поведение усадки, нужно указать соответствующие компоненты деформации. Закон изменения усадки будет зависеть от времени.

При решении технологических задач формообразования деталей из стареющих сплавов в режимах термодиформационного старения для настройки модели в КЭ пакете MSC.Marc необходимо выполнить следующие действия:

1. Импортировать из CAD системы электронную модель детали и других формообразующих контуров или задать их средствами MSC.Mentat/Patran. Затем сгенерировать КЭ сетку детали и задать теоретические контуры штамповой оснастки или пуансона. В среде MSC.Mentat все необходимые инструменты имеются в меню *Main/Mesh generation*.

2. В меню *Main/Contact/Contact bodies* задаются деформируемые и недеформируемые тела. В меню *Main/Contact/Contact tables* устанавливаются типы взаимодействия между телами.

3. В меню *Main/Initial conditions* устанавливаются начальные условия: начальная температура для всех узлов 20 °C и степень усадки $\alpha_S = -3,07 \cdot 10^{-4}$.

4. В меню *Main/Boundary conditions* указать граничные условия: ограничения по перемещениям, нагрузку на пуансон или деталь, а также изменение температуры. Для упрощения модели можно принять, что градиент распределения температуры по всем элементам одинаковый и тогда изменение температуры будет в каждом узле одинаковым.

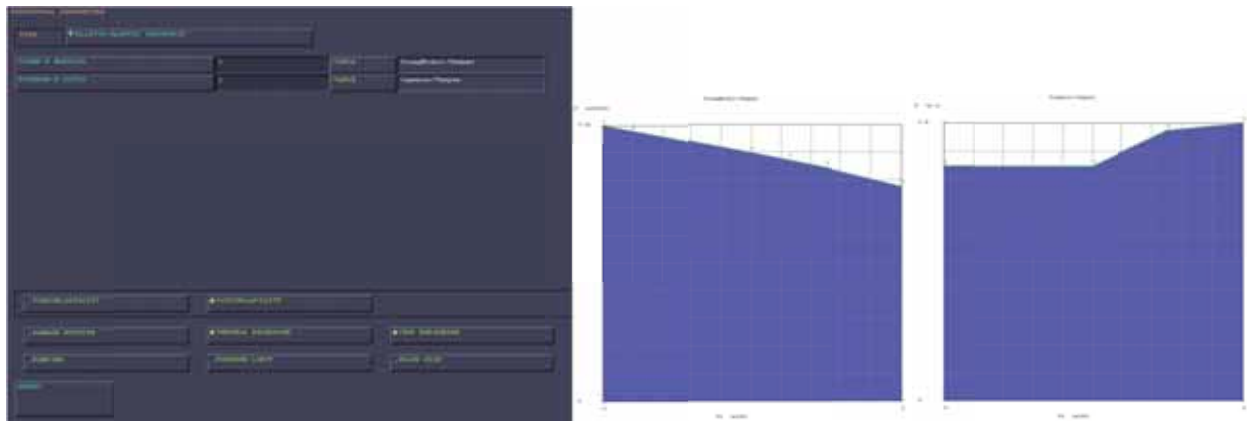
5. В меню *Main/Jobs* создать новый расчет типа *Thermal/Structural*. Затем указать, что расчеты производить для больших перемещений, для этого не выходя из текущего меню, выполнить последовательно: *Properties; Analysis options; Nonlinear procedure: Large strain*.

6. Задать характеристики материала меню *Main/Material properties*.

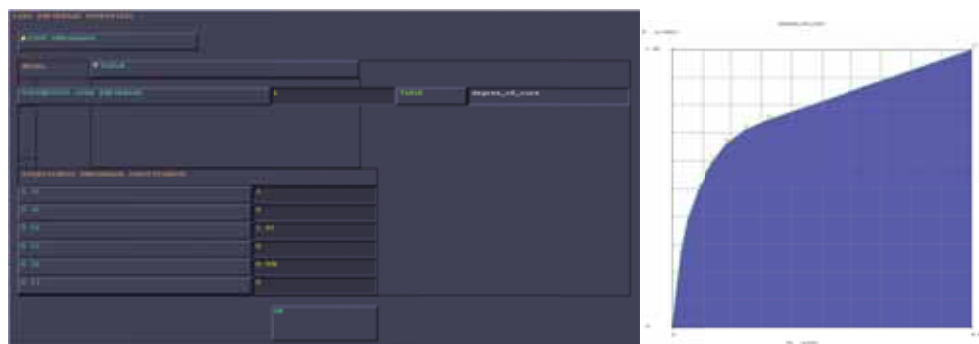
В случае если материал имеет значительную анизотропию, то в меню *Main/Material properties/Orientations* следует указать направление главных векторов.

В меню *Main/Material properties/ Material properties* создать новый материал типа *standard*, затем в *Analysis class* поменять его на *Thermal/Structural*. Далее задать все необходимые характеристики материала (см. рис. 4.)

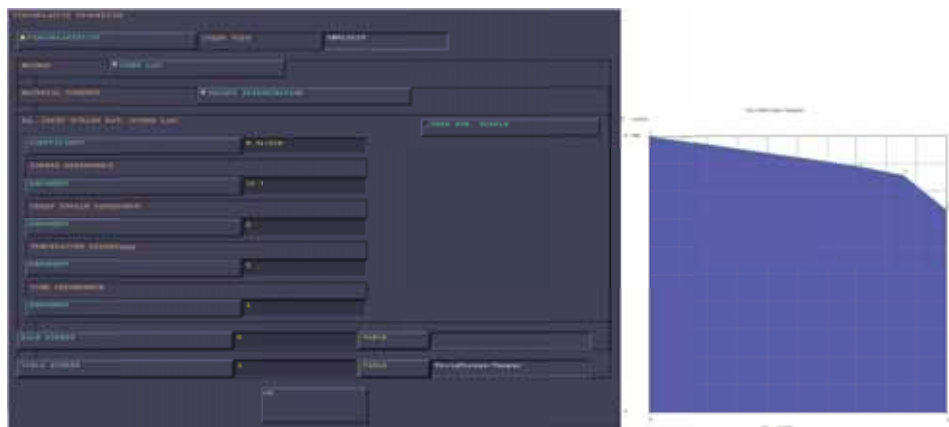
а)



б)



в)



г)



Рис. 4. Установка характеристик материала в системе MSC.Marc:
а – настройка упругих характеристик материала *Structural*;
б – настройка усадки материала *Structural/Cure shrinkage*;
в – настройка вязкоупругой модели, сочетающей и пластические, и ползучие деформации *Structural/Viscoplasticity*;
г – установка коэффициента температурного расширения

Кривенок А.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ MSC.MARC ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В РЕЖИМЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ С УЧЕТОМ УСАДКИ МАТЕРИАЛА

7. После настройки материала необходимо настроить этапы решения задачи. В меню *Main/Loadcases* добавить новый этап с типом *Thermal/Structural: Transient/Creep*. Далее в *Main/Loadcases/Properties* установить длительность процесса. Расчетный шаг назначить адаптивным *Stepping procedure: Multi-Criteria*.

8. Перед запуском расчета произвести дополнение этапов расчета *Loadcases: Available* в меню *Main/Jobs/Properties*. Для дальнейшего анализа результатов в разделе *Main/Jobs/Properties/Job results* выбрать необходимые параметры контроля.

Настроив КЭ модель по предложенной схеме, можно получить достаточно точные результаты, которые охватывают все основные факторы, влияющие на процесс деформирования в условиях термомеханического старения. Так, численное моделирование процесса формообразования заготовок в штампе при режиме термомеханического старения показало обеспечение требуемых геометрических параметров заготовки, а также удовлетворительное напряженное состояние материала (см. рис. 5).

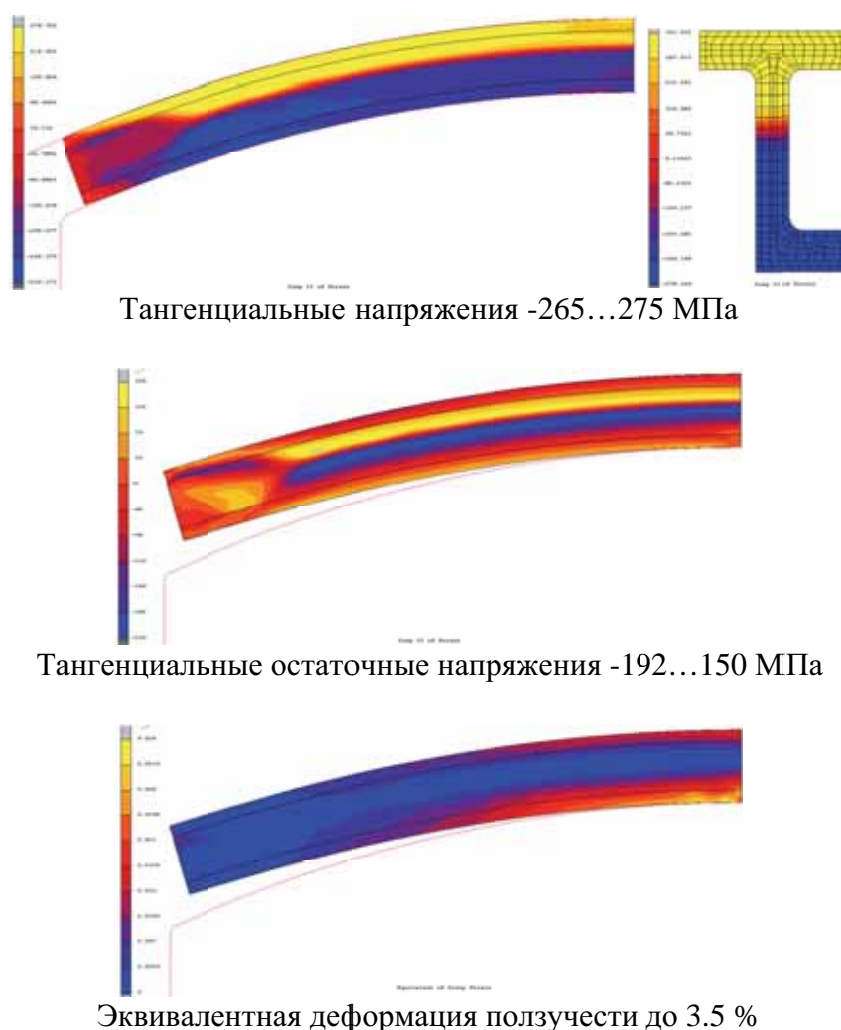


Рис. 5. Результаты расчета в системе MSC.Marc процесса формообразования заготовки сегмента шпангоута SSJ-100 в режиме термомеханического старения

Проведенное исследование возможностей расчета нелинейного поведения материала в системе MSC.Marc позволило отработать метод разработки КЭ моделей, на которых были показаны возможности применения процессов формообразования в режиме термомеханического старения для ряда каркасных деталей летательного аппарата из сплава В950чТ2Ф. По сравнению с существующими традиционными технологиями изготовления рассмотрен-



ных деталей предложенная технология обладает не только высокой эффективностью, но также позволяет сохранить эксплуатационные свойства материала детали на этапе ее изготовления.

В настоящее время технология формообразования в режиме термомеханического старения получает свое дальнейшее развитие на «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина». Положительный результат ее разработки и освоения приводит к возможности использования данной технологии для формообразования не только панелей плоскостной конфигурации, но и пояса бортовых нервюр, сегментов шпангоутов, а также ореховых и вафельных панелей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривенок, А. А. Перспективная технология изготовления деталей силового набора летательного аппарата с использованием режима термомеханического старения / А. А. Кривенок, Р. Ф. Крупский // Исследования и перспективные разработки в машиностроении: материалы второй научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (Комсомольск-на-Амуре, 21 сент. 2012 г.) / под общ. ред. Р. А. Физулакова. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2012. – С. 197-199.
2. Кривенок, А.А. Исследование процесса формообразования алюминиевых стрингеров несимметричного сечения из прессованных профилей самолета SSJ-100 / А. А. Кривенок, С. В. Белых, А. В. Станкевич // Прикладные задачи механики деформируемого твердого тела и прогрессивные технологии в машиностроении: сб. ст. Вып. 3. Ч. 2. – Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ (Институт машиноведения и металлургии) ДВО РАН, 2009. – С. 282-290.
3. Пат. 2475322 Российская Федерация, МПК51 В 21 D 11/20. Способ формообразования деталей / Кривенок А.А., Пекарш А.И., Сарыков С.Э., Крупский Р.Ф., Физулаков Р.А., Станкевич А.В., Олейников А.И., Бойко В.М.; заявитель и патентообладатель ОАО «КнААПО». – № 2011122064/02; заявл. 31.05.11; опубл. 20.02.12, Бюл. № 5 (II ч.). – 3 с.: ил.
4. Marc® 2010 User's Guide, MSC.Software Corporation, 2010. – 1946 с.
5. Marc® 2010 Volume A: Theory and User Information, MSC.Software Corporation, 2010. – 832 с.
6. Marc® 2010 Volume E: Demonstration Problems, MSC.Software Corporation, 2010. – 3134 с.
7. Перевалов, А.А. Моделирование процесса изгиба в роликах несимметричных прессованных профилей в системе MSC.Marc // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2011. – № IV-1(8). – С. 71-77.

Гусева Р.И

ОБ ОЦЕНКЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ ПОКУПНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БОЕВОМ ВЕРТОЛЁТЕ

Гусева Р. И.

R. I. Guseva

ОБ ОЦЕНКЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ ПОКУПНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БОЕВОМ ВЕРТОЛЁТЕ

ASSESSING NONE-FAILURE OPERATION OF BOUGHT-IN COMPONENTS USED IN MILITARY HELICOPTERS



Гусева Роза Ивановна – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология самолетостроения», зам. декана самолетостроительного факультета Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

E-mail: r_guseva@knastu.ru

Ms. Rosa I. Guseva – PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of Aircraft Engineering Technology, Deputy Dean of the Aircraft Engineering Faculty, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur, Russia). E-mail: r_guseva@knastu.ru.

Аннотация. Проведен анализ применения покупных комплектующих изделий в боевом вертолете. Проведена оценка безотказности покупных комплектующих изделий, обработанных с помощью автоматизированной системы.

Summary. The paper considers the use of bought-in components in military helicopters. The assessment of none-failure operation of bought-in components processed by an automated system is carried out.

Ключевые слова: вертолет, безотказная работа, покупные комплектующие изделия, автоматизированные системы.

Key-words: helicopter, none-failure operation, bought-in components, automated systems.

УДК 629.735

Обеспечение безотказной работы вертолета в большой мере зависит от качества покупных комплектующих изделий (ПКИ).

Под покупным комплектующим изделием (ПКИ) понимается комплекс (система, прибор, блок или модуль оборудования, деталь, механизм), являющийся конструктивно законченным изделием, для применения по назначению в единицах авиационной техники.

Перечень систем вертолета, в которые входят ПКИ, показаны на рис. 1.

В соответствии с техническими условиями на вертолет формируется состав ПКИ, определенный «Ведомостью покупных изделий на вертолёт».

Все покупные комплектующие изделия проходят входной контроль на заводе – изготовителе вертолётта.

Объем входного контроля определяется «Перечнем покупных изделий, подлежащих входному контролю», который составляется изготовителем.

Входной контроль покупных комплектующих изделий до установки их на вертолет осуществляется изготовителем вертолетов по инструкциям входного контроля с учетом требований государственных и отраслевых стандартов.

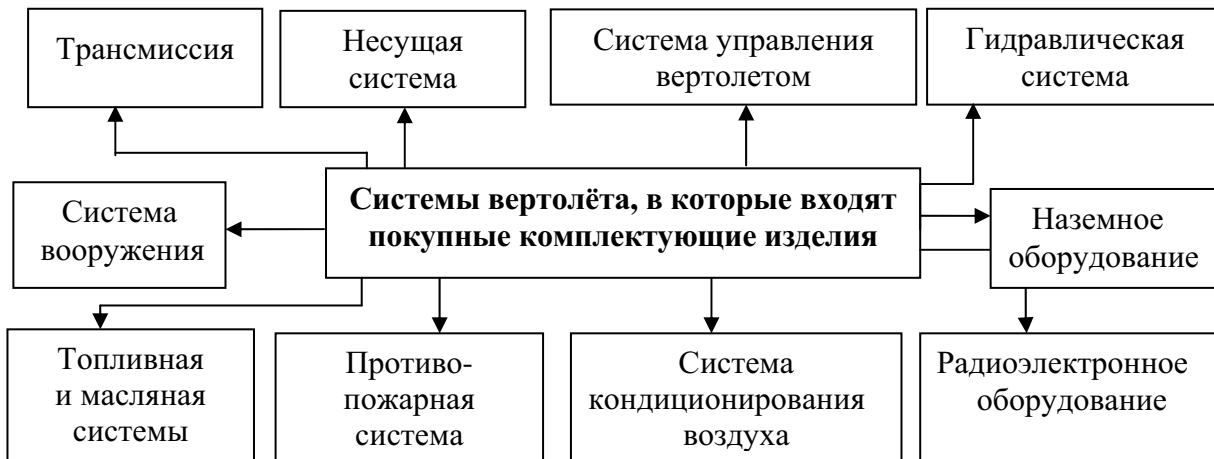


Рис. 1. Перечень систем вертолета, в которые входят ПКИ

Сегодня определяющим фактором конкурентоспособности предприятия является качество выпускаемого изделия. В это понятие вкладывается многое, в том числе и безотказность систем вертолета, которая определяется бездефектностью ПКИ как в течение гарантийного срока, так и в рамках заявленного ресурса.

В настоящее время в авиационной отрасли отмечаются проблемы:

- с надежностью покупных комплектующих изделий;
- с неотработанной организацией системы восстановления отказавших деталей в ПКИ;
- с несбалансированным ценообразованием на покупные изделия;
- с поставками на завод-изготовитель неаутентичных ПКИ.

По данным Федерального агентства воздушного транспорта в 2011 г. было выявлено и изъято из эксплуатации более 2500 неаутентичных ПКИ авиационной техники.

Поэтому одной из приоритетных задач в построении системы обеспечения безотказности и надежности и качества авиационного объекта является:

- учет дефектов и отказов ПКИ;
- анализ дефектов и отказов ПКИ.

Для этого изготовитель вертолетов должен осуществлять учет отказов ПКИ в процессе производства и эксплуатации вертолета и данные об отказах ежемесячно направлять в виде справок поставщикам покупных изделий и разработчику авиационной техники.

Анализ дефектов и отказов ПКИ в процессе производства, в ходе эксплуатации, анализ рекламаций – это комплекс работ, при которых выявляются причины появления дефектов и отказов и проводятся соответствующие корректирующие мероприятия, предупреждающие повторение дефектов и отказов.

Проведение анализа дефектов и отказов ПКИ включает в себя:

- сбор, накопление, обобщение и обработку сведений, необходимых для определения факторов, влияющих на надежность изделий и их безопасность;
- изучение характера и причин возникновения дефектов и отказов ПКИ;
- разработку корректирующих мероприятий;
- оценку эффективности проводимых мероприятий по совершенствованию конструкции ПКИ и технологии их изготовления с целью обеспечения качества, улучшения эксплуатационных характеристик, надежности, безопасности.

Источники первичной информации об отказах и неисправностях ПКИ в процессе изготовления вертолёта и его эксплуатации различны.

Система сбора и обработки информации о качестве ПКИ на этапе изготовления вертолёта включает:

Гусева Р.И

ОБ ОЦЕНКЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ ПОКУПНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БОЕВОМ ВЕРТОЛЁТЕ

- проверку технических параметров ПКИ в лабораториях входного контроля (ЛВК) цехов;
- монтаж и наземную отработку на основном объекте;
- периодические, предъявительские и приёмодаточные испытания;
- лётные испытания.

Учёту подлежат все без исключения отказы и неисправности ПКИ, возникающие при изготовлении узлов, блоков, агрегатов, систем и выявленные в процессе приёмодаточных, наземных и лётных испытаний. Не учитывают выявленные при испытании узлов неисправности, которые являются следствием подгонки и регулировки в процессе сборки.

На основании карточки учёта отказа и неисправности ПКИ оформляется рекламация, которая направляется в адрес предприятия-поставщика ПКИ вместе с отказавшим изделием для исследования причин его отказа и последующего восстановления.

Рекламация – письменное заявление по установленной форме поставщику изделия на обнаруженные в период действия гарантийных обязательств дефекты и несоответствия комплектности поставленных изделий. В рекламации также содержится требование о соответствии укомплектованности, замене дефектных изделий.

Система накопления, хранения и обработки информации на предприятиях должна быть и ручной, и автоматизированной. Для уменьшения трудоёмкости при анализе карточек учёта отказов и неисправностей ПКИ все отказы и неисправности и оформленные по ним рекламации регистрируются, подвергаются обработке и хранятся в автоматизированной системе управления учетов отказов (АСУ УО).

В результате анализа зарегистрированных данных путем обработки в АСУ УО получают новую, обобщенную информацию, включающую:

- данные о соответствии продукции требованиям, установленным в контракте;
- перечень повторяющихся отказов (неисправностей);
- данные анализа распределения отказов (неисправностей) по причинам и поставщикам;
- данные анализа эффективности проведённых мероприятий на авиационном предприятии по изготовлению бездефектных ПКИ.

Применение АСУ УО позволяет не только получать данные в виде табличного перечня, но и графически оформлять полученные результаты на диаграммах (см.рис. 2).

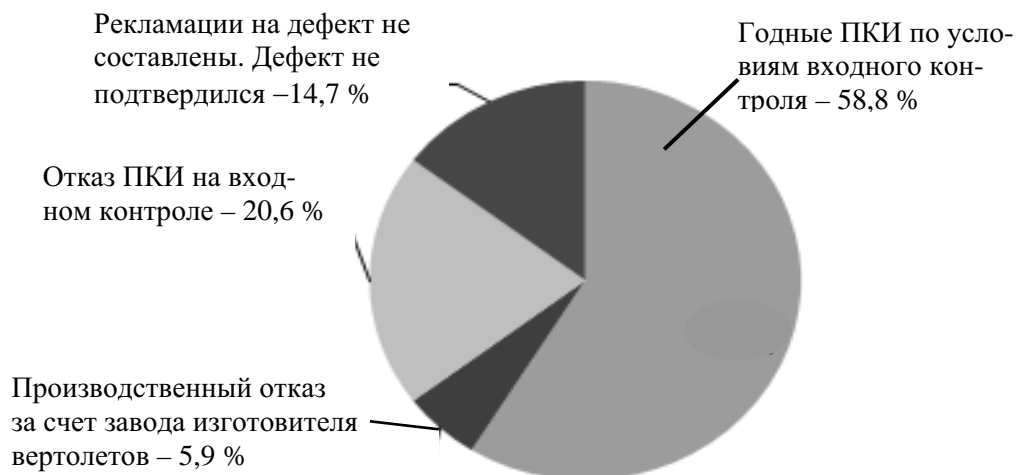


Рис. 2. Пример диаграммы распределения отказов ПКИ в бортовых комплексных системах (БКС) по возникновению

Применение АСУ УО позволяет:

- повышать эффективность процессов работы с учетными данными об отказах покупных комплектующих изделий, включая классификацию отказов и дефектов;

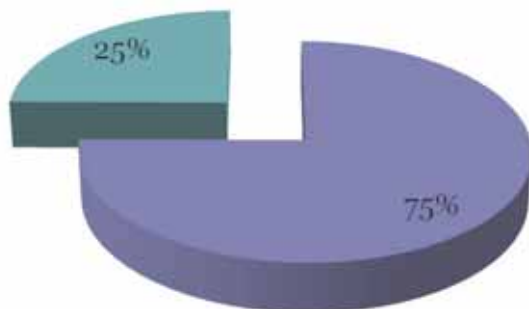
- обеспечивать прослеживаемость истории отказов и дефектов каждого экземпляра вертолета и покупных комплектующих изделий в течение периода их эксплуатации;
- накапливать и систематизировать статистические данные по качеству выпускаемой продукции авиационным предприятием;
- обеспечивать руководство предприятия-изготовителя и разработчика оперативной информацией об отказах покупных комплектующих изделий, в рамках учета и анализа отказов ПКИ.

Исходным источником информации об отказах и неисправностях ПКИ, обнаруженных на вертолёте в процессе эксплуатации, служат карточки учёта неисправностей авиационной техники (КУНАТ).

На каждую обнаруженную на вертолёте неисправность заполняется отдельная КУНАТ, в которую вносятся сведения обо всех комплектующих изделиях, снятых с вертолёта по причине отказа. В системе сбора и обработки данных учету подлежат все отказы, обнаруженные экипажем на земле и в полете. КУНАТ является внутренним документом эксплуатирующей организации.

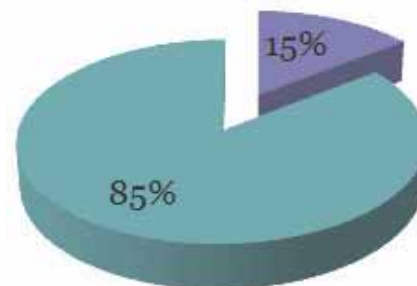
Эффективные мероприятия по повышению надёжности ПКИ вертолета удастся разработать только на основе анализа достаточно большой совокупности карточек, дополненной информацией бортовых регистраторов об отказавших ПКИ в различных системах вертолета.

Анализируя работу ПКИ в эксплуатации парка вертолетов из 30 единиц, можно отметить, что суммарное количество зафиксированных неисправностей, отказов, поломок за один год составляет в среднем 94 случая, суммарное количество поданных рекламаций – 31. Соотношения между неисправностями и рекламационными актами на ПКИ представлены диаграммами на рис. 2 и рис. 3.



■ Сообщения о неисправности
■ Рекламационные акты

Рис. 3. Соотношение между неисправностями и рекламационными актами на ПКИ



■ Дефекты ПКИ
■ Дефекты производства

Рис. 4. Классификация рекламаций по характеру дефектов

Как видно из диаграммы, приведенной на рис. 3, соотношение между неисправностями и рекламационными актами на ПКИ отличается в три раза. Часто рекламации просто не составляются по каким-то причинам.

На диаграмме, приведенной на рис. 4, показано, что дефекты производства предприятия-изготовителя вертолетов составляют всего 15 % (неправильное подсоединение, небрежность в установке, случайные удары) от всех поступающих ПКИ, из которых 85 % имеют дефекты.

На рис. 5 представлено распределение дефектов ПКИ бортовой комплексной системы по причине их возникновения. Составлены 53 рекламации на завод-поставщик.



Рис. 5. Виды дефектов, встречающихся в ПКИ бортовой комплексной системы

На рис. 6 представлена диаграмма причин дефектов ПКИ для БКС по повторяющимся неисправностям.

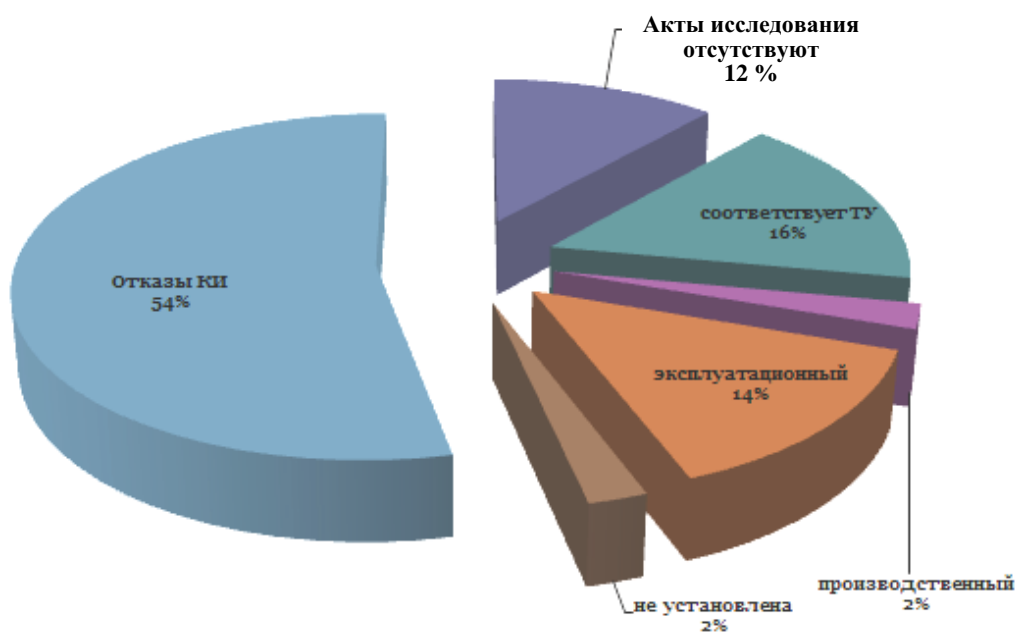


Рис. 6. Причины дефектов ПКИ по повторяющимся неисправностям



Результатом учета и анализа данных по отказам ПКИ на всех стадиях производства вертолёта и его эксплуатации также могут быть информационные справки, которые предоставляются головному разработчику вертолёта и поставщикам ПКИ для разработки мероприятий по их недопущению.

На сегодняшний день состояние надёжности покупных комплектующих изделий (ПКИ) таково, что не позволяет качественно эксплуатировать вертолёты некоторых марок.

Основными видами дефектов являются отказы покупных комплектующих изделий и производственные дефекты, которые в совокупности составляют 66 – 70 % от общего количества ПКИ.

Отказы ПКИ и срывы сроков их поставки влекут за собой:

- нарушение технологического цикла движения вертолётов в производстве (с оформлением массы регламентирующих в этой ситуации организационных и технических документов) в связи с его некомплектностью;

- срыв производственных планов цехов агрегатной и окончательной сборки, испытаний в цехах КИС, на ЛИС и предприятия в целом;

- увеличение трудовых и материальных затрат на 15 – 20 %, что снижает экономическую эффективность предприятия-изготовителя вертолетов;

- увеличение рисков выхода из строя ПКИ и сопутствующих агрегатов основного изделия;

- отказы ПКИ при лётных испытаниях, приводящие к невыполнению полётного задания и повторным полётам;

- подмену комплексной отработки изделия частичной;

- проведение повторных отработок с использованием ресурса ПКИ;

- риск срыва выполнения ГОЗ в целом.

Одним из важнейших условий обеспечения качества продукции является наличие в организации эффективно действующей системы менеджмента качества (СМК).

Использование АСУ УО позволяет выявить ненадёжные ПКИ, применяемые при изготовлении вертолета, и оценить эффективность разработанных мероприятий по обеспечению и повышению надёжности КИ предприятиями-поставщиками.

Выводы по работе

Таким образом, АСУ УО является одним из важнейших средств обеспечения надёжности, позволяющая постоянно выявлять, отслеживать и устранять причины отказов и неисправностей, возникающих на этапах производства и эксплуатации вертолёта.

На основе анализа приведенных данных вырисовывается ряд предложений по повышению надёжности покупных комплектующих изделий:

- для исключения возникновения одних и тех же отказов изготовитель комплектующих изделий должен проводить исследования отказавших ПКИ более ответственно, не формально;

- рекомендовать изготовителям ПКИ разработать мероприятия корректирующего действия, направленные на снижение причин систематических отказов;

- рекомендовать изготовителю и потребителю ПКИ разработать мероприятия по исследованию проблемы «неподтверждаемых» дефектов;

- проводить постоянное повышение технического уровня персонала, проведение учебы, курсов повышения квалификации, переподготовки;

- увеличить число параметров, проверяемых при проведении входного контроля ПКИ;

- максимально приблизить условия входного контроля к условиям эксплуатации;

- рекомендовать изготовителям ПКИ разработать программу обеспечения надёжности (ПОН) ПКИ;

Гусева Р.И

ОБ ОЦЕНКЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ ПОКУПНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БОЕВОМ ВЕРТОЛЁТЕ

- провести закупки современного контрольно-поверочного оборудования для проведения входного контроля ПКИ и периодически проводить их поверку;
- создать технические аптечки, обменный фонд, увеличить число сервисных центров у изготовителей авиационной техники и в эксплуатирующих организациях для оперативного управления процессом послепродажного обслуживания, повышения его качества;
- проводить аудит поставщика ПКИ заводом-изготовителем авиационной техники с привлечением заинтересованных организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов, Н. Н. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов: учеб. пособие для вузов / Н. Н. Смирнов. – М.: Транспорт, 1998. – 256 с.
2. О порядке и организации дефектов и отказов изделий в ходе эксплуатации [электронный ресурс] [www. OpenGost.ru](http://www.OpenGost.ru)
3. ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Миниздат, 1989. – 39 с.
4. ГОСТ 27.310-95. Анализ видов последствий и критичности отказов. – М.: Стандартинформ, 1997. – 13 с.
5. Анализ состояния поверхности высокопрочных композиционных материалов с углеродным волокном и исследование их механических характеристик / Цуй Сюй, Р. И. Гусева, Ли Вэй, Чжан Линюни, Гао Юй // Ученые записки КнАГТУ. Науки о природе и технике. – 2011. – № IV-1 (8). – С. 4-8.

ЭНЕРГЕТИКА
POWER ENGINEERING

Исмагилов Ф. Р., Волкова Т. А., Алетдинов Р. Ф.
F. R. Ismagilov, T. A. Volkova, R. F. Aletdinov

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЕМКОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ
С ЖИДКОСТНЫМ РОТОРОМ В КАЧЕСТВЕ ПЕРЕМЕШИВАТЕЛЯ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕД**

**INVESTIGATING THE OPERATION OF A CAPACITIVE TRANSDUCER HAVING A
LIQUID ROTOR ACTING AS A DIELECTRIC MEDIA MIXER**

Исмагилов Флюр Рашитович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электромеханики Уфимского государственного авиационного технического университета (Россия, Уфа); 450059, г. Уфа, ул. Новомостовая, 8, кв. 119; 8(347)250-55-56. E-mail: ifr@ugatu.ac.ru

Mr. Flyur R. Ismagilov – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Electromechanical Engineering, city of Ufa State Aviation Engineering University; postal address: 8, Novomostovaya Str., apt. 119, city of Ufa, 450059, Russian Federation. E-mail: ifr@ugatu.ac.ru

Волкова Татьяна Александровна – аспирант кафедры электромеханики Уфимского государственного авиационного технического университета (Россия, Уфа); 450005, г. Уфа, ул. Мингажева, 156, кв. 47; 8(347)253-15-63. E-mail: volkovausatu@yandex.ru

Ms. Tatyana A. Volkova – PhD Candidate, Department of Electromechanical Engineering, city of Ufa State Aviation Engineering University; postal address: 156, Mingazhev Str., apt. 47, city of Ufa, 450005, Russian Federation. E-mail: volkovausatu@yandex.ru

Алетдинов Рустам Фларидович – начальник электротехнической лаборатории ОАО «НЕФАЗ» (Россия, Нефтекамск); 452689, г. Нефтекамск, ул. Строителей, 87б, кв. 27; 8(987)491-58-30. E-mail: rustikose@yandex.ru

Mr. Rustam F. Aletdinov – Head of Electric Laboratory, JSC NEFAZ, (city of Neftekamsk, Russia); postal address: 87B, Stroiteley Str., apt. 27, city of Neftekamsk, 452689, Russian Federation. E-mail: rustikose@yandex.ru

Аннотация. Описан принцип действия работы емкостного электромеханического преобразователя энергии с жидкостным ротором и его экспериментальные исследования. Приведены результаты опытов и сделаны выводы.

Summary. The paper describes the principle of operation of a capacitive electromechanical energy transducer with a liquid rotor, and presents experimental investigations. Experimental results are given and conclusions are made.

Ключевые слова: емкостный электромеханический преобразователь энергии, жидкостный ротор, перемешивание диэлектрических жидкостей, движение жидкости в электрических полях.

Key-words: capacitive electromechanical energy transducer, liquid rotor, mixing of dielectric liquids, fluids moving in electric fields

УДК 621.313

Введение

Перемешивание диэлектрических жидкостей под действием приложенного электрического поля является перспективным направлением развития электрогидродинамики вследствие возможности управления процессами тепло- и электропереноса. Подобное перемешивание можно осуществить в емкостном электромеханическом преобразователе энергии (ЕЭМПЭ) с жидкостным ротором, разработанном на кафедре электромеханики Уфимского

государственного авиационного технического университета [1]. Его схематичное изображение и размеры экспериментального образца приведены на рис. 1.

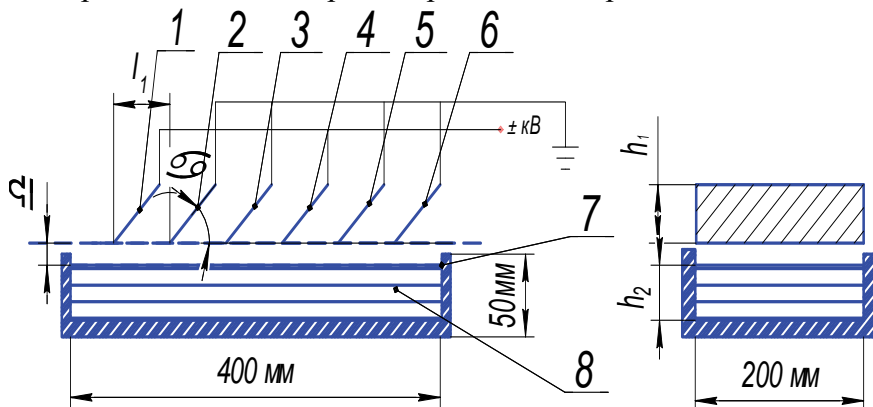


Рис. 1. Схематичное изображение ЕЭМПЭ с жидкостным ротором:
 α – угол наклона электродов относительно поверхности жидкости;
 δ – воздушный зазор между электродами и поверхностью жидкости;
 1, 2, 3, 4, 5, 6 – порядковые номера электродов, соответственно;
 7 – бак; 8 – жидкость

ЕЭМПЭ с жидкостным ротором представляет собой устройство, которое содержит диэлектрический подвижный элемент, металлические электроды, подключенные к источнику питания, а также дополнительный нагревательный элемент. На электроды подается напряжение от высоковольтного источника напряжения переменного или постоянного тока. В результате в рабочем пространстве емкостного двигателя возникает вращающееся электрическое поле, под действием которого возникает индуцированный дипольный электрический момент в жидком диэлектрике, заставляющий двигаться молекулы жидкости в определенном направлении [2]. Однако немаловажным параметром в конструкции ЕЭМПЭ с жидкостным ротором является высота электродов и, соответственно, расстояние между ними. Если электроды разнесены на расстояние меньшее или равное их высоте, то происходит наложение полей и их компенсация, в результате движение жидкости не наблюдается (см. рис. 2).

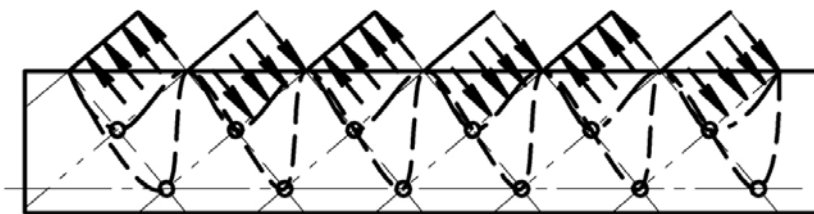


Рис. 2. Волновые эффекты в трехфазном ЕЭМПЭ с жидкостным ротором

В ЕЭМПЭ с жидкостным ротором имеются две зоны, участвующие в перемешивании: зона минимального уровня и зона максимального уровня. По всей видимости, зона минимального уровня ограничивает уровень жидкости для предотвращения расплескивания вследствие вскипания. А максимальный уровень ограничен вязкостными показателями и радиусом проникновения электрического поля вглубь жидкости. Предположительный центр возникающего вихря находится в точке пересечения перпендикуляра, опущенного с нижнего края электрода, к касательной следующего электрода, проведенной вдоль плоскости электрода.

Точка возникновения разности потенциалов – это граница в проекции на жидкость, образованного перпендикулярно опущенными плоскостями от верхнего края надлежащего электрода и нижнего края подлежащего электрода (см. рис. 3). При этом не должно происходить наложение полей двух электродов, так как при этом на границе электрода с жидкостью потенциал будет равен нулю.

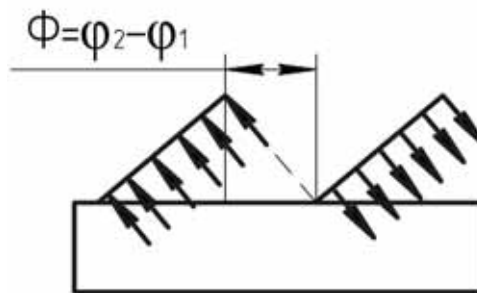


Рис. 3. Разность потенциалов на поверхности жидкости между двумя электродами

Целью экспериментальных исследований являлось изучение характеристик ЕЭМПЭ с жидкостным ротором под влиянием изменения напряжения питания, влияние материала и размеров ротора и электродов статора на эти характеристики, а также возможности использования исследуемого ЕЭМПЭ с жидкостным ротором для работы в качестве перемешивателя диэлектрических жидкостей.

В программу экспериментов входило:

- 1) исследование характеристик ЕЭМПЭ с жидкостным ротором в поле постоянного, переменного однофазного и трехфазного токов;
- 2) исследование влияния размеров электродов на характеристики ЕЭМПЭ с жидкостным ротором;
- 3) определение основных параметров, при которых возможно наиболее полное использование ЕЭМПЭ с жидкостным ротором в качестве перемешивателя диэлектрических жидкостей, эмульсий, взвесей и суспензий.

Исследование характеристик ЕЭМПЭ с жидкостным ротором в поле постоянного и однофазного переменного тока

Так как толщина слоя жидкости слишком большая, то для большей наглядности и усиления эффекта наличия движения и процесса перемешивания, мы вводим в конструкцию внутренний электрод, расположенный на дне бака таким образом, что находится на середине бака и перекрывает область действия всех шести наружных электродов (см. рис. 4), и заземляем его. Подобное введение применяется в [3], в котором благодаря использованию внутренних электродов увеличивался вращающий момент емкостного двигателя с твердым ротором. В технологиях, где не используются агрессивные среды, можно использовать погружной электрод для быстрого перемешивания.

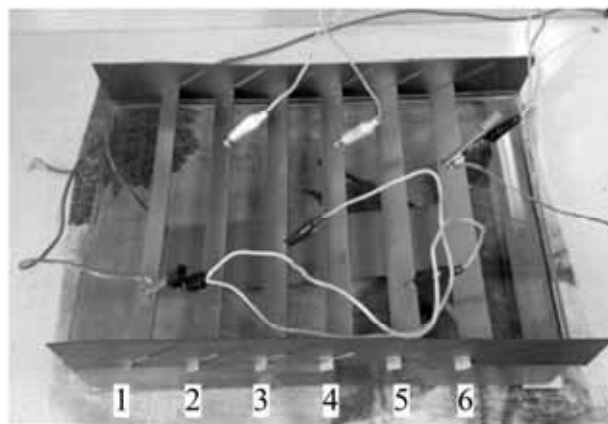


Рис. 4. ЕЭМПЭ с жидкостным ротором индукционного типа (вариант с погружным электродом)

Описание опыта

Материал ротора – касторовое масло (ГОСТ 6757-96) + трансформаторное масло (ГОСТ 982-80). Характеристики масел приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики применяемых материалов

Характеристики	Касторовое масло	Трансформаторное масло
Плотность, г/см ³	0,960 – 0,970	0,80 – 0,890
Кинематическая вязкость, м ² /с при 50 °С	более 110 · 10 ⁻⁶	9 · 10 ⁻⁴
Диэлектрическая постоянная	4,0 – 4,5	2,0 – 2,5

Так как касторовое масло тяжелее трансформаторного, оно находится на дне бака, следовательно, верхний слой – трансформаторное масло. Напряжение плавно регулируется от 0 – 12 кВ с интервалами в 120 с. При значениях напряжения 10 и 12 кВ интервал времени увеличивался до 600 с с целью выяснения временной зависимости процессов, происходящих в жидкости под действием электрического поля. Жидкость подогревалась снизу до температуры 40 – 45 °С. Геометрические параметры исследуемого ЕЭМПЭ с жидкостным ротором приведены в табл. 2.

Таблица 2

Геометрические параметры ЕЭМПЭ с жидкостным ротором

Геометрические параметры	Высота электродов	Расстояние между электродами	Величина воздушного зазора между жидкостью и электродами	Толщина верхнего слоя жидкости	Толщина нижнего слоя жидкости
мм	$h_1 = 20$	$l_1 = 50$	$\delta = 2$	$h_2 = 30$	$h_3 = 20$

1) На 1, 3 и 5 электроды подается напряжение постоянного тока, а 2, 4 и 6 электроды заземлены, тем самым создается разность потенциалов. В табл. 3 сведены результаты этого опыта.

Таблица 3

Результаты опыта при напряжении постоянного тока

Значение напряжения	4 кВ	6 кВ	8 кВ	10 кВ	12 кВ
Процессы в жидкости	Происходит ионизация	Ионизация усиливается	Возникает соленоидальное движение верхнего слоя жидкости между 6 электродом и стенкой бака	Возникает туманность двойного электрического слоя (д.э.с.) на границе раздела жидкостей (см. рис. 5)	Двойной электрический слой становится устойчивым и достигает толщины 1 мм

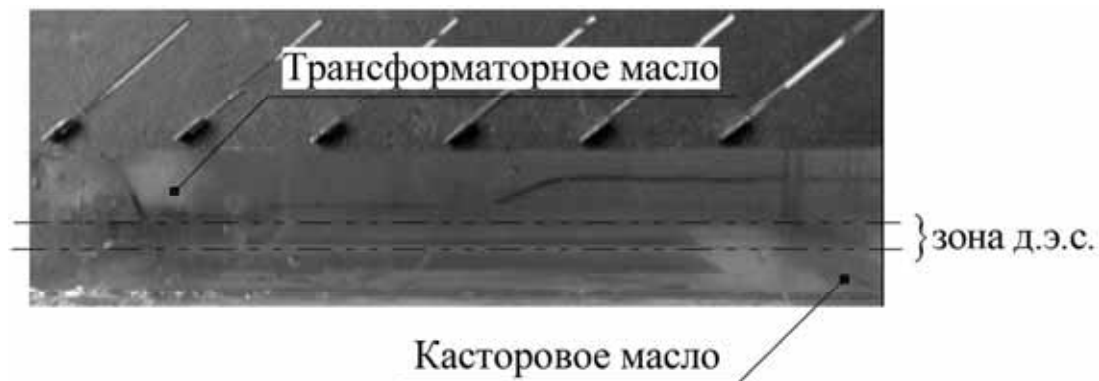


Рис. 5. Двойной электрический слой на границе раздела жидкостей в ЕЭМПЭ с жидкостным ротором

2) На 1, 3 и 5 электроды подается напряжение однофазного переменного тока, а 2, 4 и 6 электроды заземлены. Результаты данного опыта сведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты опыта при напряжении однофазного переменного тока

Значение напряжения	4 кВ	6 кВ	8 кВ	10 кВ	12 кВ
Процессы в жидкости	Происходит ионизация	Ионизация усиливается	Возникает полуволновое движение верхнего слоя жидкости между 6 электродом и стенкой бака	Возникает туманность двойного электрического слоя на границе раздела жидкостей (см. рис. 5)	Двойной электрический слой становится устойчивым и достигает толщины 1,5 мм

Заключение

Подводя итоги опыта, можно выделить следующее:

1) Возникновение двойного электрического слоя на границе раздела двух жидкостей является следствием взаимодействия неполярного трансформаторного масла и полярного касторового масла, находящихся под действием электрического поля [4]. Так как трансформаторное масло является верхним слоем (в силу своего молекулярного веса), то электрическое поле создает в неполярном трансформаторном масле объемный заряд, который не вызывает направленного движения молекул трансформаторного масла, однако заряжает их, и постепенно заряды достигают полярного касторового масла, молекулы которого, в свою очередь, приходят в движение. Здесь происходит активное электрокаталитическое взаимодействие с химическими превращениями двух реагирующих несмешивающихся жидкостей.

2) Так как общий объем перемешиваемой жидкости довольно большой (около 3000 мл), а следовательно, и слой жидкости гораздо больше, чем радиус образования вихря, то перемешивание не происходит. В более тонких слоях жидкости (толщина жидкости ~10 – 12 мм), когда радиус образования вихря достаточен для перемешивания, процесс происходит в ламинарном течении. На рис. 6 показано образование ламинарного течения на базе одного электрода. Движение жидкости направлено от электрода и образует течение жидкости, разделяющееся на две части от середины электрода в стороны стенок так, что образуется симметричная картина движения жидкости. Таким образом, для исследования характера движе-

Исмагилов Ф.Р. Волкова Т.А. Алетдинов Р.Ф.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЕМКОСТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ С ЖИДКОСТНЫМ РОТОРОМ В КАЧЕСТВЕ ПЕРЕМЕШИВАТЕЛЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕД

ния достаточно рассматривать участок, образованный 1/8 площади корпуса ЕЭМПЭ, и, следовательно, электрогидравлическая задача упрощается.

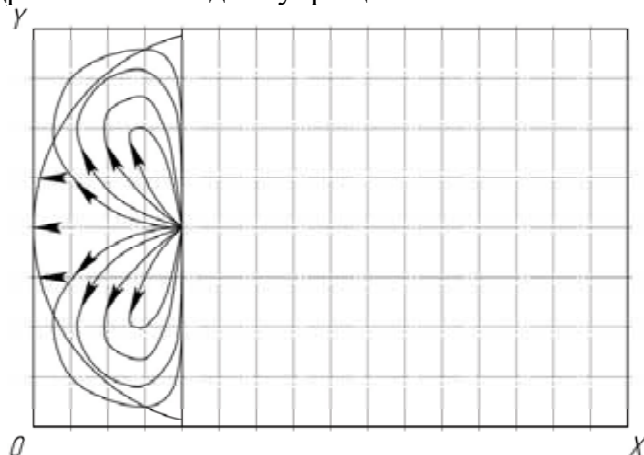


Рис. 6. Образование ламинарного течения в ЕЭМПЭ с жидкостным ротором

3) Таким образом, целесообразно применять ЕЭМПЭ с жидкостным ротором для перемешивания небольших объемов жидкости в достаточно большом по площади баке.

4) ЕЭМПЭ, действующий на принципе электроемкостной индукции без электрического контакта, отличается малыми токами, а следовательно, малой расходуемой мощностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емкостный двигатель – перемешиватель / Ф. Р. Исмагилов, И. Х. Хайруллин, Р. К. Фаттахов, Т. А. Волкова // Заявка на патент на изобретение РФ № 2010133361 от 09.08.10. Решение о выдаче патента от 30.01.12.
2. Волкова, Т. А. Электростатический перемешиватель жидких агрессивных сред / Т. А. Волкова, В. А. Папернюк // Сборник трудов седьмой Всерос. зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых, 14-16 февр. 2012 г. – Уфа: Изд-во «УГАТУ», 2012. – 332 с.
3. Пат. 2369000 РФ, МПК Н 02 N 1/08. Емкостный двигатель / И. Х. Хайруллин, Ф. Р. Исмагилов, Р. К. Фаттахов, Р. Р. Аминова, Т. А. Волкова. – № 2008117669/06; заявл. 04.05.08; опубл. 27.09.09. БИ № 27.
4. Исмагилов, Ф. Р. Электростатический преобразователь энергии в качестве перемешивателя диэлектрических жидкостей / Ф. Р. Исмагилов, Р. К. Фаттахов, Т. А. Волкова // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16. – № 1(46). – С. 150-156.

Павлов А. Б., Журавлёв Ю. Н., Плохов И. В.
A. B. Pavlov, Yu. N. Zhuravlev, I. V. Plokhov

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНИКОВ К РАСЧЁТУ РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВА ПОСТОЯННОГО ТОКА ВЫКИДНОГО НЕФТЕПРОВОДА

APPLICATION OF THE QUADRUPOLE THEORY TO CALCULATING A RESISTIVE DC ELECTRIC HEATING SYSTEM FOR OIL FLOWLINES



Павлов Александр Борисович – инженер ООО НИП «Дельта-Т», аспирант кафедры «Электропривод и системы автоматизации» Псковского государственного университета (Россия); 180025, г. Псков, ул. Западная, 16, кв. 9. E-mail: alexander.pavlov.psk@gmail.com.

Mr. Alexander B. Pavlov - Engineer at LCC "Delta-T", PhD Candidate, Department of Electro Drive Engineering and Industrial Automation, city of Pskov State University, Pskov, 16, Zapadnaya Str., ap. 9, Russia, 180025. E-mail: alexander.pavlov.psk@gmail.com



Журавлёв Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительная механика» Псковского государственного университета (Россия). E-mail: drakon426@mail.ru.

Mr. Yuri Zhuravlev – Doctor of Engineering, Professor, Department of Structural Theory, city of Pskov State University. E-mail: drakon426@mail.ru



Плохов Игорь Владимирович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и системы автоматизации» Псковского Государственного университета (Россия). E-mail: Igor_plohov@list.ru.

Mr. Igor V. Plokhov - Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Electro Drive Engineering and Industrial Automation, city of Pskov State University. E-mail: Igor_plohov@list.ru

Аннотация. В статье рассматривается резистивная система электроподогрева постоянного тока выкидного нефтепровода. Система состоит из подключённых к источнику электропитания двух низкоомных (продольных) проводников, к которым подключаются создающие электроподогрев участки намотанных на трубу высокоомных (поперечных) проводников. На основе теории четырёхполюсников решается задача определения параметров системы, обеспечивающей заданную плотность теплового потока по длине линии подогрева.

Summary. The paper considers a resistive DC electric heating system for an oil flowline. The system consists of two low-resistance conductors connected to the power supply. At the same time the low-resistance conductors are connected to heating high-resistance conductors wound around the pipeline. Using the quadrupole theory, the problem of determining the system's parameters is solved, which ensures the specified heat flow density along the length of the pipeline.

Ключевые слова: выкидной нефтепровод, полимерный трубопровод, электроподогрев, теория четырёхполюсников.

Key-words: oil flowline, polymer pipeline, electric heating, quadrupole theory.

УДК 622.692.4

Введение

Системы электроподогрева (СЭП) нашли широкое применение в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов [1; 5]. СЭП не боятся разморозки, не подвержены коррозии и могут запитываться от общей системы электроснабжения. Наибольшее распространение получили СЭП на базе резистивных кабелей, саморегулирующихся лент, а также системы бесконтактного индукционного нагрева (скин-системы) [2]. На рис. 1 представлена запатентованная нами конструкция выкидного полимерного трубопровода с резистивной СЭП [3]. СЭП выполняется из высокоомного проводника 1, навитого с шагом h вокруг рабочей трубы 2, и изолированных низкоомных непересекающихся проводников 3 и 4, навитых с шагом H , при этом $H \gg h$. Низкоомные проводники 3 и 4 поочередно электрически соединены с высокоомным проводником 1 в местах их перекрещивания, отстоящих друг от друга на различные расстояния L_i .

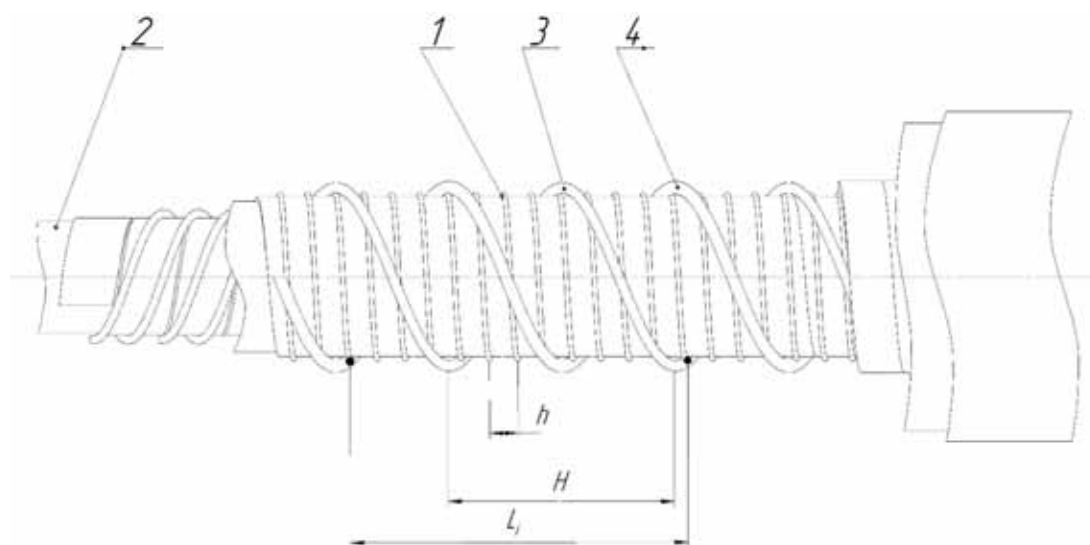


Рис. 1. Конструкция трубопровода с резистивной СЭП:

1 – высокоомный проводник; 2 – рабочая труба; 3, 4 – низкоомные проводники

Целью работы является создание методики расчёта параметров СЭП, которая позволит обеспечить различную интенсивность подогрева на разных участках трубопровода. Это актуально для выкидных трубопроводов, у которых наиболее уязвимыми для промерзания являются надземные участки: места присоединения к фонтанной арматуре, места подключения к емкостям для сбора нефти и другому надземному оборудованию, в то время как участки трубопровода, размещённые в грунте, требуют меньшей мощности подогрева. В частности, такая СЭП может быть установлена на выкидные трубопроводы марки ТГ 63/95-10.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта № 14.527.12.0026 от 20 октября 2010 г.

Схематизация СЭП

Источником питания СЭП, как правило, служат электрические сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 380 или 220 В. Эксперименты показывают, что на такой частоте реактивные составляющие (индуктивная и ёмкостная) сопротивлений пренебрежимо малы по сравнению с их активной составляющей. Используя данное допущение, приходим к схеме СЭП постоянного тока, электрическая схема которой показана на рис. 2.

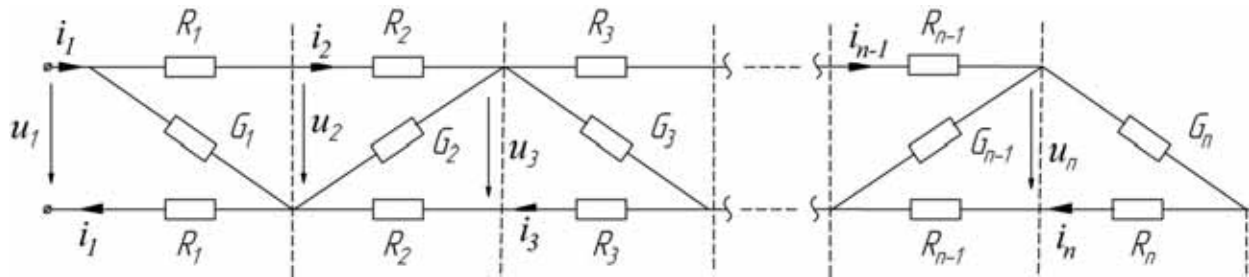


Рис. 2. Электрическая схема СЭП

Примем, что СЭП запитывается напряжением u_1 и имеет n участков, которые могут иметь различную длину и различные требования к плотности теплового потока на единицу длины. Данную электрическую линию можно представить в виде цепной системы, состоящей из последовательно соединённых четырёхполюсников [4], число которых равно $n - 1$, и одного двухполюсника в конце линии. Через R_k обозначим сопротивления продольных (прямого и обратного) низкоомных проводников, Ом; через G_k – проводимости поперечных высокоомных проводников, См; $k = 1, 2, \dots, n$. Считая процесс нагрева установившимся, температурной зависимостью сопротивлений проводников будем пренебрегать и тем самым считать электрическую цепь линейной.

Матрицы перехода через четырёхполюсники

Составим матрицу прямого перехода через k -й участок, т.е. через k -й четырёхполюсник (см. рис. 3). Выразим для этого напряжение u_{k+1} и ток i_{k+1} на выходе через напряжение u_k и ток i_k на входе.

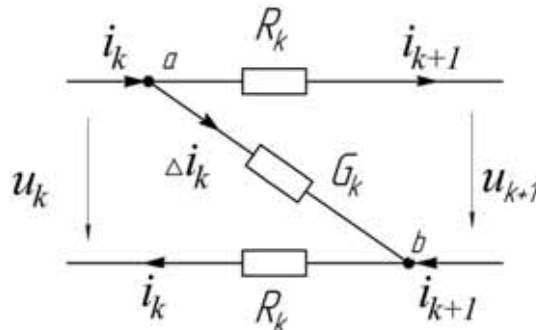


Рис. 3. Электрическая схема k -го участка СЭП

Из баланса токов в узле «а» имеем $i_{k+1} = i_k - \Delta i_k$, где $\Delta i_k = G_k u_{ab}$ – ток, протекающий через проводимость G_k . Чтобы найти напряжение между узлами «а» и «b» u_{ab} , обойдём нижний контур по часовой стрелке и запишем уравнение баланса напряжений $u_{ab} + R_k i_k - u_k = 0$ или $u_{ab} = u_k - R_k i_k$.

В результате получаем уравнение для тока i_{k+1}

$$i_{k+1} = -G_k u_k + (1 + G_k R_k) i_k. \quad (1)$$

Теперь, делая обход по внешнему контуру четырёхполюсника, имеем

$$u_{k+1} + R_k i_k - u_k + R_k i_{k+1} = 0.$$

Отсюда вытекает уравнение для напряжения u_{k+1}

$$u_{k+1} = (1 + G_k R_k) u_k - (2R_k + G_k R_k^2) i_k. \quad (2)$$

Таким образом, прямой переход через k -й участок можно записать в матричной форме

$$\begin{bmatrix} u_{k+1} \\ i_{k+1} \end{bmatrix} = A_k \begin{bmatrix} u_k \\ i_k \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где A_k – 2×2 матрица прямого перехода через k -й участок,

$$A_k = \begin{bmatrix} 1 + G_k R_k & -(2R_k + G_k R_k^2) \\ -G_k & 1 + G_k R_k \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Заметим, что $\det A_k = (1 + G_k R_k)^2 - G_k (2R_k + G_k R_k^2) = +1$.

Нетрудно установить, что обратный переход через k -й участок осуществляется по формуле

$$\begin{bmatrix} u_k \\ i_k \end{bmatrix} = B_k \begin{bmatrix} u_{k+1} \\ i_{k+1} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где B_k – 2×2 матрица обратного перехода через k -й участок, равная обратной матрице A_k^{-1} прямого перехода,

$$B_k = A_k^{-1} = \begin{bmatrix} 1 + G_k R_k & (2R_k + G_k R_k^2) \\ G_k & 1 + G_k R_k \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Из представления (5) и (6) вытекают два уравнения обратного перехода

$$\begin{aligned} u_k &= (1 + G_k R_k) u_{k+1} + (2R_k + G_k R_k^2) i_{k+1}, \\ i_k &= G_k u_{k+1} + (1 + G_k R_k) i_{k+1}. \end{aligned} \quad (7)$$

На расчётной схеме (см. рис. 4) наряду с введёнными выше величинами R_k , G_k , u_k , i_k указаны мощности $P_k = R_k i_k$ на входе в участок линии и мощности $\Delta P_k = P_k - P_{k+1}$, идущие на нагрев трубы данных участков ($k = 1, 2, \dots, n$). Для каждого участка линии задаётся удельной мощностью нагрева p_{0k} на единицу длины, Вт/м, поэтому для участка длиной l_k известна требуемая мощность ΔP_k

$$\Delta P_k = p_{0k} l_k. \quad (8)$$

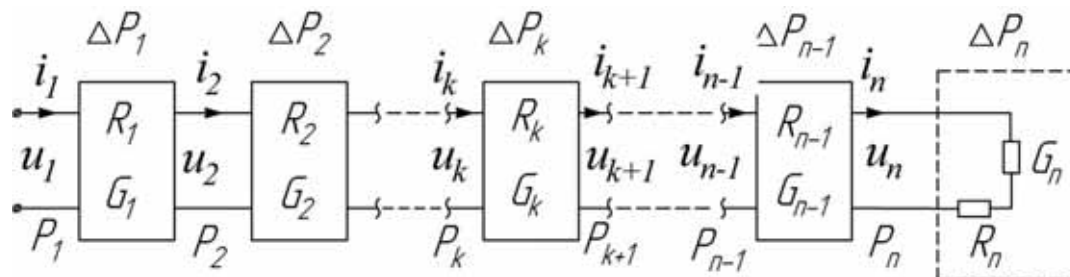


Рис. 4. Расчётная схема СЭП

Задача в общей постановке заключается в подборе значений $2n$ параметров линии R_k и G_k , при которых при известном напряжении питания u_1 и допустимой плотности тока в проводниках реализовывалось бы требуемое значение мощности подогрева ΔP_k на каждом участке линии.

Решение задачи

Будем считать, что наряду с известными значениями требуемых мощностей подогрева на участках $\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_n$ заданы также значения продольных сопротивлений R_1, R_2, \dots, R_n и поперечная проводимость последнего двухполюсника G_n . Для этого последнего участка при известных значениях $\Delta P_n, R_n$ и G_n , имеем:

- напряжение на входе

$$u_n = i_n \left(R_n + \frac{1}{G_n} \right) = \frac{1 + R_n G_n}{G_n} i_n; \quad (9)$$

- ток через участок

$$i_n = \frac{G_n}{1 + R_n G_n} u_n; \quad (10)$$

- мощность подогрева

$$\Delta P_n = u_n i_n = \frac{G_n}{1 + R_n G_n} u_n^2. \quad (11)$$

Поэтому чтобы получить мощность ΔP_n , должно быть приложено напряжение

$$u_n = \sqrt{\frac{1 + R_n G_n}{G_n} \Delta P_n}. \quad (12)$$

Теперь, зная значения u_n и i_n , мы можем перейти к $(n - 1)$ -му участку – четырёхполюснику, у которого известны R_{n-1} и ΔP_{n-1} , но неизвестны $G_{n-1}, u_{n-1}, i_{n-1}$. Найдя эти значения, мы можем перейти к $(n - 2)$ -му и последующим, вплоть до первого участка.

Рассмотрим для этого участок с номером k , у которого известны мощность подогрева ΔP_k , продольное сопротивление R_k , напряжение u_{k+1} и ток i_{k+1} на выходе и требуется найти поперечную проводимость G_k , напряжение u_k и ток i_k на входе.

На вход k -го участка с учётом уравнений обратного перехода (7) поступает мощность

$$P_k = u_k i_k = \left[(1 + G_k R_k) u_{k+1} + (2R_k + G_k R_k^2) i_{k+1} \right] \cdot \left[G_k u_{k+1} + (1 + G_k R_k) i_{k+1} \right] = \Delta P_k + u_{k+1} i_{k+1}. \quad (13)$$

Раскрывая уравнение (13), приходим для проводимости G_k к квадратному уравнению вида

$$a_k G_k^2 + b_k G_k + c_k = 0, \quad (14)$$

где $a_k = R_k u_{k+1}^2 + 2R_k^2 u_{k+1} i_{k+1} + R_k^3 i_{k+1}^2$; $b_k = u_{k+1}^2 + 4 \cdot R_k u_{k+1} i_{k+1} + 3 \cdot R_k^2 i_{k+1}^2$;
 $c_k = -(\Delta P_k - 2 \cdot R_k i_{k+1}^2)$.

Решение уравнения (14) имеет хорошо известный вид:

$$G_k = \frac{-b_k + \sqrt{b_k^2 - 4a_k c_k}}{2a_k}. \quad (15)$$

Теперь, зная проводимость G_k , по формулам обратного перехода (7) можем вычислить напряжение u_k и ток i_k на входе k -го участка, которые одновременно являются напряжением и током на выходе $(k - 1)$ -го участка.

Осуществляя прогонку от n -го до первого участка линии, получаем напряжение u_1 , ток i_1 и мощность $P_1 = u_1 i_1$, которые нужно согласовать с параметрами источника питания.

Расчёт навивки на трубу высокоомного проводника

Рассмотрим некоторый k -й участок линии электроподогрева трубы длиной $l_{\delta\delta}$ и внешним диаметром $d_{\delta\delta}$ (см. рис. 5). На трубу по винтовой линии с переменным по длине шагом $h = h(z)$, где z – продольная координата, отсчитываемая от начала участка O , навит высокоомный проводник, который в точках «а» и «b» подключён к питающим его низкоомным проводникам.

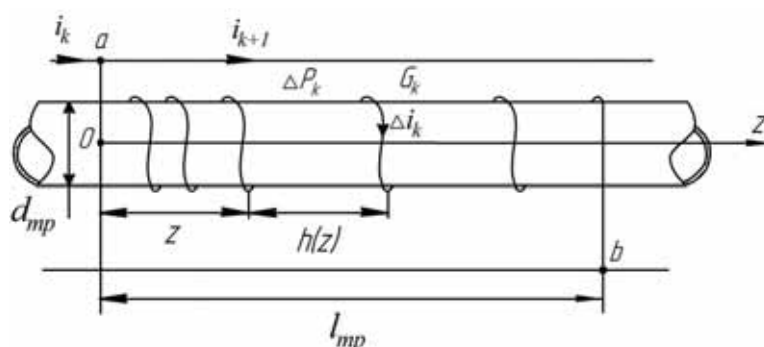


Рис. 5. Схема k -го участка трубы с навитым высокоомным проводником

Будем рассматривать общий случай, когда мощность подогрева по длине участка трубы распределена неравномерно и является заданной известной функцией координаты z , т.е. $p_{\delta\delta} = p_{\delta\delta}(z)$, Вт/м. Тогда мощность подогрева данного участка определяется интегралом

$$\Delta P_k = \int_0^{l_{\delta\delta}} p_{\delta\delta}(z) dz. \quad (16)$$

В частном случае, когда $p_{\delta\delta} = const$, имеем $\Delta P_k = p_{\delta\delta} l_{\delta\delta}$.

Рассматривая только высокоомный проводник, будем считать, что выполнен расчёт электрической цепи по всей линии, т.е. наряду с мощностью ΔP_k известен ток в проводнике $\Delta i_k = i_k - i_{k+1}$ и требуемое значение его проводимости G_k , а также известны допустимая плотность тока j , А/мм², и удельное сопротивление ρ , Ом·м/мм². Требуется найти диаметр проводника $d_{\text{вб}}$, его длину $l_{\text{вб}}$, зависимость шага навивки от продольной координаты $h(z)$ и число витков w .

Проводник должен иметь площадь поперечного сечения $s = \frac{\Delta i_k}{j} = \frac{\pi d_{\text{вб}}^2}{4}$, поэтому его диаметр не должен быть меньше, чем

$$d_{\text{вб}} = \sqrt{\frac{4 \Delta i_k}{j \pi}}. \quad (17)$$

Очевидно, что окончательное значение $d_{\text{вб}}$ устанавливается из сортамента проводников.

Используя известную формулу $\frac{1}{G_k} = \frac{\rho l_{i\delta}}{s}$, находим требуемую длину проводника

$$l_{i\delta} = \frac{\pi d_{i\delta}^2}{4\rho G_k}. \quad (18)$$

Навивка проводника на трубу происходит по винтовой линии с переменным шагом (см. рис. 6) при диаметре его осевой линии

$$d = d_{\delta\delta} + d_{i\delta}. \quad (19)$$

Текущая точка M осевой линии имеет координаты

$$x = \frac{d}{2} \cos(\varphi), \quad y = \frac{d}{2} \sin(\varphi), \quad \Delta z = \frac{h(z)}{2 \cdot \pi} \varphi, \quad (20)$$

где φ – полярный угол, отсчитываемый от оси x .

Дуга от начала витка до точки M имеет длину

$$s_M = \int_0^\varphi \sqrt{\left(\frac{dx}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{d(\Delta z)}{d\varphi}\right)^2} d\varphi, \quad (21)$$

где

$$\frac{dx}{d\varphi} = -\frac{d}{2} \sin(\varphi), \quad \frac{dy}{d\varphi} = \frac{d}{2} \cos(\varphi), \quad \frac{d(\Delta z)}{d\varphi} = \frac{h(z)}{2 \cdot \pi}. \quad (22)$$

Интегрируя от 0 до 2π , получаем длину одного витка

$$l_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}(z) = \int_0^{2\pi} \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{h(z)^2}{4\pi^2}} d\varphi = \pi \sqrt{d^2 + \frac{h(z)^2}{\pi^2}}. \quad (23)$$

Зависимость $h(z)$ найдём из следующих соображений. На единице длины проводника (не трубы) выделяется мощность

$$p_{i\delta} = \frac{\Delta P_k}{l_{i\delta}} = const, \quad (24)$$

где $l_{i\delta}$ определяется по (18). Один виток проводника выделяет мощность

$$P_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}(z) = p_{i\delta} l_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}(z) = p_{i\delta} \pi \sqrt{d^2 + \frac{h(z)^2}{\pi^2}}. \quad (25)$$

Занимаемое одним витком расстояние по длине трубы равно шагу навивки $h(z)$, поэтому отношение мощности $P_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}(z)$ к $h(z)$ должно быть равно требуемому значению удельной мощности подогрева трубы $p_{\delta\delta}(z)$ в данном её сечении:

$$\frac{P_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}(z)}{h(z)} = p_{\delta\delta}(z). \quad (26)$$

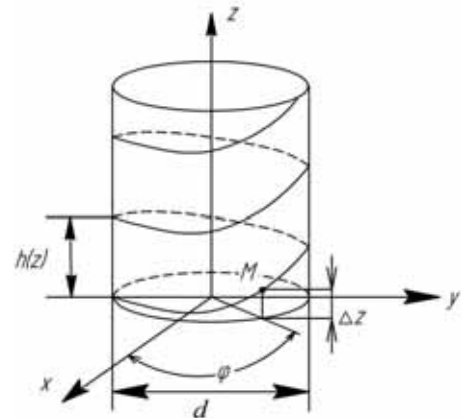


Рис. 6. Винтовая линия намотки высокоомного проводника

Из (26) с учётом (25) следует равенство

$$p_{i\delta} \sqrt{d^2 + \frac{h(z)^2}{\pi^2}} = p_{\delta\delta}(z)h(z),$$

из которого получаем искомую зависимость шага навивки от координаты z

$$h(z) = \frac{p_{i\delta} \pi d}{\sqrt{p_{\delta\delta}(z)^2 - p_{i\delta}^2}}. \quad (27)$$

В частном случае постоянства удельной мощности $p_{\delta\delta} = \frac{\Delta P_k}{l_{\delta\delta}} = const$ по длине трубы формула (27) принимает вид

$$h = \frac{\pi d l_{\delta\delta}}{\sqrt{l_{i\delta}^2 - l_{\delta\delta}^2}} = const. \quad (28)$$

Учитывая, что навивка имеет плотность, т.е. число витков на единице длины трубы, равную $\frac{1}{h(z)}$, общее число витков на длине $l_{\delta\delta}$ будет равно

$$w = \int_0^{l_{\delta\delta}} \frac{dz}{h(z)} = \frac{1}{p_{i\delta} \pi d} \int_0^{l_{\delta\delta}} \sqrt{p_{\delta\delta}(z)^2 - p_{i\delta}^2} dz. \quad (29)$$

В случае постоянного шага навивки по (28) имеем

$$w = \frac{l_{\delta\delta}}{h} = \frac{\sqrt{l_{i\delta}^2 - l_{\delta\delta}^2}}{\pi d}. \quad (30)$$

Выводы

В настоящей статье на основе теории четырёхполюсников разработана методика расчёта электрических и конструкционных параметров запатентованной резистивной СЭП [3], которая даёт возможность рассчитать требуемое распределение тепловой мощности по длине трубопровода, что позволит повысить эффективность электроподогрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трубопроводный транспорт нефти и газа: учеб. для вузов / Р. А. Алиев, В. Д. Белоусов, А. Г. Немудров и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988.
2. Хренков, Н. Н. Кабельный обогрев сверхдлинных трубопроводов: выбор экономичной схемы // Территория Нефтегаз. – 2007. – № 6. – С. 94-95.
3. Трубопровод с системой электроподогрева. Заявка на полезную модель RU 2013107874 А / Робин А. В., Плохов И. В., Павлов А. Б. Дата публикации заявки 21.02.2013.
4. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: учеб. для вузов / Л. А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 1978.
5. Приходченко, О. В. Математическое моделирование и анализ электромагнитных и тепловых процессов в электромеханических теплогенерирующих преобразователях / О. В. Приходченко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. университета. Науки о природе и технике. – 2011. – № 3-1(7). – С. 27-37.

Климаш В. С., Соколовский М. А.
V. S. Klimash, M. A. Sokolovsky

**СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ**

**A TEST-BENCHING UNIT FOR RESEARCH OF ELECTRIC DRIVE'S ADJUSTABLE
SYSTEMS WITH REMOTE-CONTROL VIA THE INTERNET**

Климаш Владимир Степанович – доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленная электроника» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013,

г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; (4217) 53-60-09, (4217) 53-61-50. E-mail: root@knastu.ru.

Mr. Vladimir S. Klimash – Doctor of Engineering, Professor, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Russia. Postal address: Vladimir S. Klimash, State Technical University, 27, Lenin Str., Komsomolsk-on-Amur; phone : (4217) 53-60-09, fax: (4217) 53-61-50. E-mail: root@knastu.ru

Соколовский Михаил Александрович – инженер. E-mail: Socel@mail.ru

Mr. Mikhail A. Sokolovsky – power engineer, LLC "Gidrometallurgicheskyy Zavod", city of Amursk. E-mail: Socel@mail.ru

Аннотация. Описаны устройство и функциональные возможности стенда для научных исследований промышленных комплексов и электрифицированного транспорта с частотно-регулируемым электроприводом. Также стенд предназначен для использования в учебном процессе при подготовке специалистов электротехнического профиля, включая программы индивидуально-дистанционного обучения через сети Интернет.

Summary. The paper considers a device and the functional capabilities of a test-bench for scientific research of industrial systems and of electric power transport with variable frequency electric drives. The bench is also designed for being used in education for the purposes of training experts in electric engineering, including programs of individual remote training via Internet.

Ключевые слова: преобразователь частоты, электропривод, дистанционное управление, локальная сеть, Интернет.

Key-words: frequency converter, electric drive, remote control, local area network, Internet.

УДК 621.314.572

Стремительное внедрение частотно-регулируемого электропривода на основе преобразователей частоты со звеном постоянного тока во всех отраслях промышленности и на транспорте требует модернизации существующих систем электроснабжения. В современных цехах доля устройств, работающих от цепей постоянного тока (инверторов), уже составляет половину от общего числа потребителей и с каждым годом неуклонно растет. Общая сеть постоянного тока, объединяющая эти устройства, позволит сэкономить как на стоимости оборудования, за счет исключения из преобразователей частоты диодных и диодно-транзисторных (рекуперативных) выпрямителей, так и электроэнергии, потребляемой из сети, благодаря обмену рекуперативной энергией между электроприводами через сеть постоянного тока.

Стенд для исследования регулируемых систем электропривода с дистанционным управлением через Интернет предназначен для изучения физических процессов как в индивидуальных преобразователях частоты для каждого двигателя, так и преобразователе частоты

Климаш В.С., Соколовский М. А.

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ

ты с общим выпрямителем и индивидуальными автономными инверторами напряжения для каждого двигателя. Особый интерес представляют стендовые исследования систем электрифицированного транспорта с емкостными накопителями энергии рекуперативного торможения [8], в качестве которых используются конденсаторы фильтров на входе каждого инвертора напряжения.

В учебном процессе стенд используется для проведения лабораторных практикумов по ряду дисциплин электротехнической направленности.

Управление электроприводами и получение результатов измерений может осуществляться как непосредственно с установки, так и дистанционно через сеть Internet, что позволяет её использовать в проектах программ индивидуально-дистанционного обучения с использованием информационно-коммуникативных технологий.

Для организации удаленного управления могут использоваться обычные проводные и беспроводные сети. Персональный компьютер, входящий в состав информационно-измерительной системы стенда, имеет встроенную сетевую карту LAN и Wi-Fi адаптер. Данные устройства позволяют наиболее полно использовать возможности установки. При этом рабочее место может находиться в другом здании, городе или стране мира, единственное препятствие, ограничивающее возможность удаленного управления, – это отсутствие подключения к локальным сетям или Internet. В настоящее время таких мест становится все меньше.

LAN – интерфейс (Local Area Network), самое распространенное устройство связи при организации локальной проводной сети. Большие скорости передачи данных, 100 Мбит/с по стандартной витой паре, дают возможность работать с информационной системой в реальном масштабе времени.

Общераспространенные Wi-Fi адаптеры позволяют организовывать беспроводные локальные сети со скоростью обмена информацией между устройствами до 108 Мбит/с. Скорость передачи в такой сети зависит от многих факторов: расстояния между устройствами, наличия между ними физических преград (мебель, стены), наличия помех от других беспроводных устройств (например, Bluetooth) или электронной аппаратуры (в том числе, микроволновых печей), расположения устройств друг относительно друга, погодных условий и т.п.

При использовании беспроводных сетей стенд становится мобильным устройством и не требует для своего функционирования специально оборудованного рабочего места, а также появляется возможность синхронизации системы с другими устройствами, использующими подобные устройства связи.

Наличие в составе стенда двухканального цифрового осциллографа позволяет визуально оценивать вид и форму сигналов на различных участках силовой электронной схемы. Для обеспечения безопасности измерительные входы подключаются к контрольным точкам с помощью аналогового коммутатора, который управляется с помощью персонального компьютера.

Для наблюдений за состоянием работающего привода предусмотрено применение Web-камеры, подключенной к персональному компьютеру.

Структурная схема стенда.

Структурная схема стенда для исследования частотно-регулируемого электропривода изображена на рис. 1.

Стенд состоит из трех блоков: электромеханический блок, силовой электронный блок с микропроцессорной системой управления и персональный компьютер.

Датчик вращения (ДВ), трехфазный асинхронный электродвигатель (ЭД) мощностью 0.55 кВт и частотой вращения 1360 об/мин, нагрузочная машина (НМ) образуют электромеханический блок.

В зависимости от исследуемого процесса силовой блок формирует трехфазное напряжение с требуемыми характеристиками и приводит в движение основной электродвигатель, который посредством сцепной муфты (М) вращает вал нагрузочной машины. Управление

машиной также осуществляется силовым электронным блоком, который формирует требуемую нагрузку на валу двигателя, постоянную или изменяемую во времени. В качестве нагрузочной машины используется асинхронный электродвигатель, аналогичный основному. Датчиком вращения служит инкрементный энкодер производства компании «Hohner» (Италия). Последовательность импульсов (10 имп/об), вырабатываемая датчиком, преобразуется в сигнал напряжения, пропорциональный частоте вращения. Также этот сигнал используется как источник обратной связи при использовании режима PID-управления.

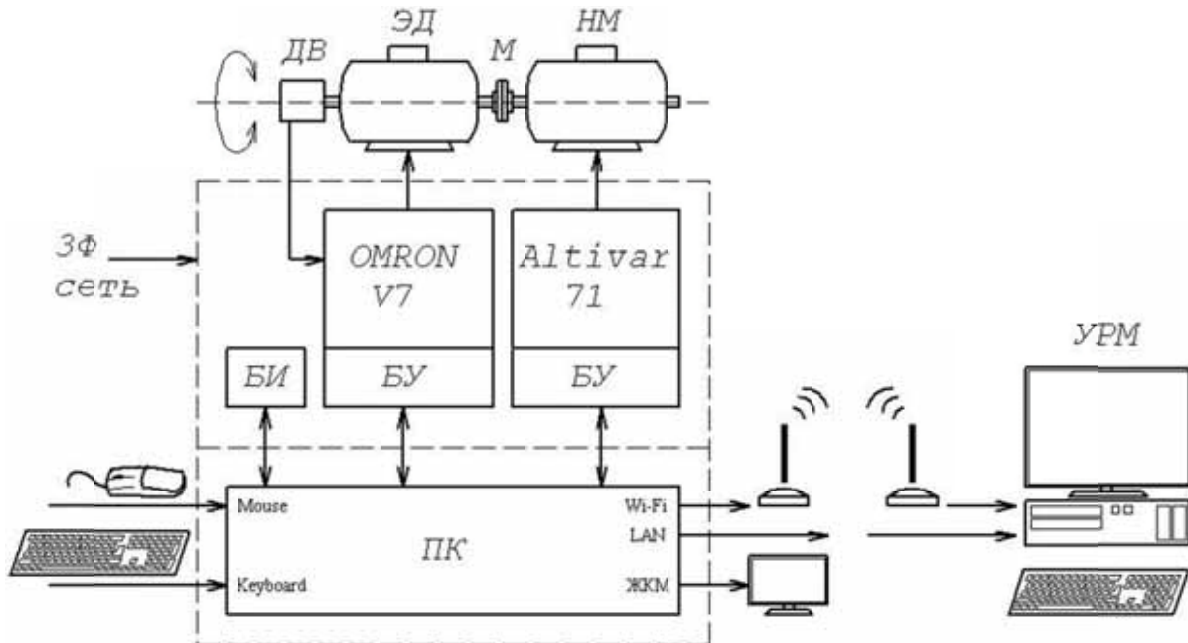


Рис. 1. Структурная схема стенда

Предусмотрено два способа торможения двигателем: динамическое торможение и генераторное торможение с рекуперацией электроэнергии в сеть постоянного тока.

В состав силового электронного блока входят два преобразователя частоты и блок измерения (БИ). Для управления основным электродвигателем используется частотный преобразователь CIMR-V7 производства компании «OMRON» (Япония) мощностью 4 кВт. Управление нагрузочной машиной осуществляет частотный преобразователь ALTIVAR 71 производства компании «Schneider Electric» (Франция) мощностью 5.5 кВт.

Блок измерения с помощью коммутатора аналоговых сигналов подключается к различным контрольным точкам силовой схемы. Мгновенные значения измеряемых величин с помощью аналогово-цифрового преобразователя и микроконтроллера блока преобразуются в цифровой код и через интерфейс USB передаются в персональный компьютер, где с помощью программы цифрового осциллографа отображаются на экране жидкокристаллического монитора.

Питание силового электронного блока осуществляется от сети трехфазного переменного тока, автоматические выключатели, входящие в его состав, обеспечивают отключение преобразователей частоты в случае аварийной ситуации.

Основным элементом стенда для исследования частотно-регулируемого электропривода является персональный компьютер. Он осуществляет управление и контроль всей системы и служит промежуточным звеном при использовании дистанционного управления.

С помощью последовательного интерфейса RS232 преобразователи частоты получают команды управления и передают информацию о состоянии привода. Интерфейсы USB используются для приема информации от платы цифрового осциллографа и для управления аналоговым коммутатором. Персональный компьютер имеет привычные устройства ввода –

вывода, т.е. клавиатуру и ручной манипулятор “мышь”, а также стандартное устройство отображение информации, жидкокристаллический монитор. Для организации связи с удаленным рабочим местом (УРМ) используются встроенная сетевая карта LAN или Wi-Fi адаптер.

Преобразователь частоты.

За редким исключением общераспространенные промышленные преобразователи частоты разных производителей имеют одинаковую структурную схему, отличительными особенностями являются применяемая элементная база, функциональные и сервисные возможности.

Рассмотрим частотно-регулируемый электропривод CIMR-V7 производства компании «OMRON» (Япония), который является основным элементом исследований в данном стенде и выполняет следующие функции: режим скалярного и векторного управления, номинальный крутящий момент при низких частотах, высокая несущая частота, функция точного останова, встроенный ПИД-регулятор, вход терморезистора с положительным ТКС для защиты двигателя от перегрева.

Инвертор стенда работает с векторным или скалярным управлением, выбираемым в соответствии с конкретным применением:

Векторное управление.

Преобразователь с векторным управлением вычисляет вектор переменных двигателя. При подаче команды «Пуск» происходит управление вектором тока в соответствии с заданными настройками. При выходной частоте 1 Гц инвертор может обеспечить номинальный выходной момент вращения двигателя равным 150 %. Векторное управление дает более мощное управление двигателем, чем вольт-частотное и позволяет демпфировать колебания скорости при изменении нагрузки.

Скалярное управление.

Такое управление широко используется при эксплуатации турбомеханизмов с вентиляторной характеристикой: вентиляторы, компрессоры, насосы, гребные винты и т.п.

Инвертор при этом управлении может работать без учета констант двигателя. Также этот тип управления используется при подключении преобразователя более чем к одному двигателю или к двигателю специального назначения, например с повышенным пусковым моментом, или высокоскоростному.

В учебном процессе вызывает интерес возможность исследования работы ПИД-регулятора. Комбинации пропорционального, интегрального и дифференциального звеньев регулятора, представленные на рис. 2, дают разные зависимости и быстродействие системы управления. Предусмотрены два способа управления ПИД-регулятором: с медленной реакцией на сигнал задания (см. рис. 2, а) и быстрой реакцией (см. рис. 2, б).

Структурная схема преобразователя частоты со звеном постоянного тока.

Преобразователь частоты состоит из трехфазного диодного мостового выпрямителя, выполненного в едином модуле (3Ф VD), фильтра звена постоянного тока (Ф), трехфазного мостового транзисторного инвертора напряжения, выполненного на одном IGBT-модуле (3Ф IGBT), блока питания (БП), тормозного резистора (ТР) и блока управления (БУ), в который входят блок управления транзисторами (БУТ), блок контроля транзисторов (БКТ) и различные устройства ввода – вывода (см. рис. 3).

Напряжение трехфазной сети поступает на выпрямительный мост, состоящий из шести диодов, соединенных по мостовой схеме. Фильтр звена постоянного тока сглаживает пульсации выпрямленного напряжения, которое питает инвертор. Шесть IGBT транзисторов модуля, соединенных по мостовой схеме, обеспечивают на выходе преобразователя систему трехфазных напряжений с регулируемой амплитудой и частотой. Нагрузкой модуля является трехфазный асинхронный двигатель. Подробное описание и алгоритм управления преобразователем частоты приведены в [2].

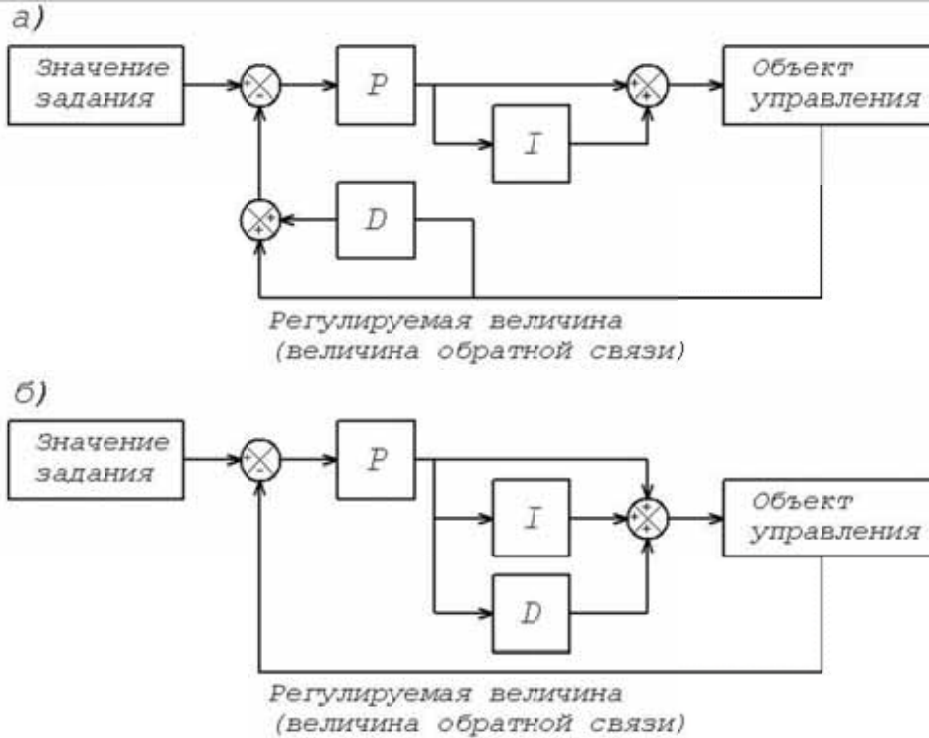


Рис. 2. Структурные схемы ПИД-регулирования:
 а – управление с медленной реакцией; б – управление с быстрой реакцией

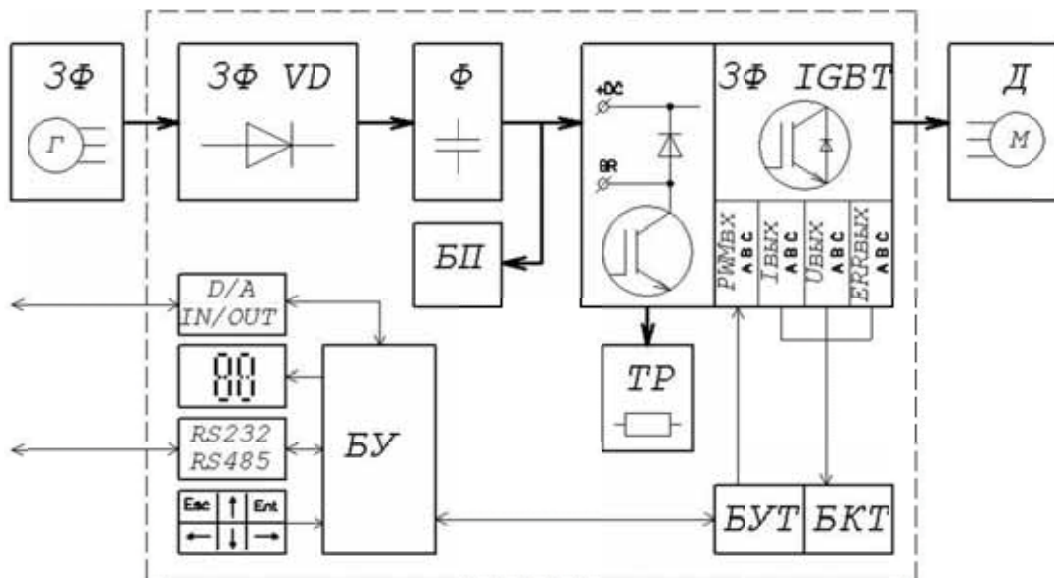


Рис. 3. Структурная схема автономного преобразователя частоты

Для обеспечения синхронной работы в составе промышленных сетей преобразователем могут использоваться различные сетевые интерфейсы: Modbus, DeviceNet, PROFIBUS, CANopen.

Связь с информационной системой станда обеспечивает интерфейс RS232.

Для автономного управления и изменения параметров предусмотрен блок индикации и управления. Четыре семисегментных индикатора, восемь светодиодов и шестикнопочная панель позволяют удобно производить любые операции по настройке и управлению преобразователя.

Управляющая программа.

Управляющая программа разработана при помощи SCADA системы (Диспетчерское управление и сбор данных) «CX – Supervisor» и выполняет следующие функции:

Управление: запуск/останов/смена вращения двигателя; управление в режиме скалярного управления; управление в векторном режиме; PID-регулирование.

Контроль работы привода: контроль режима работы привода (функционирование, наличие ошибок); текущая скорость; заданная частота; ток двигателя; момент на двигателе; напряжение на двигателе; напряжение в звене постоянного тока; ток в звене постоянного тока; потребляемая двигателем мощность; индикация значений параметров PID-регулятора.

Дополнительные задачи: переключение режимов управления (скалярное \ векторное) с индивидуальным набором параметров для каждого режима; наборы предустановленных параметров для разных видов промышленных механизмов; построение графиков входных/выходных зависимостей; отображение и запись осциллограмм в контрольных точках; отображение функциональной схемы стенда с одновременной индикацией значений величин в контрольных точках.

Для более наглядного представления процессов, происходящих при изменении режимов, используются анимированные графики и схемы. Например, графическая схема PID-регулятора выделяет цветом изменяемый параметр и скрывает недействующие элементы функциональной схемы (см. рис. 4).

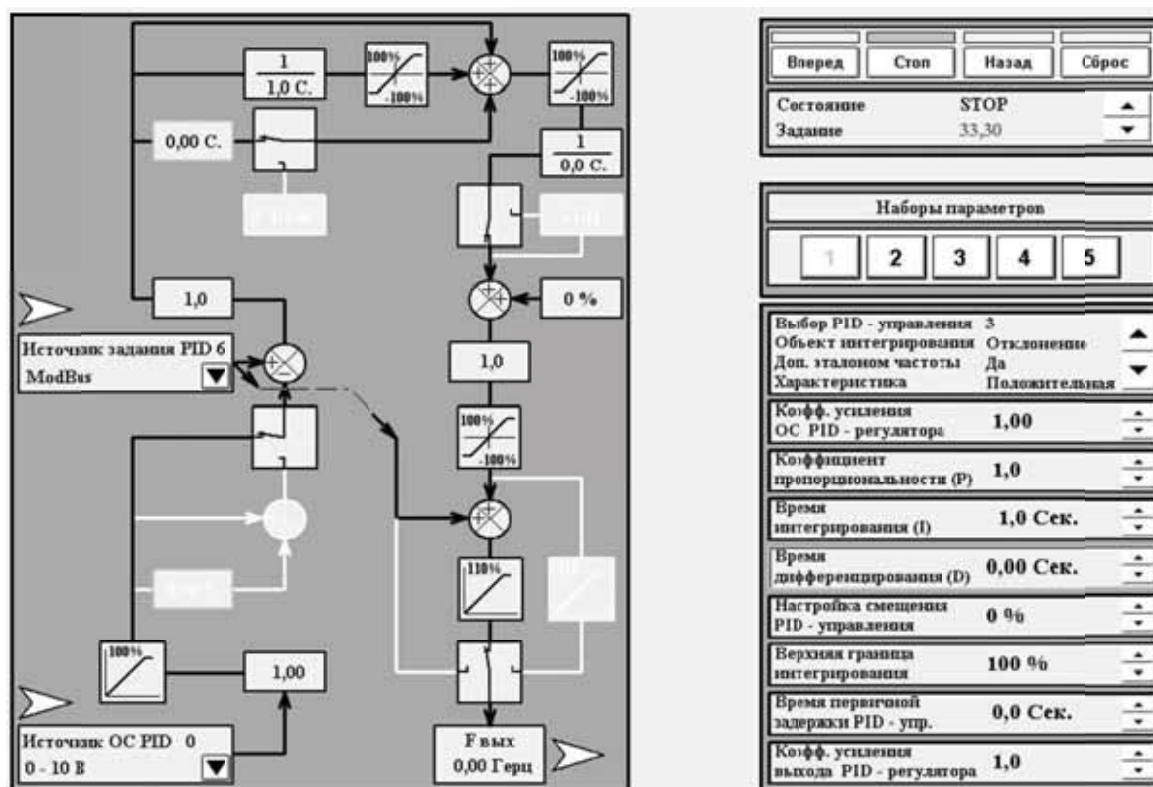


Рис. 4. Окно управляющей программы PID-регулятора

В процессе проведения исследований и лабораторных работ возможны аварийные ситуации, вызванные как неправильными действиями, так и поломкой оборудования. Информационная система стенда имеет функции диагностики и защиты, которые при нештатных режимах работы отключают преобразователь и в развернутой форме информируют пользователя о причинах неисправности.

При изучении процессов, протекающих в блоках частотного электропривода, требуется иметь наглядное представление о форме сигналов и мгновенных значениях величин в кон-

трольных точках преобразователя. Для визуализации этих процессов предназначен электронный осциллограф, который встроен в стенд и отображает информацию на экране монитора (см. рис. 5).

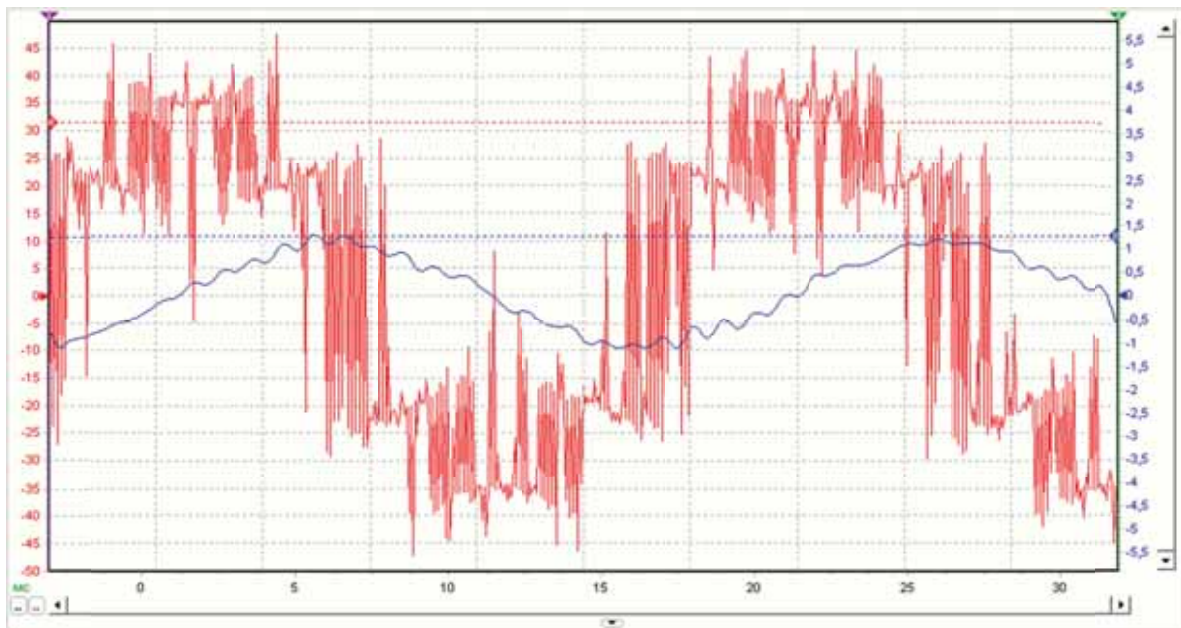


Рис. 5. Осциллограмма напряжения и тока на выходе преобразователя частоты

Заключение

В процессе опытной эксплуатации стенда проверено функционирование как отдельных элементов, так и всей системы в целом. В ходе экспериментальных исследований были получены удовлетворительные результаты работы программных и аппаратных составляющих. Намечились пути дальнейшего усовершенствования оборудования. Исходя из полученных результатов, для учебного процесса разработана программа проведения лабораторного практикума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пролетарский, А. В. Беспроводные сети Wi – Fi / А. В. Пролетарский, И. В. Баскаков, Д. Н. Чирков. – М.: ИНТУИТ.РУ «Интернет-Университет Информационных Технологий», БИНОМ. «Лаборатория знаний», 2007. – 216 с.
2. Климаш, В. С. Инверторы напряжения с широтно-импульсной модуляцией: учеб. пособие / В. С. Климаш. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2010. – 106 с.
3. Кулябов, Д. С. Архитектура и принципы построения современных сетей и систем телекоммуникаций: учеб. пособие / Д. С. Кулябов, А. В. Королькова. – М. : РУДН, 2008. – 281 с.: ил.
4. Метрология и радиоизмерения: учеб. для вузов / В. И. Нефедов, А. С. Сигов, В. К. Битюков; под ред. В. И. Нефедова. – 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2006. – 526 с.: ил.
5. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Соколовский. – М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 272 с.
6. Пат. 2166831 РФ, МКИ 7 Н02М 5/44, Н02J 3/12. Преобразователь амплитуды, фазы и частоты со звеном постоянного напряжения / В. С. Климаш, И. Г. Симоненко (Россия) // Открытия. Изобретения. – 2001. – № 13. – С. 405.
7. Пат. 28219А Украина, МКИ 6 Н02М 5/16. Перетворювач фази з ланкою постійного струму / В. С. Климаш (Россия), П. Д. Андрієнко, В. Г. Тереннік, О. В. Міщенко (Україна) // Открытия. Изобретения. – 1999. – № 8.

Зарубин М. М.
M. M. Zarubin

О МЕТОДЕ ОТЫСКАНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ, ИМЕЮЩИХ ЗАДАННУЮ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОСТАТКОВ ОТ ДЕЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОЛЬНЫЙ КОРТЕЖ

ON THE METHOD OF FINDING NATURAL NUMBERS THAT HAVE A GIVEN SEQUENCE OF REMAINDERS ON DIVIDING BY AN ARBITRARY LIST



Зарубин Михаил Михайлович – кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики и информатики Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; 8(914)210-01-50. E-mail: zmm52@mail.ru

Mr. Mikhail M. Zarubin – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Professor at the Department of Applied Mathematics and Information Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (city of Komsomolsk-on-Amur, Russia); 27, Lenina Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013; mobile phone:

+79142100150. E-mail: zmm52@mail.ru.

Аннотация. Решается задача отыскания чисел, имеющих заданный кортеж остатков от целочисленного деления на произвольный заданный кортеж натуральных чисел. Приводится алгоритм решения поставленной задачи.

Summary. The paper tackles the task of finding numbers having a given list of remainders of an integer division by an arbitrarily specified list of natural numbers. An algorithm for solving the above problem is suggested.

Ключевые слова: натуральные числа, целочисленные, остатки от деления.

Key-words: natural numbers, integer remainders of division.

УДК 511.1

Постановка задачи

Имеется произвольный кортеж натуральных чисел, т.е. конечная последовательность натуральных чисел $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$.

Задан кортеж $\langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle$ остатков от деления натурального числа c на числа a_i , $0 \leq b_i < a_i$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Требуется отыскать число c , обладающее заданными остатками b_i при делении на a_i , $i = 1, 2, \dots, n$.

Предлагается следующий метод решения поставленной задачи, т.е. отыскания натуральных чисел c , обладающих заданными выше свойствами.

Числа, имеющие остаток b_1 при делении на a_1 , можно записать в виде

$$c = b_1 + a_1 \cdot m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Придавая m в (1) последовательные значения $0, 1, 2, \dots$, отыскиваем m_1 такое, что число $b_1 + a_1 \cdot m_1$ при делении на a_2 дает остаток b_2 .

Тогда числа вида



$$c = b_1 + a_1 \cdot m_1 + a_1 \cdot a_2 \cdot m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

при делении на a_1 дают остаток b_1 , а при делении на a_2 дают остаток b_2 .

Придавая m в (2) последовательные значения $0, 1, 2, \dots$, отыскиваем m_2 такое, что число $b_1 + a_1 \cdot m_1 + a_1 \cdot a_2 \cdot m_2$ при делении на a_3 дает остаток b_3 .

Тогда числа вида

$$c = b_1 + a_1 \cdot m_1 + a_1 \cdot a_2 \cdot m_2 + a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

при делении на a_1 дают остаток b_1 , при делении на a_2 дают остаток b_2 , при делении на a_3 дают остаток b_3 .

Продолжая процесс, получим последовательность натуральных чисел c_m , обладающих требуемыми свойствами:

$$c_m = b_1 + a_1 \cdot m_1 + a_1 \cdot a_2 \cdot m_2 + \dots + a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_{n-1} \cdot m_{n-1} + a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n \cdot m, \quad (4)$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$.

В качестве иллюстрации метода решим следующую задачу: найти натуральное число, дающее остаток 1 при делении на 2 , остаток 2 при делении на 3 , остаток 3 при делении на 4 , остаток 4 при делении на 5 , остаток 5 при делении на 6 , остаток 6 при делении на 7 .

Решение задачи

Числа, дающие остаток 1 при делении на 2 , имеют вид

$$c = 1 + 2 \cdot m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

Придавая m в (5) последовательные значения, находим число 5 ($m = 2$), дающее при делении на 3 требуемый остаток 2 .

Тогда числа вида

$$c = 5 + 2 \cdot 3 \cdot m = 5 + 6 \cdot m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

дают остаток 1 при делении на 2 и остаток 2 при делении на 3 .

Придавая m в (6) последовательные значения, находим число 11 ($m = 1$), дающее при делении на 4 требуемый остаток 3 .

Тогда числа вида

$$c = 11 + 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot m = 11 + 24 \cdot m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

дают остаток 1 при делении на 2 , остаток 2 при делении на 3 , остаток 3 при делении на 4 .

Придавая m в (7) последовательные значения, находим число 59 ($m = 2$), дающее при делении на 5 требуемый остаток 4 .

Тогда числа вида

$$c = 59 + 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot m = 59 + 120 \cdot m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

дают остаток 1 при делении на 2 , остаток 2 при делении на 3 , остаток 3 при делении на 4 , остаток 4 при делении на 5 .

Придавая m в (8) последовательные значения, находим число 59 ($m = 0$), дающее при делении на 6 требуемый остаток 5 .

Тогда числа вида

$$c = 59 + 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot m = 59 + 720 \cdot m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

дают остаток 1 при делении на 2 , остаток 2 при делении на 3 , остаток 3 при делении на 4 , остаток 4 при делении на 5 , остаток 5 при делении на 6 .

Наконец, придавая m в (9) последовательные значения, находим число 2939 ($m = 4$), дающее при делении на 7 требуемый остаток 6 .

Тогда числа вида

$$c = 2939 + 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot m = 2939 + 5040 \cdot m, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (10)$$

дают остаток 1 при делении на 2 , остаток 2 при делении на 3 , остаток 3 при делении на 4 , остаток 4 при делении на 5 , остаток 5 при делении на 6 , остаток 6 при делении на 7 .

Решением задачи будут, например, числа: 2939 , 7979 , 13019 и т.д. (10).

Зарубин М.М.

О МЕТОДЕ ОТЫСКАНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ, ИМЕЮЩИХ ЗАДАННУЮ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОСТАТКОВ ОТ ДЕЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОЛЬНЫЙ КОРТЕЖ

В данной работе не акцентируется вопрос о существовании m_i – считается, что они существуют на каждом шаге алгоритма (если, конечно, поставленная задача имеет решение для заданных кортежей).

По этому поводу отметим следующее.

Так как формула (1) описывает все натуральные числа, дающие остаток b_1 при делении на a_1 , то вопрос существования m_1 сводится к равенству: $b_1 + a_1 \cdot m_1 = b_2 + a_2 \cdot m$, т.е. к линейному диофантову уравнению

$$a_1 \cdot x + a_2 \cdot y = b, \quad (11)$$

где $b = b_2 - b_1$.

Как известно [1], необходимое и достаточное условие разрешимости (11) состоит в том, что b нацело делится на наибольший общий делитель чисел a_1 и a_2 – $\text{НОД}(a_1, a_2)$.

Например, обязательно найдется m_1 для кортежей вида: $\langle a_1 = 15, a_2 = 6, \dots \rangle$, $\langle b_1 = 10, b_2 = 4, \dots \rangle$ или $\langle b_1 = 11, b_2 = 8, \dots \rangle$ и не найдется для кортежей вида: $\langle a_1 = 15, a_2 = 6, \dots \rangle$, $\langle b_1 = 10, b_2 = 5, \dots \rangle$ или $\langle b_1 = 10, b_2 = 8, \dots \rangle$, так как в первом случае $b = b_2 - b_1$ делится нацело на $\text{НОД}(a_1, a_2) = 3$, а во втором – нет.

Таким образом, несуществование числа m_1 для реализации предложенного алгоритма равносильно тому, что для заданных кортежей $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$, $\langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle$ не имеет решения сама поставленная задача.

При $i \geq 2$ аналогичное утверждение для m_i неверно. Причина в том, что формула (4) не обязательно описывает всю совокупность натуральных чисел, обладающих заданным свойством (дающих остатки b_i при делении на a_i), а лишь выделяет бесконечную последовательность таких чисел.

Путем редукции к соответствующим диофантовым уравнениям можно выписать лишь необходимые условия, которым должны удовлетворять компоненты кортежей для того, чтобы поставленная задача имела решение. При этом вопрос существования m_i ($i \geq 2$) для построения последовательности c_m по формуле (4) остается открытым.

Полученные результаты могут быть использованы при решении задач, связанных с поиском оптимального решения в самых различных предметных областях, например оптимизации процессов в металлургии [2], имитационном моделировании [3; 4] и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серпинский, В. О решении уравнений в целых числах / пер. с польск. И. Г. Мельникова. – М.: Физматлит, 1961. – 88 с.
2. Черномас, В. В. Параметрическое трехмерное моделирование установки вертикального литья и деформации металла / В. В. Черномас, С. В. Ланкина, С. Р. Саликов, Н. Ю. Лушников // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2012. – № I-1(9). – С. 90-93.
3. Степаненко, В. Е. Метод прогноза и оценки состояния процессов обеспечения агрегатной сборки стандартизированными материальными ресурсами / В. Е. Степаненко, Д. Н. Фролов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2012. – № I-1(9). – С. 83-89.
4. Приходько, Н. Б. Об исследовании эффективности уменьшения массы крыла унифицированного самолета / Н. Б. Приходько // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2011. – № IV-1(8). – С. 9-11.

Олейников А. И., Овчаров И. О.
A. I. Oleinikov, I. O. Ovcharov

ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УРАВНЕНИЯ СВЯЗИ НАПРЯЖЕНИЙ С ДЕФОРМАЦИЯМИ ДЛЯ ЧУГУНА

CONSTITUTIVE EQUATIONS RELATING STRESSES TO STRAINS FOR CAST IRON



Олейников Александр Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой механики и анализа конструкций и процессов Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия). E-mail: a.i.oleinikov@mail.ru, cvmi@knastu.ru.

Mr. Alexander I. Oleinikov – Doctor of Physics and Mathematics, Head of the Department of Mechanics and Analysis of Structures and Processes, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: a.i.oleinikov@mail.ru, cvmi@knastu.ru.



Овчаров Игорь Олегович – бакалавр по направлению «Прикладная механика» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия). E-mail: igor-reks@mail.ru.

Mr. Igor O. Ovcharov – Bachelor of Applied Mechanics, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: igor-reks@mail.ru.

Аннотация. Рассмотрены простейшие тензорно-нелинейная и тензорно-линейная модели упругости, упругий потенциал которых включает в себя два неаналитических слагаемых второй и четвертой степени однородности. Даны методики определения постоянных этих моделей из экспериментальных кривых деформирования при растяжении и сжатии и построения расчетных диаграмм деформирования. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных диаграмм для серого чугуна при чистом сдвиге и двухосном равномерном и неравномерном растяжении. Для обеих моделей установлена одинаково хорошая согласованность теории и эксперимента, но в случае тензорной линейности среда обладает жесткой характеристикой.

Summary. The paper considers two simplest models of elasticity – the tensor-linear and tensor-nonlinear – whose elastic potential includes two non-analytic summands of the second and fourth degree of homogeneity. The authors propose methods for defining constants of such models proceeding from experimental deformation curves during stretch and compression, and for building calculation diagrams of stress. Comparison is made between the calculated and experimental diagrams for gray iron during uniaxial shear and biaxial tension, both uniform and non-uniform. For either model the similarly satisfactory reconciliation between theory and experiment is demonstrated. However, in the case of tensor-linear medium, as the diagrams show, it possesses a stiff characteristic.

Ключевые слова: упругость, физическая нелинейность, разномодульность, установочные эксперименты, серый чугун.

Key-words: elasticity, material nonlinearity, heteromodular media, setting-out experiments, gray iron.

УДК 539.3

В [1; 2; 3] даны общие формы упругих потенциалов для изотропных гетерогенно-упругих сред. В [4; 5; 6] представлены экспериментальные диаграммы деформирования тонкостенных чугунных цилиндров при различных постоянных соотношениях между осевым и

окружным напряжениями. В данной работе на основании [1; 2; 3] предложены упругие потенциалы и определяющие уравнения связи напряжений с деформациями, которые используются для описания упругого деформирования серого чугуна [4; 5; 6].

В основе чувствительности материала к виду напряженного состояния могут лежать соответствующие возмущения его микроструктуры. Такие возмущения в основном происходят в системе микроповреждений материала и представляют собой, например, изменения формы и размеров дефектов связности и сплошности под воздействием внешних сил. Связь типа возмущения микроструктурного состояния и типа напряженного состояния может являться физической основой гетерогенной сопротивляемости. При этом изменение вида напряженного состояния вызывает изменение деформационных характеристик материала. Данная связь обуславливает также отклонение от линейного закона поведения. При умеренных напряжениях и достаточно малых деформациях этот вид нелинейности для материалов с микронарушениями может быть преобладающим [2].

Экспериментально наблюдаемые отклонения от линейного закона поведения, зависящие от типа напряженного состояния, ослабляют обычные требования о гладкости упругого потенциала, поскольку касательный модуль упругости может скачком изменять свое значение, как это имеет место для простейшего закона гетерогенной упругости – билинейного закона.

Серый чугун является типичным представителем большой группы квазихрупких гетерогенно-упругих материалов, таких как твердые сплавы, углеродистые стали при низких температурах, порошковые сплавы, жесткие полимеры, графиты, бетоны, горные породы [6]. Общепринятой модели поведения этих материалов в настоящее время нет. Разработке и экспериментальному обоснованию теории упругого деформирования данных материалов при сложном напряженном состоянии посвящена эта работа.

Рассмотрим упругий потенциал, следующий как частный случай из общей формы [6] и соответствующий тензорно-нелинейной модели гетерогенно-упругого материала

$$W(\varepsilon) = \frac{1}{2} \lambda I_1^2 + \mu I_2 - \nu I_1 \sqrt{I_2} + \beta I_3 \sqrt{I_2}, \quad (1)$$

где

$$I_1 = \varepsilon_{ij} \delta_{ij}, \quad I_2 = \varepsilon_{ij} \varepsilon_{ij}, \quad I_3 = \varepsilon_{ij} \varepsilon_{jk} \varepsilon_{ki}, \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0, & i \neq j, \end{cases} \quad i, j, k = 1, 2, 3.$$

Для определения материальных констант использовались экспериментальные данные по трубчатым образцам чугуна [2, 4; 5; 6]:

$$\begin{aligned} \sigma_1^+ &= 53 \text{ МПа}, & \sigma_1^- &= -120 \text{ МПа}, \\ \sigma_2^\pm &= 0, & \varepsilon_1^+ &= 0.001, & \varepsilon_1^- &= -0.0015, & \varepsilon_2^+ &= -0.00021, & \varepsilon_2^- &= 0.00048, \\ \sigma_1^0 &= 40 \text{ МПа}, & \sigma_2^0 &= 0, & \sigma_3^0 &= -40 \text{ МПа}, \\ \varepsilon_1^0 &= 0.001, & \varepsilon_2^0 &= -0.000095, & \varepsilon_3^0 &= -0.0005, \end{aligned}$$

где σ^0 и ε^0 соответствуют чистому сдвигу.

Используя потенциальный закон

$$\sigma_{ij} = \frac{\partial W}{\partial \varepsilon_{ij}}, \quad (2)$$

находим определяющие уравнения связи напряжений с деформациями в следующем виде:

$$\sigma_{ij} = \lambda I_1 \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} - \nu \sqrt{I_2} \left(\delta_{ij} + \frac{I_1}{I_2} \varepsilon_{ij} \right) + \beta \sqrt{I_2} \left(3\varepsilon_{jk} \varepsilon_{ki} + \frac{I_3}{I_2} \varepsilon_{ij} \right). \quad (3)$$

При определении констант закона (3) нас интересуют только компоненты $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}$, которые для данных опытов являются главными напряжениями ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$). Ввиду того что

при чистом растяжении и чистом сжатии ($\sigma_1 \neq 0$) $\varepsilon_2^\pm = \varepsilon_3^\pm$, выражения для напряжений σ_2 и σ_3 в этих случаях будут одинаковыми. Таким образом, используя экспериментальные данные только при чистом растяжении и чистом сжатии, мы получим систему из четырёх линейных уравнений для определения констант λ , μ , ν , β :

$$\sigma_n^\pm = \lambda I_1^\pm + 2\mu\varepsilon_n^\pm - \nu\sqrt{I_2^\pm} \left(1 + \frac{I_1^\pm}{I_2^\pm} \varepsilon_n^\pm\right) + \beta\sqrt{I_2^\pm} \left(3\varepsilon_n^{\pm 2} + \frac{I_3^\pm}{I_2^\pm} \varepsilon_n^\pm\right), \quad (n = 1, 2). \quad (4)$$

В результате решения системы (4) в программном пакете MathCad были получены следующие значения материальных констант:

$$\lambda = 28.06 \text{ ГПа}, \quad \mu = 25.47 \text{ ГПа}, \quad \nu = 6.09 \text{ ГПа}, \quad \beta = -1.1 \cdot 10^6 \text{ ГПа}.$$

Чтобы построить теоретические диаграммы деформирования с использованием экспериментальных значений напряжений и найти теоретические значения деформаций, необходимо обратить соотношения (3). Однако разрешение формул (3) в явном виде относительно деформаций представляет большие математические трудности. Поэтому поступали следующим образом: в формулы (3) для $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ подставлялись найденные материальные константы и экспериментальные значения напряжений. Полученная система трёх нелинейных уравнений решалась приближённо в программном пакете MathCad относительно деформаций $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ итерационным методом Левенберга-Маркуардта.

Из зависимости напряжений от деформаций (3) видно, что диаграммы должны представлять собой некоторые кривые. Поэтому для построения этих кривых с экспериментальных зависимостей было взято несколько промежуточных точек. Соответствующие этим точкам напряжения были использованы для нахождения соответствующих компонент деформаций описанным выше способом.

На основании полученных данных были построены теоретические диаграммы деформирования чугуна для чистых растяжения, сжатия и сдвига, а также для двух случаев двухосного растяжения. Диаграммы приведены на рис. 1.

Теперь рассмотрим упругий потенциал, также следующий из общей формы [6] и соответствующий тензорно-линейной модели гетерогенно-упругого материала

$$W(\varepsilon) = \frac{1}{2} \lambda I_1^2 + \mu I_2 - \nu I_1 \sqrt{I_2} + \alpha I_1^3 \sqrt{I_2}. \quad (5)$$

Для определения материальных констант использовались те же экспериментальные данные по трубчатым образцам чугуна, что были приведены выше.

Используя соотношение (2), находим выражение для напряжений, которое записывается в виде

$$\sigma_{ij} = \lambda I_1 \delta_{ij} + 2\mu\varepsilon_{ij} - \nu\sqrt{I_2} \left(\delta_{ij} + \frac{I_1}{I_2} \varepsilon_{ij}\right) + \alpha I_1^2 \sqrt{I_2} \left(3\delta_{ij} + \frac{I_1}{I_2} \varepsilon_{ij}\right). \quad (6)$$

Здесь для определения четырёх констант λ , μ , ν , α также достаточно использовать экспериментальные данные только при чистом растяжении и сжатии. Поэтому нахождение λ , μ , ν , α сводится к решению системы из четырёх линейных уравнений:

$$\sigma_n^\pm = \lambda I_1^\pm + 2\mu\varepsilon_n^\pm - \nu\sqrt{I_2^\pm} \left(1 + \frac{I_1^\pm}{I_2^\pm} \varepsilon_n^\pm\right) + \alpha I_1^{\pm 2} \sqrt{I_2^\pm} \left(3 + \frac{I_1^\pm}{I_2^\pm} \varepsilon_n^\pm\right), \quad (n = 1, 2). \quad (7)$$

В результате решения системы (7) в программном пакете MathCad были получены следующие значения материальных констант:

$$\lambda = 27.16 \text{ ГПа}, \quad \mu = 27.10 \text{ ГПа}, \quad \nu = 24.91 \text{ ГПа}, \quad \alpha = 18.46 \cdot 10^6 \text{ ГПа}.$$

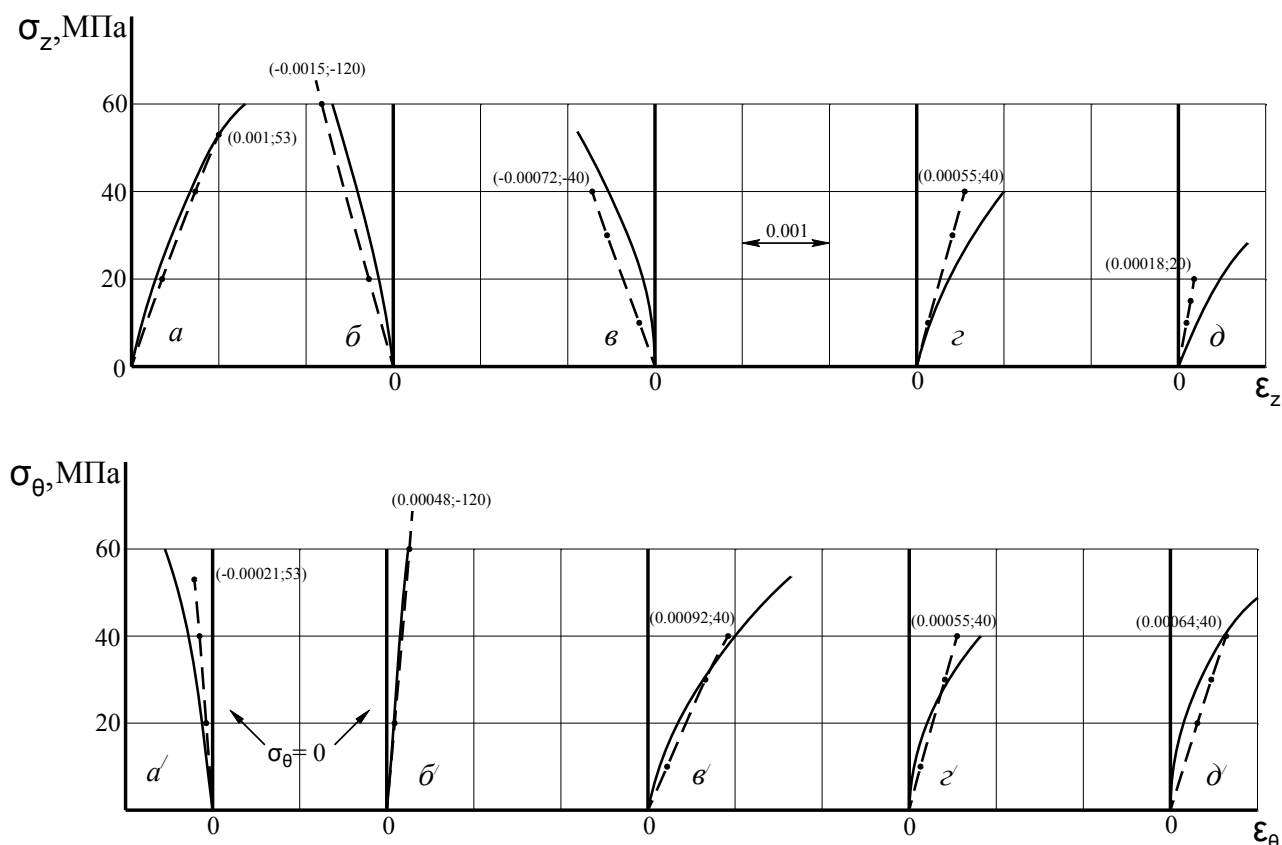


Рис. 1. Диаграммы деформирования чугуна в условиях плоского напряжённого состояния. $k = \sigma_z / \sigma_\theta$, $aa' - k = +\infty$, $bb' - k = -\infty$, $вв' - k = -1$, $гг' - k = 1$, $дд' - k = 0.5$. Сплошные линии – данные эксперимента, пунктирные – расчетные кривые по тензорно-нелинейной модели (3)

Теоретические диаграммы деформирования строились так же, как и в предыдущем случае, на основе экспериментальных значений напряжений и полученных материальных констант для нахождения теоретических значений деформаций решением системы трёх нелинейных уравнений, составленной по (6). Здесь диаграммы также представляют собой некоторые кривые, поэтому с экспериментальных зависимостей было взято несколько промежуточных точек.

Построенные на основании полученных данных теоретические диаграммы деформирования чугуна для чистых растяжения, сжатия и сдвига, а также для двух случаев двухосного растяжения представлены на рис. 2.

Из графиков (*a*), (*а'*), (*б*), (*б'*), (*в*), (*в'*) (см. рис. 1, 2) видно, что в пределах упругости, когда деформации не превышают 0.0005 – 0.001, имеет место хорошая сходимость расчётных и экспериментальных диаграмм, причём как для осевых, так и для тангенциальных деформаций. Наибольшее отличие наблюдается для случая неравномерного двухосного растяжения (*д*), (*д'*) для осевых диаграмм; это может быть обусловлено влиянием пластических деформаций, которые, в отличие от остальных, имели место именно для этого случая [4; 5].

Хорошая сходимость графиков (*в*), (*в'*), (*г*), (*г'*), (*д*), (*д'*) подтверждает способность рассматриваемых моделей гетерогенно-упругого материала описывать механическое поведение чугуна при чистом сдвиге, а также при равномерном и неравномерном двухосном растяжении по результатам испытаний на чистое растяжение и чистое сжатие. Это позволяет использовать данные модели в расчетах на прочность и устойчивость серых чугунов.

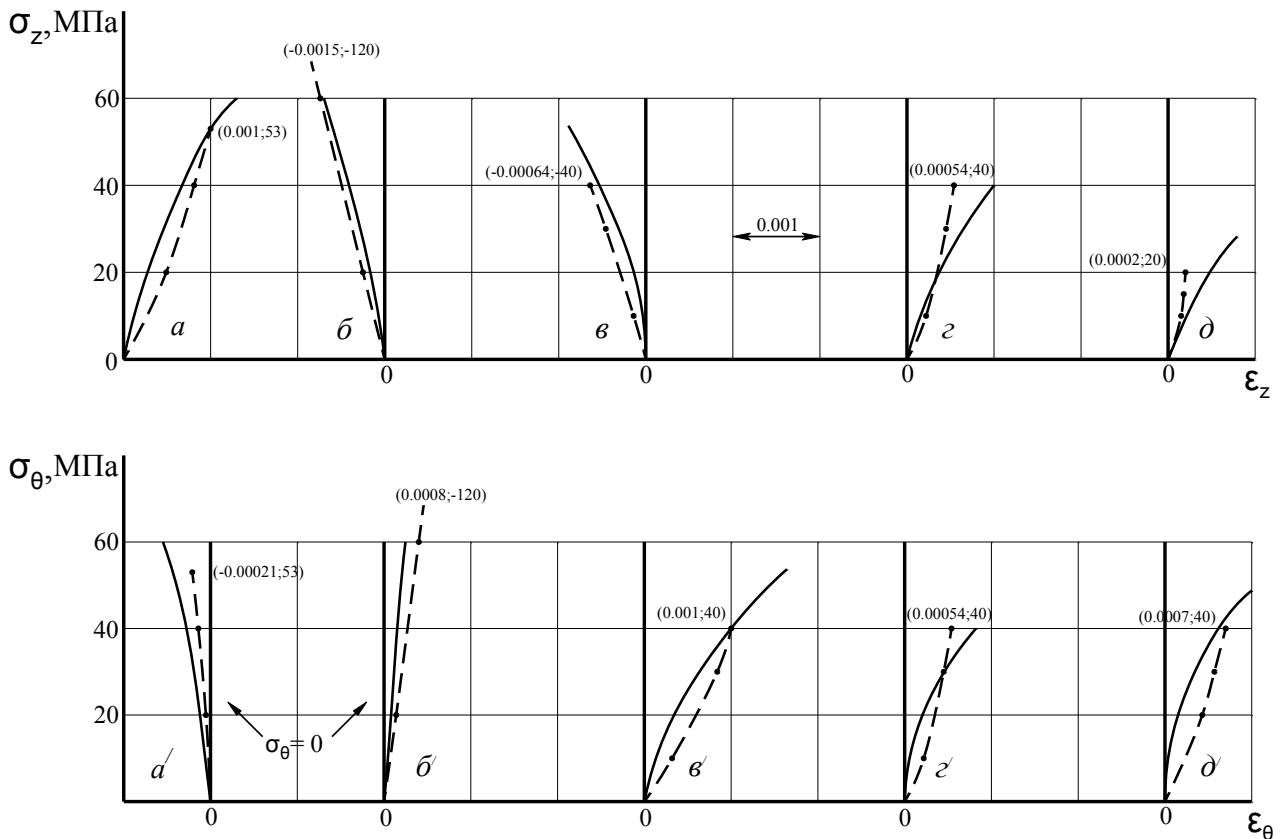


Рис. 2. Диаграммы деформирования чугуна в условиях плоского напряжённого состояния.
 $k = \sigma_z / \sigma_\theta$, $aa' - k = +\infty$, $bb' - k = -\infty$, $vv' - k = -1$, $zz' - k = 1$, $dd' - k = 0.5$.
 Сплошные линии – данные эксперимента, пунктирные – расчётные диаграммы по тензорно-линейной модели (6)

Кроме того, из сравнения соответствующих графиков (см. рис. 1, 2) видно, что в случае тензорно-линейной модели (6) некоторые расчётные диаграммы имеют выпуклость в сторону оси деформаций, тогда как в тензорно-нелинейном случае (3) подобного явления не наблюдается. В этом отношении тензорно-нелинейная модель гетерогенно-упругого материала (1) представляется несколько предпочтительней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олейников, А. И. Основные общие соотношения модели изотропно-упругой разномодульной среды // ПММ. – 1993. – Т. 57. – № 5. – С. 153-159.
2. Мясников, В. П. Основы механики гетерогенно-сопротивляющихся сред / В. П. Мясников, А. И. Олейников. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 172 с.
3. Олейников, А. И. Об описании деформирования гетерогенно-сопротивляющихся материалов // ДАН РАН. – 1998. – Т. 361. – № 6. – С. 773-774.
4. Ковальчук, Б. И. Деформационные свойства серого чугуна при плоском напряженном состоянии в условиях низких температур / Б. И. Ковальчук, А. А. Лебедев // Проблемы прочности. – 1970. – № 37. – С. 9-13.
5. Лебедев, А. А. О коэффициенте поперечной деформации углеродистой стали и серого чугуна при нормальной и низкой температурах / А. А. Лебедев, Б. И. Ковальчук, В. П. Ламашевский // Проблемы прочности. – 1971. – № 3. – С. 51-56.
6. Механические свойства конструкционных материалов при сложном напряженном состоянии / А. А. Лебедев, Б. И. Ковальчук, Ф. Ф. Гигиняк, В. П. Ламашевский. – Киев: Издательский Дом «Ин Юре», 2003. – 540 с.

МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERING

Космынин А. В., Щетинин В. С., Копытов С. М., Ульянов А. В., Хвостиков А. С.
A. V. Kosmynin, V. S. Schetinin, S. M. Kopytov, A. V. Uliyanov, A. S. Khvostikov

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВАЛОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ

IMPROVING ROTOR SHAFTS' ROTATIONAL ACCURACY IN HIGH-SPEED ROTOR SYSTEMS

Космынин Александр Витальевич – доктор технических наук, профессор, декан факультета энергетики, транспорта и морских технологий Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: avkosm@knastu.ru.

Mr. Alexander V. Kosmynin – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Power Engineering, Transport and Marine Technologies, Komsomolsk-on-Amur State Technical University; 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: avkosm@knastu.ru

Щетинин Владимир Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: schetynin@mail.ru.

Mr. Vladimir S. Shchetinin – Doctor of Engineering, Professor, Department of Chemical Production Machinery and Equipment, Komsomolsk-on-Amur State Technical University; 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: schetynin@mail.ru

Копытов Сергей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: skopytov@mail.ru.

Mr. Sergey M. Kopytov - PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-on-Amur State Technical University; 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: skopytov@mail.ru

Ульянов Александр Владимирович – аспирант кафедры «Промышленная электроника» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: Uliyanov2@mail.ru.

Mr. Alexander V. Uliyanov - PhD Candidate, Department of Industrial electronics, Komsomolsk-on-Amur State Technical University; 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: Uliyanov2@mail.ru

Хвостиков Александр Станиславович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: ktm@knastu.ru.

Mr. Alexander S. Khvostikov – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University; 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: ktm@knastu.ru.

Аннотация. Предложены конструкция активной газомангнитной опоры и структура системы управления этой опорой, позволяющие повысить точность вращения ротора.

Summary. The paper suggests a new design for active gas-magnetic bearings and for a control system for such bearings that help improve the rotational accuracy of the rotor.

Ключевые слова: магнитопровод, точность вращения, газомангнитная опора, канал управления, ПИД.

Key-words: magnetic core, rotational accuracy, gas-magnetic bearing, control channel, PID.

УДК 621.822.574

Повышение точности вращения высокоскоростных роторных систем является одной из главных задач современного машиностроения. Например, высокая точность вращения шпинделя при высокоскоростной механообработке позволяет увеличить производительность, требуемую точность, качество изготовления деталей.

В современных роторных системах используют контактные, гидростатические, гидродинамические, магнитные и газовые подшипники. Каждая из этих опор имеет свои преимущества и ограничения в использовании. Решение проблемы повышения точности вращения может осуществляться путем разработки комбинированных опор, сочетающих в себе преимущества разных видов подшипников.

Так, в работе [1], выполненной в ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», было предложено объединить газостатический и магнитный подшипники в новый вид комбинированной опоры – газоманнитную опору (ГМО). В ГМО недостаток газового подшипника, заключающийся в относительно низкой несущей способности, устраняется за счет применения дополнительной магнитной силы. В то же время ограничение магнитного подшипника, заключающееся в необходимости иметь на случай аварийной ситуации страховочный контактный подшипник, устраняется за счет наличия дополнительной газовой поддержки. Предложенное решение позволяет повысить точность вращения и нагрузочную способность шпиндельного узла в целом [2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11].

Для практического подтверждения заявленных преимуществ ГМО авторы провели экспериментальные исследования оригинальной опоры, поперечное сечение которой показано на рис. 1. Данная опора была свободно подвешена в средней части вала опытной установки, что позволяло оценивать влияние различных воздействий на ее характеристики.

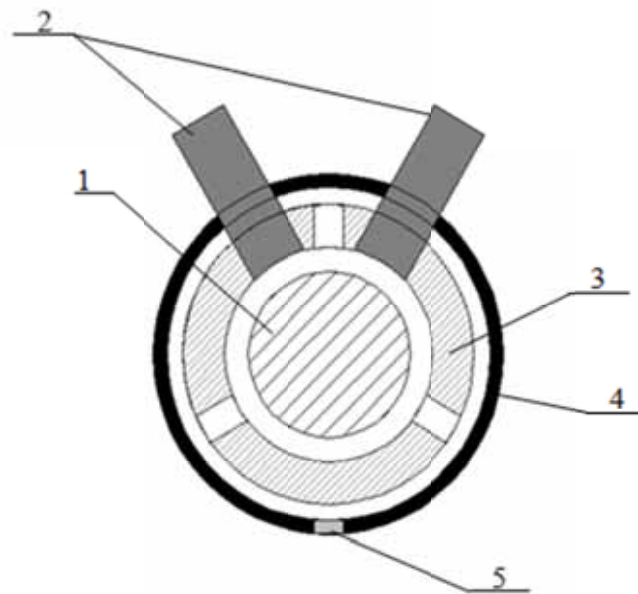


Рис. 1. Поперечное сечение ГМО:

- 1 – вал; 2 – полюса электромагнита; 3 – вкладыш газостатического подшипника;
- 4 – герметичный корпус для создания давления газа; 5 – отверстие для наддува газа

Опора содержала П-образный электромагнит, установленный поперечно оси шпинделя в разгруженной части газостатического подшипника. Через обмотку электромагнита пропускался постоянный ток. Исследовалось влияние на поведение ГМО тока электромагнита, внешней нагружающей силы, скорости вращения вала, давления газа.

Результаты экспериментального исследования поведения ГМО с выключенным и включенным электромагнитом представлены на рис. 2.

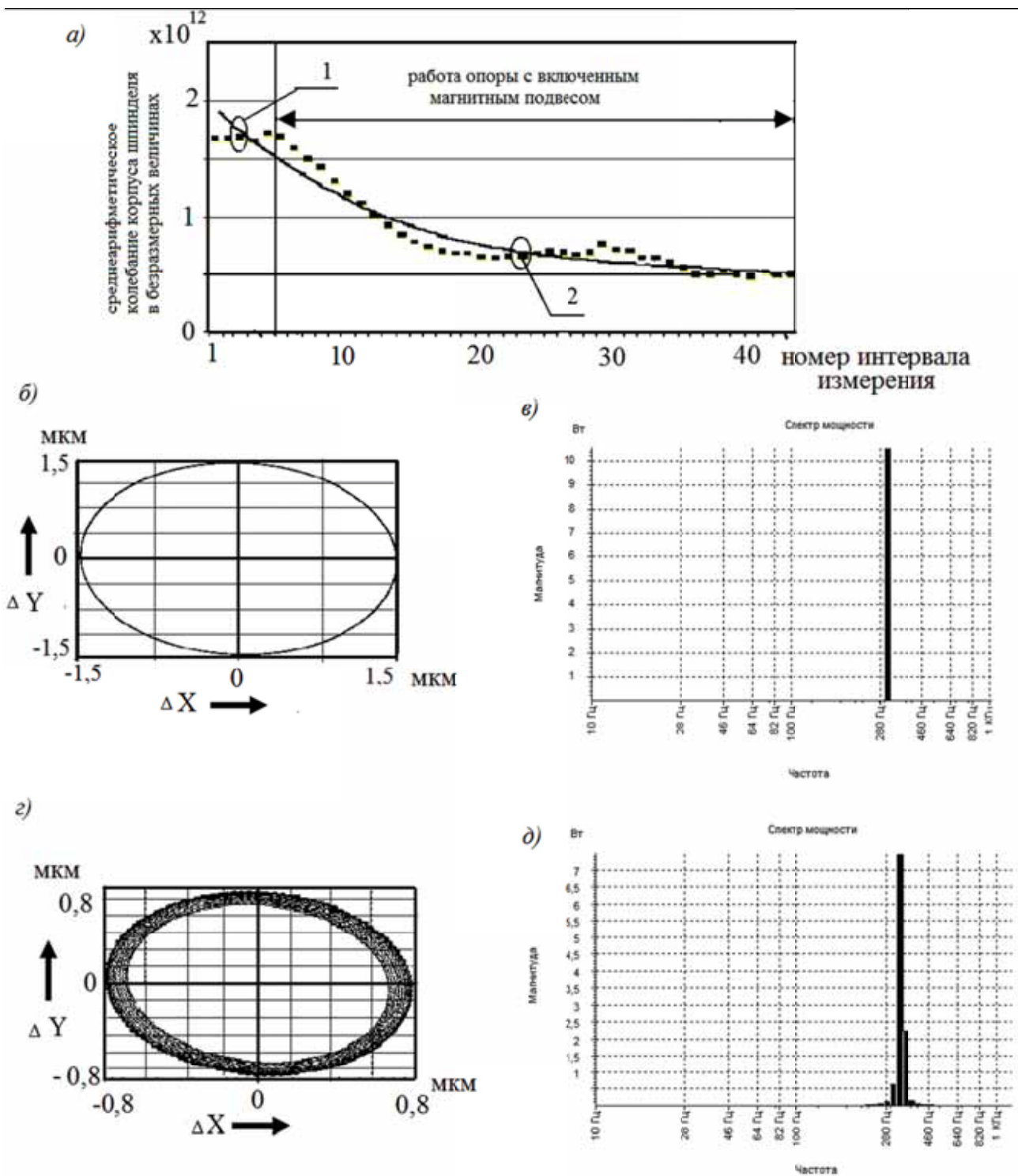


Рис. 2. График уровня вибрации станины шпинделя (а), траектории перемещения оси шпинделя без электромагнита (б) и с электромагнитом (г), частотный спектр мощности сигнала без электромагнита (в) и с электромагнитом (д);

$$n = 25000 \text{ мин}^{-1}; \bar{F}_M = 0,03; F = 50 \text{ Н}; \bar{p}_S = 0,2$$

На рис. 2, а показан график уровня колебаний станины шпиндельного узла в месте установки опоры. Наблюдается, что если задействован электромагнит, уровень вибрации в точке 2 намного ниже, если сравнивать с уровнем вибрации при выключенном магнитном подвесе точки 1. Полученные траектории движения оси шпинделя с выключенным и вклю-

ченным электромагнитом (в точках 1 и 2) изображены на рис. 2, б, г. На рис. 2, в, д, представлен частотный спектр мощности сигнала для точек 1 и 2.

Полученные траектории, а также частотный спектр сигнала показывают, что при вращении шпинделя с включенным электромагнитным подвесом амплитуда и ширина эллипса оси шпинделя уменьшается до 55 %. Можно сделать вывод, что примерно на 45 % повысится точность вращения по сравнению со шпинделем на газостатических опорах.

Дальнейшие исследования в области повышения точности вращения высокоскоростных роторных систем направлены на совершенствование конструкции ГМО и внедрение активного управления опорами с использованием обратных связей.

В результате анализа факторов, влияющих на технические параметры опоры, предложена конструкция ГМО, приведенная на рис. 3.

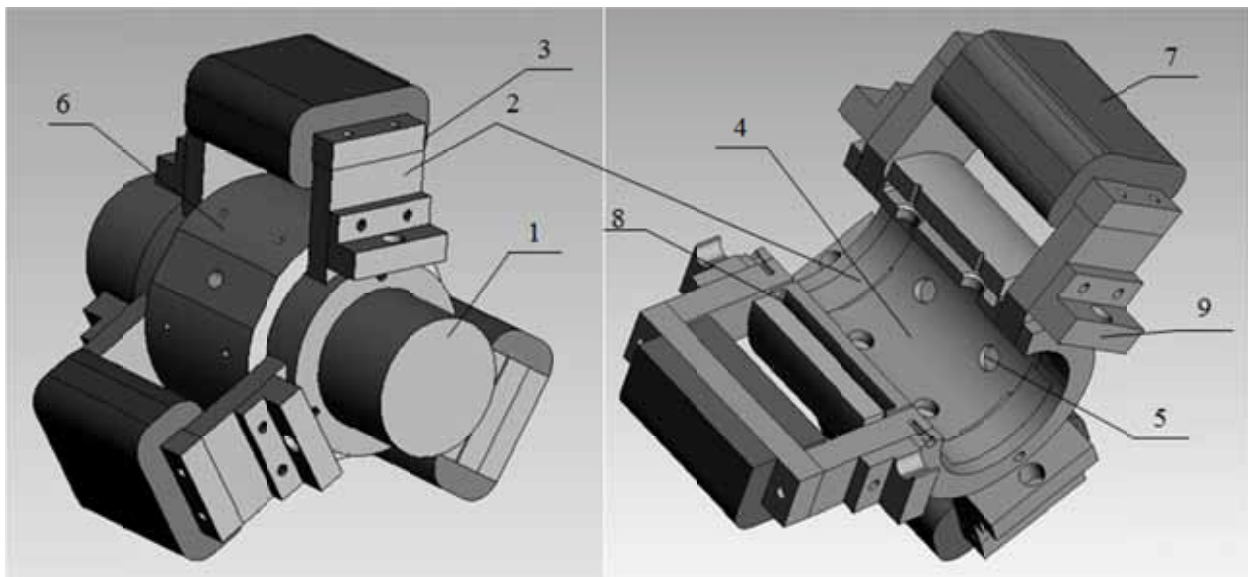


Рис. 3. Внешний вид и разрез ГМО с продольным расположением магнитопроводов:

- 1 – вал; 2 – полюса и 3 – ярмо электромагнита; 4 – вкладыш газового подшипника;
- 5 – отверстия для пористых вставок; 6 – рубашка газового подшипника; 7 – обмотка электромагнита; 8 – камера для подачи газа; 9 – крепления датчиков перемещения

Представленная конструкция имеет три П-образных магнитопровода, охватывающих газостатический подшипник и размещенных вдоль оси вала. Полюса электромагнитов пространственно раздвинуты на 120° по отношению друг к другу. Такая конструкция позволяет получить вектор магнитной силы в любом направлении, перпендикулярном оси вала, создает наименьшие вихревые токи в теле шпинделя, что делает ее эффективной и экономичной. Опора содержит минимально необходимое число конструктивных элементов, компактна и надежна. Соосно с каждым электромагнитом установлен вихретоковый датчик перемещения. Это позволяет использовать три независимых одинаковых контура управления, что в целом упрощает систему управления.

Схема одного канала управления показана на рис. 4.

Общая система управления включает три однотипных канала. Она позволяет повысить точность вращения и стабилизировать положение шпинделя независимо от вектора и величины приложенной нагрузки. Для управления ГМО целесообразно использовать ПИД регулирование с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса.

Предложенная конструкция ГМО улучшает характеристики шпиндельного узла за счет компенсации недостатков газового подшипника (невысокая несущая способность) магнитной силой. В свою очередь, газовый подшипник не требует управления [1], так как он является самоустанавливающимся, поэтому управление жесткостью и точностью вращения га-

зомагнитной опоры осуществляется посредством управления магнитной силой. Предложенная схема управления ГМО позволяет увеличить точность вращения шпинделя. На данный момент в КНАГТУ ведутся работы по улучшению характеристик ГМО.

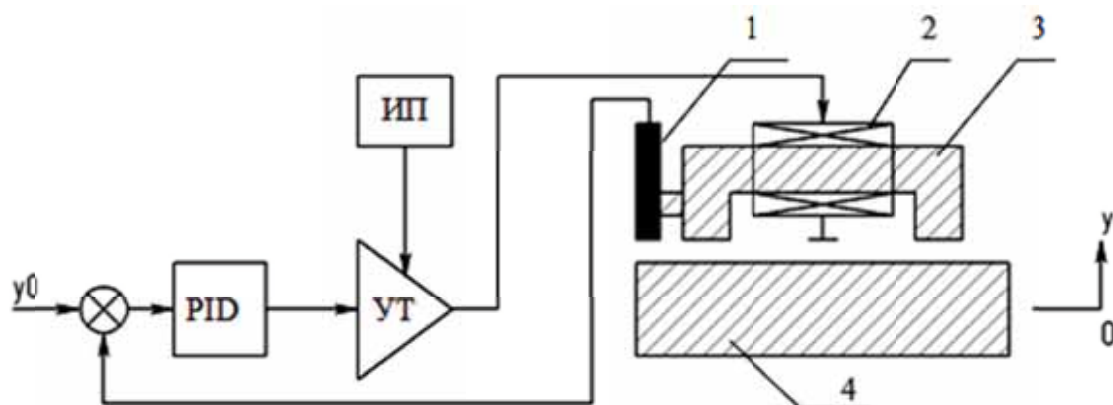


Рис. 4. Структура одного канала управления ГМО с продольным расположением магнитопроводов: y_0 – сигнал задания зазора; PID – регулятор; УТ – усилитель тока; ИП – источник питания; 1 – вихретоковый датчик перемещения; 2 – обмотка электромагнита; 3 – яркость электромагнита; 4 – ферромагнитный вал

ЛИТЕРАТУРА

1. Космынин, А. В. Комбинированная опора шпиндельного узла / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, В. С. Виноградов. – *Фундаментальные исследования*. – 2007. – № 12–1. – С. 83–84.
2. Космынин, А. В. Расчет несущей способности газомангнитных опор высокоскоростных шпиндельных узлов / А. В. Космынин, В. С. Щетинин // *Станки и инструмент*. – 2010. – № 9. – С. 6–8.
3. Космынин, А. В. Эксплуатационные показатели высокоскоростных шпиндельных узлов металлообрабатывающего оборудования с газомангнитными опорами / А. В. Космынин, В. С. Щетинин // *Успехи современного естествознания*. – 2009. – № 11. – С. 69–70.
4. Щетинин, В. С. Математическая модель расчета несущей способности высокоскоростного шпиндельного узла на газомангнитной опоре / В. С. Щетинин, А. В. Космынин // *Трение и смазка в машинах и механизмах*. – 2010. – № 8. – С. 25–27.
5. Космынин, А. В. Стенд для исследования выходных характеристик шпиндельного узла на газомангнитных опорах / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, Н. А. Иванова [и др.] // *Станки и инструмент*. – 2010. – № 5. – С. 8–11.
6. Космынин, А. В. Шпиндельные узлы на газомангнитных опорах / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, Н. А. Иванова // *Фундаментальные исследования*. – 2008. – № 10. – С. 76–78.
7. Космынин, А. В. Влияние размера магнитопровода на характеристики шпиндельного узла с газомангнитной опорой / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, А. С. Хвостиков [и др.] // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 12. – С. 87–89.
8. Космынин, А. В. Влияние магнитной силы в газомангнитных подшипниках на эксплуатационные показатели высокоскоростных шпиндельных узлов металлообрабатывающего оборудования / А. В. Космынин, В. С. Щетинин // *Вестник машиностроения*. – 2010. – № 5. – С. 5–8.
9. Космынин, А. В. Высокоскоростной шпиндельный узел внутришлифовального станка для прецизионной обработки деталей летательных аппаратов / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, А. С. Хвостиков [и др.] // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 8. Ч. 1. – С. 137–138.
10. Космынин, А. В. Применение магнитной силы в газостатических опорах высокоскоростных шпиндельных узлов / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, Н. А. Иванова // *Вестник машиностроения*. – 2009. – № 5. – С. 19–21.
11. Космынин, А. В. Совершенствование высокоскоростных шпиндельных узлов на бесконтактных опорах за счёт применения газомангнитных подшипников / А. В. Космынин, В. С. Щетинин // *Ученые записки КНАГТУ. Науки о природе и технике*. – 2010. – II–1(2). – С. 65–68.

Бреев С. В., Серебренникова А. Г.
S. V. Breev, A. G. Serebrennikova

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ. 1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

HIGH SPEED MILLING OF PROBLEM MATERIALS: 1. KEY FEATURES AND PROPERTIES OF MILLING OPERATION



Бреев Сергей Валерьевич – кандидат технических наук, инженер-технолог научно-производственного отдела филиала ОАО «Компании «Сухой» Комсомольский-на-Амуре авиационный завод им Ю.А. Гагарина» (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681018, Комсомольск-на-Амуре, ул. Советская, 1. E-mail: breevsv@mail.ru
Mr. Sergey V. Breev – PhD in Engineering, Process Control Engineer, Research and Production Department, Yuri Gagarin Aviation Plant, JSC "SUKHOI"; 681018, Komsomolsk-on-Amur, 1st Sovetskaya Str. E-mail: breevsv@mail.ru



Серебренникова Анжела Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: S_angel@kmscom.ru
Ms. Anzhela G. Serebrennikova – PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering Technology; 681013, 27 Lenina Pr.. E-mail: s_angel@kmscom.ru

Аннотация. Данная статья начинает цикл из трёх статей, в котором будет показано современное состояние фрезерной обработки труднообрабатываемых материалов. Цель данного цикла работ: отразить «слабые» разработанные стороны процесса фрезерования на сегодняшний день. В первой статье в качестве особенностей фрезерной обработки предложено считать переменность толщины срезаемого слоя, чередование холостого и рабочего ходов каждого зуба фрезы, переменность длины контакта по ленточке зуба из-за наличия угла наклона винтовой канавки. Показано отсутствие в настоящее время единых критериев для определения обрабатываемости и «начальной точки» высокоскоростного резания.

Summary. The present paper begins a series of three in which state-of-the-art milling operation processes on hard-to-machine materials will be presented and described. The purpose of the series will be to consider the weak sides and aspects of the milling process, as they are viewed today. In the first paper we suggest that: variability of the thickness of the chipped layer, alternation of idle runs and strokes of each tooth, variability of contact length on the tooth band due to spiral flute inclination – are to be considered the key features and properties of milling as a machining process. We demonstrate that today there are known no uniform criteria for defining machinability and the «starting point» of high-speed cutting.

Ключевые слова: титан, коррозионностойкие стали, труднообрабатываемые материалы, фрезерование, скорость деформации, напряжение текучести, радиус скругления, износ, стружка.

Key-words: titanium, rust-resisting steels, hard-to-machine materials, milling, strain rate, yield stress, spherical radius, wear, swarf.

УДК 621.91.01

Введение

Общей тенденцией машиностроения является расширение области применения материалов с высокими механическими (прежде всего, пределом прочности, пределом текучести, пределом твердости, пределом вязкости и др.) и эксплуатационными характеристиками (жаростойкостью, жаропрочностью, износостойкостью и т.д.). К материалам с такими свойствами относятся сплавы на основе титана и коррозионностойкие стали, которые известны как труднообрабатываемые.

Обработка резанием является основным методом получения различных деталей и составляет до 80 % от общей трудоемкости изготовления различных изделий. Наиболее распространенным видом обработки резанием является фрезерование.

Фрезерная обработка деталей из труднообрабатываемых материалов сопряжена с высокой трудоемкостью и затратами на инструмент. Доля затрат на инструмент (см. рис. 1) в структуре себестоимости детали достигает до 42 %. В натуральном выражении это составляет сотни тысяч рублей. Поэтому проблема повышения эффективности фрезерования труднообрабатываемых материалов является важной и актуальной задачей как с практической, так и с научной точки зрения.

К тому же существует ряд научных задач в области фрезерования труднообрабатываемых материалов, требующих решения для дальнейшего развития этой сферы. К ним относятся, прежде всего, описание поведения материалов в зоне обработки при реально применяемых скоростях резания, установление критерия для определения зоны высокоскоростного резания (ВСО), определение причин труднообрабатываемости и методов снижения их влияния или полного исключения и ряд других задач.

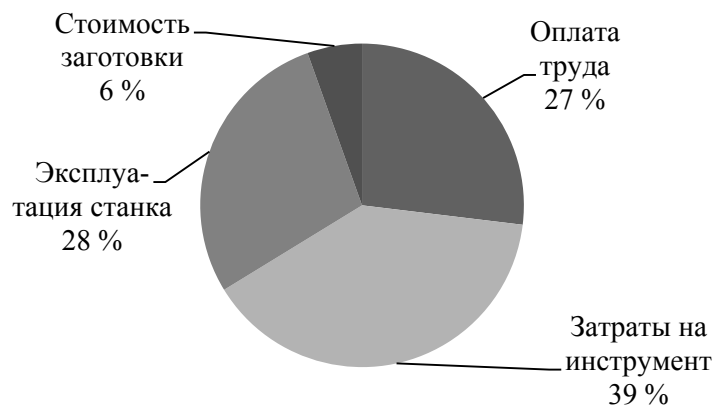


Рис. 1. Структура себестоимости детали

В процессе анализа основных источников литературы, выявлены следующие особенности фрезерования [3, 18]:

- переменность толщины срезаемого слоя $a = f(t)$;
- чередование холостого и рабочего ходов каждого зуба фрезы;
- переменность длины контакта по ленточке зуба из-за наличия угла наклона винтовой канавки.

Рассмотрим первый параметр.

1. Переменность толщины срезаемого слоя $a = f(t)$

Переменность толщины срезаемого слоя вызывает переменность во времени всех основных показателей процесса резания: интенсивность скоростей деформации, накопленная деформация, сила резания, усадка стружки, температура резания и т.д. В новой теории резания, изложенной в работах [3, 4], данные показатели зависят от времени t , а зависимость от времени t и толщины срезаемого слоя a внесет значительные изменения в построенную модель новой теории резания.

Из этих же работ известно, что напряжение текучести σ_s зависит от множества факторов, в том числе от интенсивности скоростей деформации $\dot{\varepsilon}$, накопленной деформации ε , температуры в зоне обработки t° и толщины срезаемого слоя a , т.е. является функцией многих переменных $\sigma_s = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, t^\circ, a)$. При фрезеровании эти переменные могут отличаться в десятки раз с течением очень короткого (десятые и даже сотые доли секунды) интервала времени t . Это исключает описание процесса резания при фрезеровании усредненными параметрами, как это иногда встречается в литературе (например, работы [4, 5]).

Анализ совокупности математических зависимостей работ [3, 4] показывает, что изменение толщины срезаемого слоя a приводит к изменению свойств обрабатываемого материала по ходу внедрения режущего клина в обрабатываемую поверхность.

Физически время резания τ_m при фрезеровании определяется формулой [2]

$$\tau_m = \frac{30 \cdot \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot t}{D}\right)}{\pi \cdot n}, \quad (1)$$

где t – глубина резания, мм; D – диаметр фрезы, мм; n – частота вращения шпинделя, мин^{-1} .

При практически применяемых режимах обработки время контакта каждого зуба фрезы с заготовкой составляет десятые (а иногда и сотые) доли секунды. Таким образом, вопросы об изменении свойств обрабатываемого материала, наличии фазовых превращений непосредственно в процессе контакта зуба фрезы с заготовкой и, соответственно, вопрос о необходимости такого учета этих параметров остаются открытыми.

С другой стороны, переменная толщина срезаемого слоя a дает возможность эффективно управлять условиями стружкообразования, так как гидростатическое давление σ , определяющее предельную деформацию разрушения e_p , зависит от a .

Толщина срезаемого слоя при встречном цилиндрическом фрезеровании описывается выражением [12]:

$$a = \begin{cases} S_z \sin\left(\frac{\pi n}{30} \tau\right), 0 \leq \tau < \tau_{kp} \\ \left(S_z - \frac{D \sin\left(\frac{\pi n}{30} \tau - \theta_{kp}\right)}{2 \cos\left(\alpha_k + \frac{\pi n}{30} \tau\right)} \right) \frac{\sin \beta_{kp}}{\cos\left(\alpha_k - \beta_{kp} + \frac{\pi n}{30} \tau\right)}, \tau_{kp} \leq \tau \leq \tau_m \end{cases}, \quad (2)$$

где S_z – подача на зуб, мм/зуб; n – частота вращения шпинделя, мин^{-1} ; τ – момент изменения толщины срезаемого слоя, с;

$\tau_{kp} = \frac{30\theta_{kp}}{\pi n}$ – момент изменения толщины срезаемого слоя при встречном фрезеровании, с;

$\theta_{kp} = \theta_m - \alpha_k$ – критический угол контакта, рад;

$\alpha_k = \arcsin \frac{2S_z \cos \theta_m}{\sqrt{4S_z^2 + D^2 + 4DS_z \sin \theta_m}}$ – угол перегиба, рад;

$\beta_{kp} = \theta_m - \arccos \frac{L \sin \alpha_k}{S_z \sqrt{1 + \sin^2 \theta_{kp} - 2 \sin \theta_m \sin \theta_{kp}}}$ – угол сегмента, рад. Здесь

$$L = \frac{\sqrt{4S_z^2 + D^2 + 4DS_z \sin \theta_m}}{2}.$$

Совокупность формул (1) и (2) дает расчетное значение толщины срезаемого слоя a в произвольный момент времени при любых значениях элементов режима обработки: подачи на зуб, глубины резания и числа оборотов.

В случае попутного сочетания движений резания и подачи толщина срезаемого слоя в произвольный момент времени описывается выражением

$$a = \begin{cases} \left(S_z - \frac{D \sin\left(\alpha_k - \frac{\pi n}{30} \tau\right)}{2 \cos\left(\frac{\pi n}{30} \tau - \theta_m - \alpha_k\right)} \right) \frac{\sin \beta_{kp}}{\cos\left(\theta_{kp} - \beta_{kp} + \frac{\pi n}{30} \tau\right)}, 0 \leq \tau < \tau_\alpha \\ S_z \sin\left(\theta_{kp} - \frac{\pi n}{30} \tau\right), \tau_\alpha \leq \tau \leq \tau_m \end{cases} \quad (3)$$

где $\tau_\alpha = \frac{30\alpha_k}{\pi n}$ – момент изменения зависимости толщины срезаемого слоя при попутном фрезеровании, с.

Таким образом, гидростатическое давление σ по ходу резания изменяется, и предельная деформация e_p , при которой происходит разрушение, также является переменной. Учитывая то, что толщина срезаемого слоя a зависит только от элементов режима резания (прежде всего подачи на зуб S_z), это обстоятельство позволяет за счет изменения режима обработки управлять даже частотой стружкообразования.

Однако полученные в работах [3, 4] зависимости сталкиваются с серьезным препятствием для их широкого практического применения – отсутствием обширного спектра точных зависимостей напряжения текучести σ_s от основных параметров для большинства практически применяемых материалов вида $\sigma_s = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, t^o, a)$.

Экспериментальных данных $\sigma_s = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, t^o, a)$ для расчетов по зависимостям в работах [3, 4] нет.

Скорость деформации $\dot{\varepsilon}$ при практически применяемых режимах фрезерования в десятки тысяч раз превосходит соответствующий параметр, для которого получены основные зависимости вида $\sigma_s = f(e)$ (кривая упрочнения), $\sigma_s = f(t^o)$ и $\sigma_s = f(a)$, которая вообще учитывается крайне редко, несмотря на обилие справочных данных. Задача получения единой зависимости $\sigma_s = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, t, a)$ является крайне сложной, так как происходящие фазовые превращения в материалах в процессе испытаний значительно меняют как сами свойства, так и характер зависимостей [10]. Например, известный факт наличия экстремума на кривой зависимости напряжения текучести от температуры проявляется только в сплавах и обусловлен именно наличием фазовых превращений.

Конечно, можно исключить данный фактор, исследуя чистые металлы либо сплавы, в которых фазовые превращения не происходят, однако практическая ценность такой работы будет невелика, так как реальное промышленное производство работает в основном со сплавами, упрочняемыми термообработкой с последующим старением. Не следует также забывать о том, что фазовые превращения непосредственно в процессе резания данным зубом фрезы могут и не успеть произойти, поэтому о широком практическом применении указанных зависимостей, несмотря на их значительную и неоспоримую научную ценность, говорить рано.

С точки зрения изменения свойств обрабатываемого материала в процессе резания, фрезерование имеет еще одну важную особенность: последующий зуб фрезы работает уже по упрочненной пластическим деформированием поверхности, свойства которой сформированы при работе предыдущим зубом. При этом большая часть поверхности будет удалена со стружкой, а свойства материала обработанной поверхности определяются повторным деформированием уже обработанной поверхности [6].

Формирование упрочненной обработанной поверхности, получаемой в результате пластического деформирования, показано на рис. 2. Траектория движения первого зуба фрезы

формирует поверхность, обозначенную линией I, а граница упрочненного слоя при этом будет проходить по линии I₁. Следующий за первым зуб фрезы образует поверхность II и формирует упрочненный пластическим деформированием слой до линии II₁. По линии II_р располагается граница разделения обрабатываемого материала на поток, деформируемый скругленной частью лезвия, и поток, переходящий в стружку, положение которой определяется по эквидистанте к линии II со смещением на величину радиуса скругления ρ . Границы упрочненного слоя I₁ и II₁ располагаются эквидистантно линиям I и II соответственно. Упрочненный пластическим деформированием слой в зоне ACBD дважды подвергается пластическому деформированию, причём, если величина слоя АВ превосходит подачу на зуб, то полученная поверхность будет всецело состоять из фрагментов дважды деформированного материала.

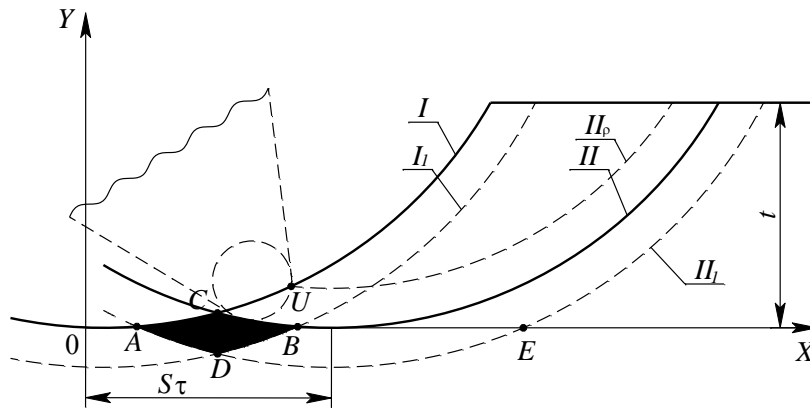


Рис. 2. Схема образования дважды деформированных фрагментов

2. Чередование холостого и рабочего ходов каждого зуба фрезы

Чередование холостого и рабочего ходов, периодичность не только механической, но и тепловой нагрузки, а также резкое её снятие (в случае встречного фрезерования) или возникновение (при попутной схеме) выдвигают целый ряд требований к инструментальному материалу: выносливость, теплостойкость, оптимальное значение коэффициента линейного расширения. Как показано в работе [7], основной причиной выхода из строя твердосплавного режущего инструмента является его растрескивание из-за резкого перепада температур при изменении холостого хода на рабочий (или наоборот).

Влияние чередования ходов на характер износа режущего инструмента

Другой особенностью фрезерования труднообрабатываемых материалов, вскрываемой практикой, является значительно отличающийся характер износа режущего инструмента. В работе В.Ф. Боброва [2] указывается, что износ режущего клина происходит на некотором удалении от непосредственной зоны стружкообразования, в зоне, равной примерно половине номинальной длины контакта (см. рис. 3), что объясняется наличием заторможенного слоя. Такая схема износа действительно реализуется, например, при точении (см. рис. 4, з) однако при фрезеровании мы наблюдаем другую картину.

Приведенные на рис. 4, а – в фотографии изношенных режущих кромок фрезерного инструмента показывают наличие износа по всей эффективной длине контакта.

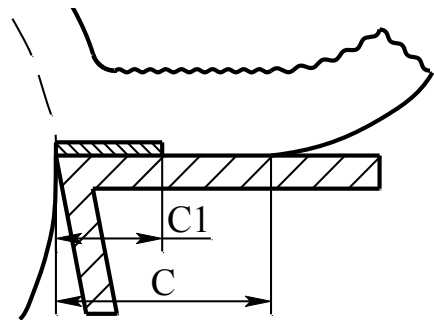


Рис. 3. Два участка трения на передней поверхности [3]

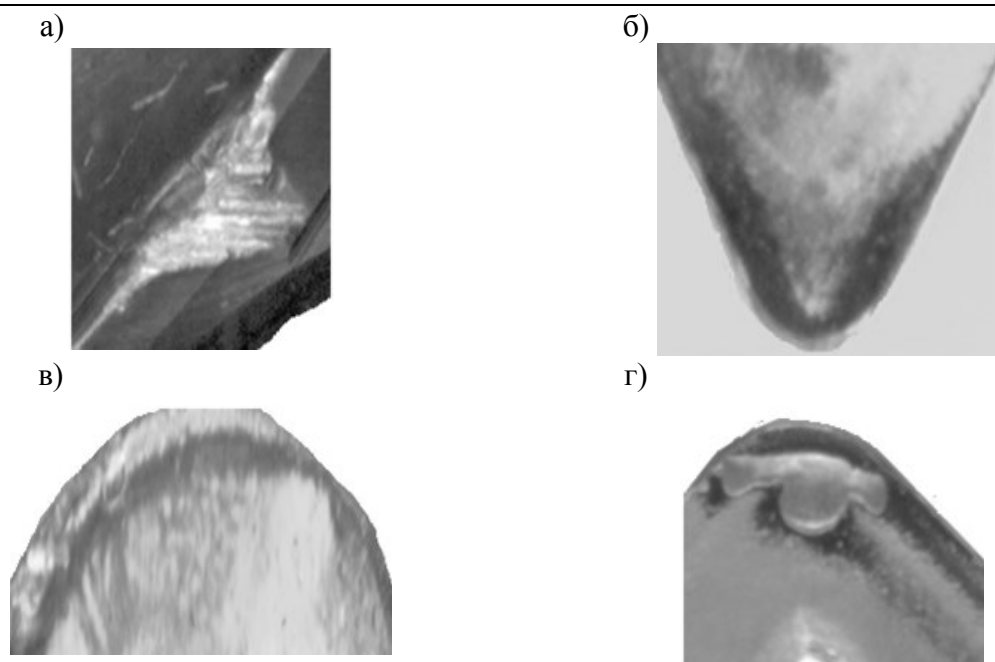


Рис. 4. Фотографии изношенных режущих кромок (увеличение $\times 25$): а – концевая фреза (4,22 ч обработки сплава ВТ-23); б – сменная пластина сборной фрезы (3,6 ч обработки стали 12Х18Н10Т); в – сменная пластина сборной фрезы (18,6 ч обработки сплава В-950чТ2); г – сменная пластина сборного резца (3,3 ч обработки стали 30ХГСН2А)

Такой характер износа обусловлен особенностями эксплуатации фрезерного инструмента. Какой бы способ сочетания движений (встречно или попутно) не был реализован, характер износа не меняет указанной особенности. При встречном фрезеровании стружкообразованию предшествует пластическое деформирование [6, 8] обрабатываемой поверхности (см. рис. 2). При выполнении условия превышения толщиной срезаемого слоя a радиуса скругления режущего клина ρ либо при достижении предельного значения деформации разрушения e_p образуется «опережающая» трещина или разрыхленная область в зависимости от свойств обрабатываемого материала. При попутном фрезеровании зуб фрезы начинает свою работу с ударного врезания с максимальным значением толщины срезаемого слоя и, соответственно, с максимальной нагрузки, постепенно уменьшающейся до нуля.

Оба варианта сочетания движения приводят к тому, что наибольшие нагрузки испытывает зона C_1 , что и приводит к такой особенности износа.

Особенности применения СОТС из-за наличия чередования холостых и рабочих ходов

Все приведенные выше особенности фрезерной обработки обуславливают и технологические особенности подачи смазывающе-охлаждающих технологических сред (СОТС). Традиционная подача СОТС поливом с небольшим давлением (вплоть до «самотека») в случае фрезерования оказывается малоэффективной, а иногда даже оказывает негативное влияние из-за резкого перепада температур (эффект «теплового» удара) [7].

Давление стружки на переднюю поверхность режущей кромки в десятки раз превосходит «грузоподъемность» СОТС, что приводит к отсутствию её непрерывного слоя между трущимися поверхностями. Таким образом, СОТС может находиться в зоне обработки в мелкодисперсном капиллярном состоянии в виде тумана. Из практики фрезерной обработки известно, что такой способ подачи СОТС хорошо сказывается на обрабатываемости отожженных алюминиевых сплавов (значительно улучшается шероховатость), где основной целью СОТС



является именно смазывание, и практически не дает положительного результата при обработке титановых сплавов, жаропрочных и жаростойких сталей.

Исследования, проводимые в области эффективности применения СОТС при фрезеровании, показывают, что СОТС охлаждает в основном свободную поверхность стружки, а на режущую кромку попадает в процессе совершения ею холостого хода. Это способно вызвать «тепловой удар», слишком резко охладив рабочую часть инструмента [7]. Под «слишком резким охлаждением» – «тепловым ударом» – здесь понимаются такие условия охлаждения, при которых происходит тепловое растрескивание режущей пластины из-за инертности теплового расширения.

При обработке карманов, колодцев, люков и других закрытых конструктивных элементов (например, малок) СОТС свободно располагается в них. Инструмент, буквально «купаясь» в СОТС, не испытывает значительных тепловых перепадов, поэтому в данном случае традиционная подача поливом является оптимальной.

Современный фрезерный инструмент производства таких фирм, как Sandvik Coromant, Walter, Iscar, Ingersol, производится с учетом этих особенностей – в нем предусмотрена возможность внутреннего подвода СОТС через специальные отверстия в корпусе инструмента. Это позволяет доставлять СОТС максимально близко к зоне обработки, а высокое её давление (в некоторых современных станках реализовано рабочее давление СОТС до 80 атм.) способно дополнительно изгибать стружку, частично выполняя роль стружколома. Однако такой инструмент в среднем на 40 % дороже аналогичного без внутреннего подвода СОТС и может быть применен только в станках кабинетного типа, реализующих такую возможность. Российские же производители такой инструмент вообще не выпускают.

Таким образом, вопрос об оптимальной (в том числе и с экономической точки зрения) подаче СОТС при обработке открытых поверхностей, при работе на станках с неизолированной рабочей зоной остается открытым.

3. Переменность длины контакта по ленточке зуба из-за наличия угла наклона винтовой канавки

Данная особенность отсутствует у фрез с «прямым» зубом, однако необходимо учитывать, что все выпускаемые для производства фрезы имеют винтовой наклон, за исключением специально спроектированных фрез для исследовательских целей. Наличие винтового наклона зуба фрезы смягчает удар при врезании, снижает силу резания, время переходного процесса, способствует гашению вибраций, снижает общую нагрузку на шпиндель при обработке несколькими зубьями одновременно. Отрицательной стороной наличия винтового зуба является сложность его изготовления.

Одной из основных нерешенных проблем является выбор оптимального значения данного угла. При разработке конструкции фрезерного инструмента в российской промышленности принято использовать справочники (например [9]), в которых приведены данные о значении таких углов при обработке различных материалов, полученные, вероятно, опытным путем. Фрезы производства зарубежных фирм спроектированы таким образом, что каждый зуб имеет свой угол наклона винтовой канавки. Практика использования таких инструментов показывает значительно меньшую вероятность возникновения вибрации при обработке. Обоснование применения таких углов является интеллектуальной собственностью производителей и в открытой печати не раскрывается.

Таким образом, главной задачей в этой области является исследование влияния угла винтовой канавки на процесс резания и определение его оптимальных значений.

Наиболее остро все указанные особенности фрезерования проявляются при резании труднообрабатываемых материалов.

Выводы:

1. Высокоскоростное фрезерование имеет ряд особенностей, особенно остро проявляющихся при обработке труднообрабатываемых материалов: переменность толщины срезаемого слоя, цикличность рабочего и холостых ходов, переменность длины контакта по зубу.

2. Несмотря на наличие множества разработок в области ВСО, на практике такой вид обработки применяется только для легких сплавов и высокотвердых сталей, причем, главные положительные эффекты ВСО сталей заключаются не в повышении производительности, а в упрощении технологического процесса за счет исключения самоотпуска обрабатываемой поверхности. Практического применения стратегии высокоскоростной обработки труднообрабатываемых материалов, отличающихся высокой вязкостью, нет.

3. Множество критериев обрабатываемости материала могут давать противоречивую информацию, поэтому необходима разработка единого комплексного критерия обрабатываемости материала, дающего всю практически необходимую информацию: стойкость инструмента, производительность обработки, экономичность и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
2. Бреев, С. В. Математическое моделирование изменения силы резания при фрезеровании // Автоматизация машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы второй международной научно-технической конференции. Т. 1. – Вологда: ВоГТУ, 2006 – 231 с.
3. Воронцов, А. Л. Разработка новой теории резания. 5. Определение кинематического, напряженного и деформированного состояния заготовки / А. Л. Воронцов, Н. М. Султан-Заде, А. Ю. Албагачиев // Вестник машиностроения. – 2008. – № 5. – С. 61-69.
4. Воронцов, А. Л. Разработка новой теории резания. 6. Определение основных параметров процесса резания / А. Л. Воронцов, Н. М. Султан-Заде, А. Ю. Албагачиев // Вестник машиностроения. – 2008. – № 6. – С. 64-70.
5. Высокопроизводительная обработка резанием. – М.: Полиграфия, 2003. – 301 с.
6. Ким, В. А. Шероховатость обработанной поверхности при цилиндрическом фрезеровании / В. А. Ким, Е. Б. Щелкунов, С. В. Бреев // Ученые записки КнАГТУ. Науки о природе и технике. – 2010. – № I-1(1). – С. 62-66.
7. Подпоркин, В. Г. Фрезерование труднообрабатываемых материалов / В. Г. Подпоркин, Л. Н. Бердник. – 2-е изд., перераб и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983. – 136 с.
8. Подураев, В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов: учеб. пособие для вузов / В. Н. Подураев. – М.: Высшая школа, 1974. – 476 с.
9. Справочник конструктора-инструментальщика / под общ. ред. В. А. Гречишникова и С.В. Кирсанова. – 2-е изд., перераб, и доп. – М.: Машиностроение, 2006. – 542 с. (Библиотека конструктора)
10. Теория пластических деформаций металлов / Е. П. Унсков, У. Джонсон, В. Л. Колмогоров [и др.]; под ред. Е. П. Унскова, А. Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1983 – 598 с.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
METALLURGY AND MATERIALS TECHNOLOGY

Дмитриев Э. А., Рыбалкин А. А., Матвеев С. Е.
E. A. Dmitriev, A. A. Rybalkin, S. E. Matveev

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА
С ШАРОВИДНОЙ ФОРМОЙ ГРАФИТА ПОСЛЕ ПРОКАТКИ**

**STUDY OF THE STRUCTURE OF HIGH DUTY CAST IRON WITH SPHERICAL
GRAPHITE, AS ROLLED**

Дмитриев Эдуард Анатольевич – доктор технических наук, профессор, проректор по инновационной работе Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: innov@knastu.ru

Mr. Eduard A. Dmitriev – Doctor of Engineering, Professor, Provost for Innovation, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (city of Komsomolsk-on-Amur, Russia). E-mail: innov@knastu.ru

Рыбалкин Антон Андреевич – аспирант кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mmc727@rambler.ru

Mr. Anton A. Rybalkin – PhD Candidate, Department of Foundry Industrial Machinery and Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (city of Komsomolsk-on-Amur, Russia). E-mail: mmc727@rambler.ru.

Матвеев Сергей Евгеньевич – аспирант кафедры «Материаловедение и технология новых материалов» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sergkms_89@mail.ru

Mr. Sergey E. Matveev – PhD Candidate, Department of Materials and New Materials Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (city of Komsomolsk-on-Amur, Russia). E-mail: sergkms_89@mail.ru.

Аннотация. Проведены микроструктурные исследования образцов из высокопрочного чугуна после прокатки. Изучено влияние деформации на значение микротвердости.

Summary. The paper presents the results of a study of samples of high duty cast iron as rolled. The problem of the impact of deformation upon the micro hardness value is analyzed.

Ключевые слова: высокопрочный чугун, прокатка, микроструктура, микротвердость, степень деформации.

Key-words: high duty cast iron, rolling, microstructure, micro hardness, deformation ratio.

УДК 621.74:669.131

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ) широко применяется в машиностроении для изготовления литых деталей. Деформирование литых изделий из ВЧШГ позволяет значительно улучшить свойства чугуна и тем самым повысить надежность и долговечность полученных из него изделий [1].

Методика проведения исследований

Для исследования изменения микроструктуры ВЧШГ в зависимости от степени деформации при прокатке использовали образцы из чугуна марки ВЧ-35 ГОСТ 7293-85, химический состав приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемого образца

В процентах

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mg
3,42	2,02	0,34	0,02	0,05	0,03	0,67	0,041

Исходный размер заготовки в поперечном сечении составлял 21 мм (см. рис. 1). Перед прокаткой образцы разогревали в печи до температуры 1000 – 1100 °С. При данной температуре в чугуна происходит завершение превращения перлита в аустенит, происходит рост пластичности, достигающий максимального значения, что связано с растворением значительной части графита [2].

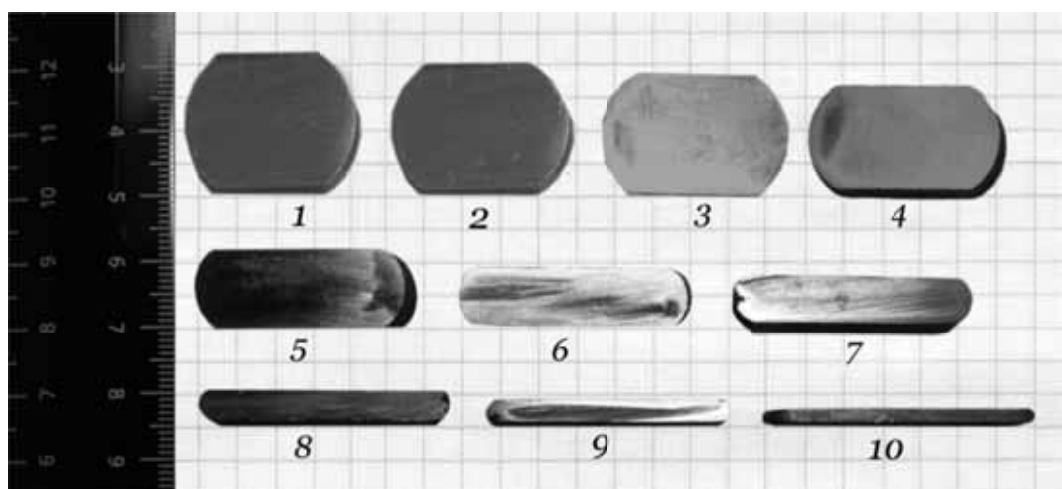


Рис. 1. Поперечное сечение образцов:
1 – исходный литой образец; 2 – 10 – прокатанные образцы

Средняя степень деформации образцов при каждом проходе составляет 10,05 %. Максимальная степень деформации у образца 10 (см. рис. 2) составила 90,5 %.

Степени деформации девяти переходов представлены на рис. 2.



Рис. 2. Степень деформации образцов

Результаты исследований и их обсуждение

Структурные исследования выполняли на растровом электронном микроскопе HITACHI S3400N. Микроструктуру чугуна после деформации исследовали в областях 1 и 2 в травленном состоянии на поперечных шлифах (см. рис. 3). Изготовление и травление шлифов про-

водилось по стандартным методикам, в качестве травильного раствора использовали 5-процентный раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Одной из важнейших характеристик, определяющей физико-механические свойства чугуна, является форма графитовых включений.

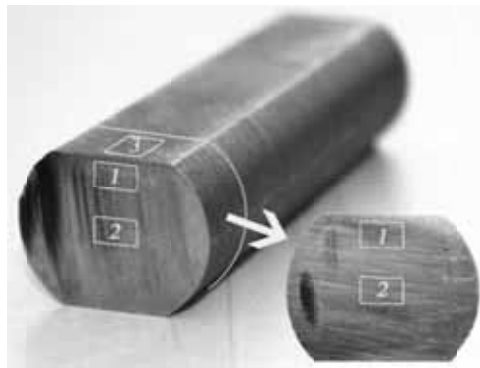


Рис. 3. Области для исследования микроструктуры

	Область 1	
До деформации		
Образец 5		
Образец 10		

Рис. 4. Микроструктуры прокатанных образцов, область 1

В процессе прокатки происходят изменения структуры графитных включений, как в продольном, так и поперечном сечении. На рис. 4 представлены микроструктуры поперечного сечения образцов, взятые в области 1 (см. рис. 3); до прокатки, 5-й и 10-й переходы. Графитные включения вытягиваются вдоль течения металла, приобретая вытянутую, эллипсовидную форму. При увеличении степени деформации графит значительно вытягивается в продольном направлении, приобретая игольчатую или веретеновидную форму с острыми окончаниями.

На рис. 6 представлена микроструктура шлифа, взятого в области 3 образца 10. В результате анализа микроструктуры деформированного чугуна была построена объемная модель формы графита после деформации (см. рис. 7).

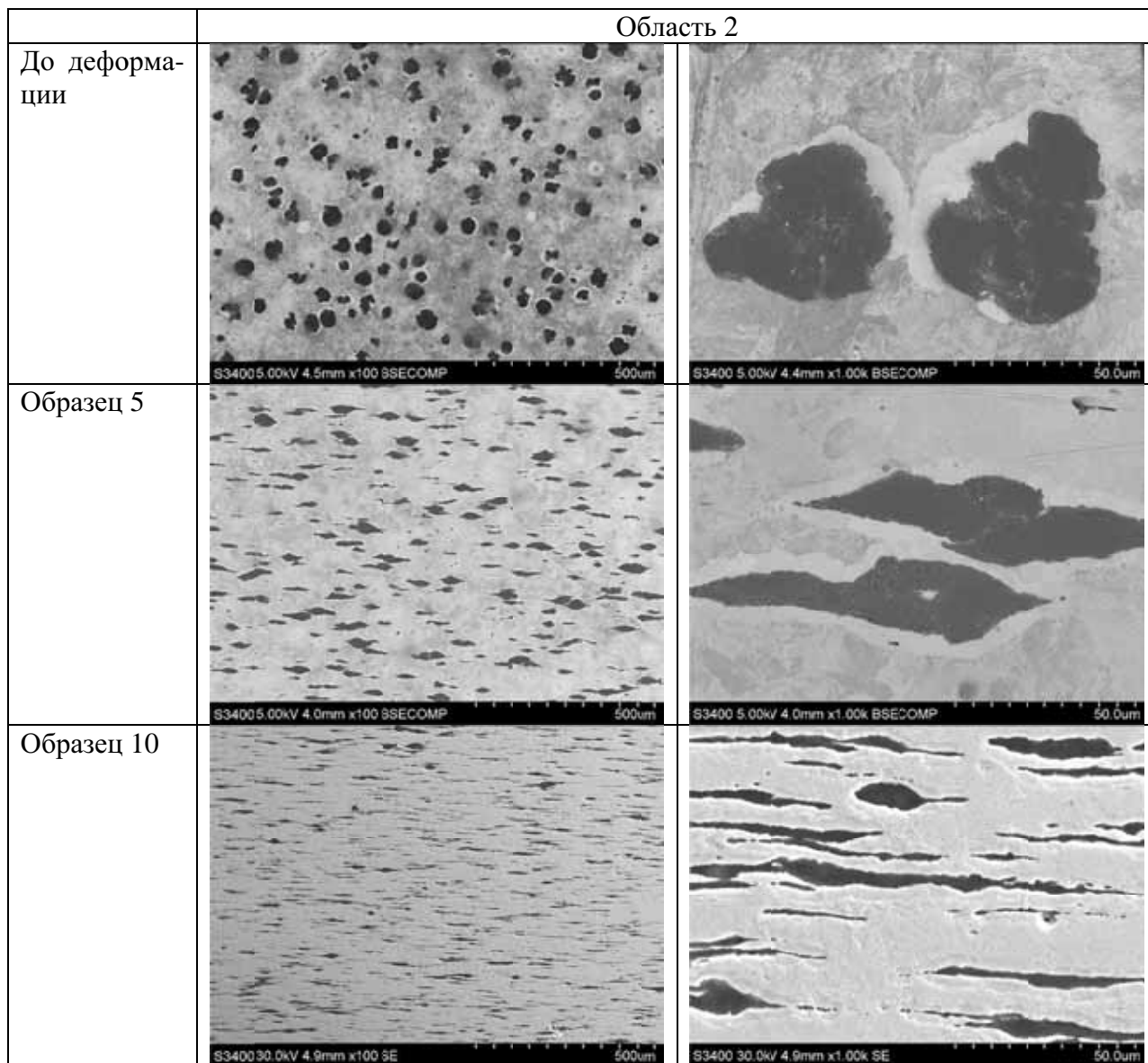


Рис. 5. Микроструктуры прокатанных образцов, область 2

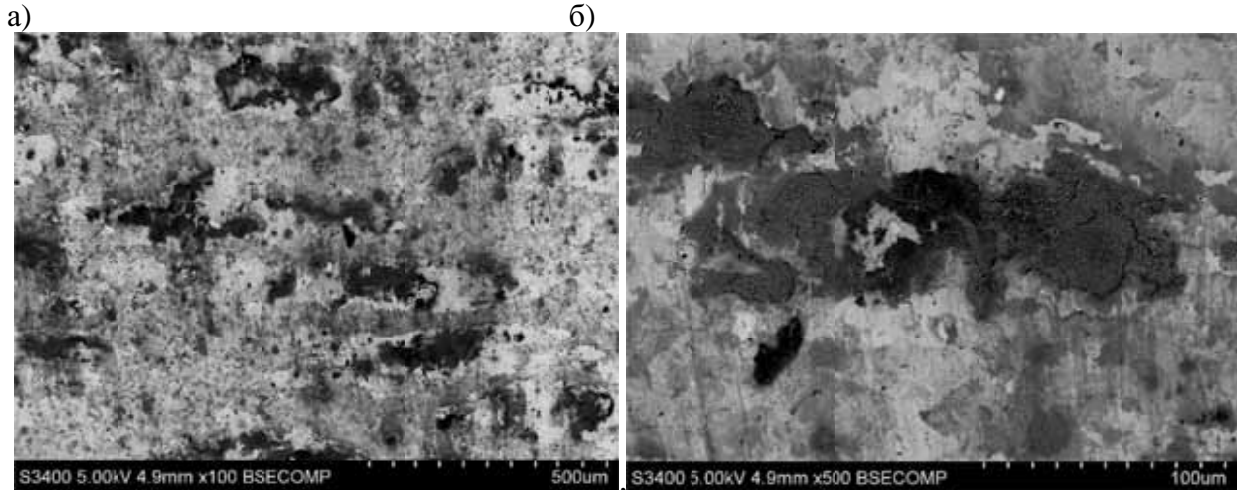


Рис. 6. Микроструктура шлифа образца 10:
а – увеличение $\times 100$; б – увеличение $\times 500$



Рис. 7. Объемная модель графитного включения,
подвергнутого деформации

Для определения степени деформации графитных включений необходимо ввести значение коэффициента радиусов K_p . У идеально круглой формы графита K_p равен единице, чем больше число отличается от этого значения, тем большую овальность приобретает круг.

$$K_p = R_{\max} / R_{\min}.$$

Расчет K_p производился в программном комплексе Image-Pro Plus v6.0.

В результате исследования выявлено, что интенсивная деформация графитовых включений возникает после пятого перехода прокатки. При этом, исследуя микроструктуры образцов на рис. 4 и 5, взятых в области 1 и 2, наблюдается большая степень деформации графитных включений в центре образца по отношению к краю образца, что подтверждает рис. 8.

Металлическая основа ВЧШГ после прокатки представляет собой пластинчатый перлит и феррит (см. рис. 9). Количество феррита уменьшается, что связано с ускоренным охлаждением деформированной заготовки на воздухе. Участки феррита вытягиваются в полосы, сопоставимые по длине с графитными включениями. После деформации субструктура зерна приобрела ориентацию, параллельную направлению прокатки. Феррито-цементитные пластины увеличились в размере.

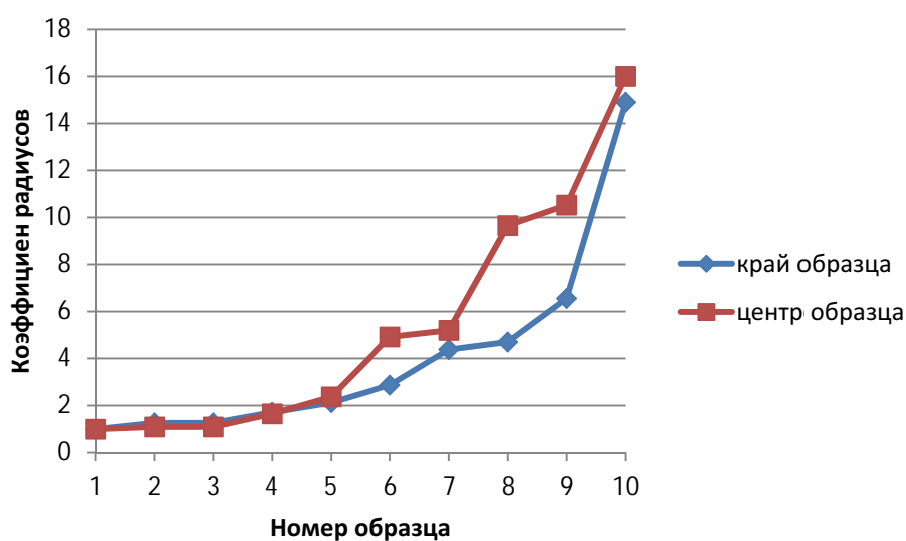


Рис. 8. Деформация графитовых включений

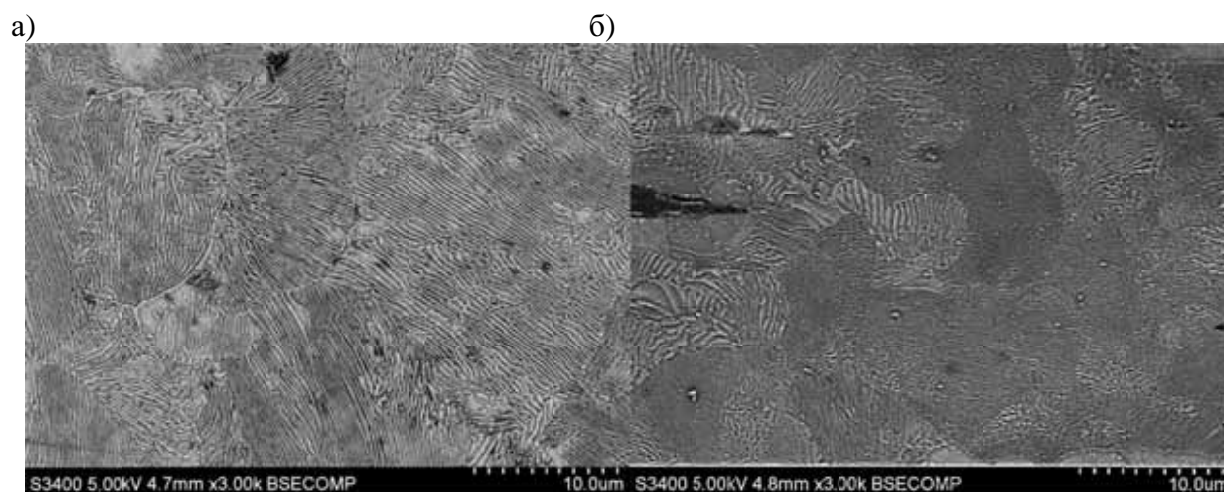


Рис. 9. Структура металлической матрицы, образец 10:
а – без деформации; б – после деформации

Исследования микротвердости чугунов после деформации проводили на поперечных образцах с использованием микротвердомера SHIMADZU HNV-2T. Измерение микротвердости проводилось по следующей методике:

а) Край образца. Пять измерений в металлической матрице, затем пять измерений в графитных включениях.

б) Центр образца. Пять измерений в металлической матрице, затем пять измерений в графитных включениях.

Значения микротвердости всех прокатанных образцов по усредненным значениям представлены на рис. 10.

Значение микротвердости после первого прохода прокатки увеличилось на 145 – 160 НВ, а после девятого прохода – на 270 – 290 НВ, при этом микротвердость центра образца (область 2) незначительно больше, чем у края (область 1). Микротвердость графитовых включений после деформации значительно не изменилась.

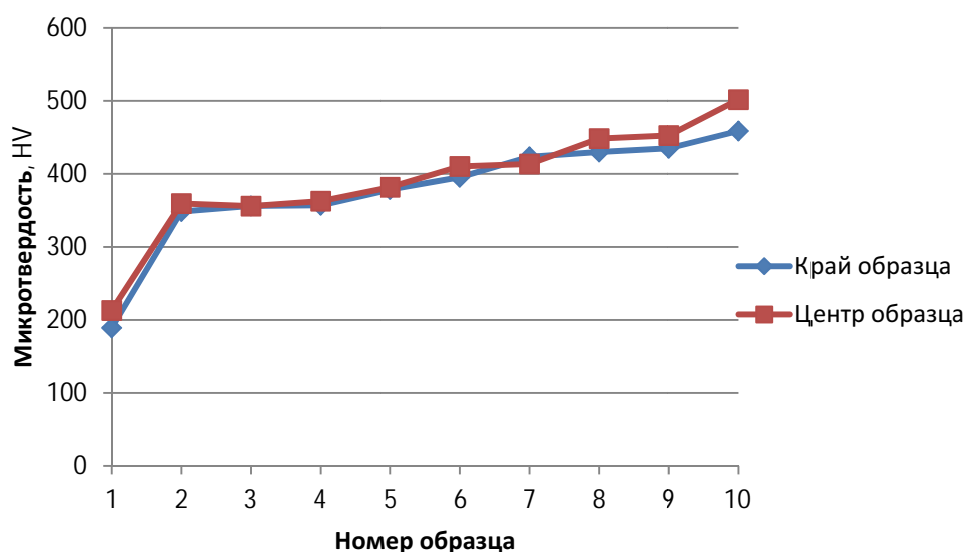


Рис. 10. Микротвердость высокопрочного чугуна после прокатки:
1 – исходный литой образец; 2 – 10 – прокатанные образцы

Выводы и заключения

Определена оптимальная температура нагрева заготовки перед пластической деформацией. Она составляет 1000 – 1100 °С, что позволяет проводить процесс продольной прокатки с отсутствием дефектов. Исследовано формоизменение графитных включений, которые вытягиваются вдоль направления течения металла и приобретают вытянутую эллипсоидную форму. Интенсивная деформация графитовых включений наблюдается после пятого прохода прокатки. Также происходит изменение в металлической матрице, ориентация субструктуры зерна приобретает направление вдоль течения металла. После пластической деформации микротвердость металлической матрицы увеличивается на 60 %, микротвердость графитовых включений значительно не изменяется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев, Э. А. Обработка давлением чугуна с шаровидной формой графита (обзор) / Э. А. Дмитриев, Б. М. Соболев, А. А. Рыбалкин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2012. – № III-1(11). – С. 83-86.
2. Лисовский, А. В. Исследование и совершенствование процессов горячей обработки давлением сплошных и полых заготовок из высокопрочного чугуна: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05: защищена 04.20.08 / Лисовский Александр Владимирович. – М., 2008. – 150 с.

Комельков В.Н., Марьин Б.Н., Захаров В.И., Плетнёв Н.О.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДКЛАДОК ИЗ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Комельков В. Н., Марьин Б. Н., Плетнёв Н. О.

V. N. Komelkov, B. N. Maryin, V. I. Zakharov, N. O. Pletnev

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДКЛАДОК ИЗ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ASSESSING CAPABILITIES FOR PRODUCING BACKUP PLATES FROM SILICATE MATERIALS

Комельков Василий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология сварочного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: vasko_72@mail.ru.

Mr. Vasilij N. Komelkov – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Welding Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur); 27, Lenin Pr., 681013, Komsomolsk-on-Amur. E-mail: vasko_72@mail.ru

Марьин Борис Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и технология литейного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: maryinsb@mail.ru.

Mr. Boris N. Maryin – Doctor of Engineering, Professor, Department of Foundry Industrial Machinery/Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur); 27, Lenin Pr., 681013, Komsomolsk-on-Amur. E-mail: maryinsb@mail.ru

Плетнёв Никита Олегович – студент кафедры «Технология сварочного производства» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: vasko_72@mail.ru.

Mr. Nikita O. Pletnev – Student, Department of Welding Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur); 27 Lenin Pr., 681013, Komsomolsk-on-Amur. E-mail: vasko_72@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты лабораторных исследований, направленных на оценку возможности изготовления сварочных подкладок из силикатных материалов и их применения в производственном процессе в судостроении.

Summary. The paper presents the results of a laboratory research aimed at assessing capabilities for manufacturing welding backup plates from silicate materials and for their application to production processes in shipbuilding.

Ключевые слова: сварка, сварочные материалы, подкладки, силикат, керамика, судостроение.

Key-words: welding, welding materials, backup plates, silicate, ceramic, shipbuilding.

УДК 621.791

Керамические подкладки используются при автоматической и полуавтоматической дуговой сварке металлическим электродом (проволокой) в среде защитного газа (MIG/MAG, GMAW), при дуговой сварке плавящейся порошковой, металлопорошковой проволоками (FCAW), при аргонодуговой сварке (TIG), при дуговой сварке под флюсом (SAW).

Подкладка изготавливается из керамического материала, имеющего высокую температуру плавления, и представляет собой полосу длиной 0,6 м, состоящую из сегментов, закреплённых на самоклеящейся алюминиевой ленте. Подкладка прикрепляется к свариваемой

поверхности и отклеивается после сварки. Может использоваться только однократно. Использование подкладок защищает металл корня от окисления, исключает необходимость вырубки, подварки корня шва с обратной стороны, зачистки обратной стороны шва после сварки. Большое разнообразие форм и размеров подкладок обеспечивает сварку в различных положениях.

Нормативно-технической документации на производство керамических подкладок применительно к задачам судостроения в России не существует, ввиду чего изготовление производят на основании внутренних технологических регламентов, принятых предприятиями. В большинстве случаев керамические подкладки изготавливают из термоустойчивых, непористых, не впитывающих влагу материалов, имеющих достаточно высокую температуру плавления и доступных конкретному производителю.

Наиболее распространенным материалом для изготовления керамических подкладок является глина [1]. Однако в настоящее время появилась возможность использовать для изготовления подкладок силикатные материалы, получившие наибольшее распространение при изготовлении строительных материалов.

Силикатными называют искусственные каменные материалы и изделия, получаемые в результате формования и последующей тепловлажностной обработки в автоклавах смесей, состоящих из известково-кремнеземистых вяжущих заполнителей (кварцевого песка, шлака и др.) и воды.

Для производства подкладок в качестве огнеупорной составляющей наиболее целесообразно использовать маршалит. Маршалит, или кварц молотый пылевидный, тонкодисперсный минеральный наполнитель, изготавливаемый из кварцевого песка, содержащего не менее 98 % SiO_2 . Его используют в качестве наполнителя суспензий для изготовления форм при литье по выплавляемым моделям, а также в качестве компонента электродных покрытий [2].

Апробация идеи применения маршалита в качестве огнеупорной составляющей в составе керамических подкладок была проведена путем приготовления составов смесей, отличающихся простотой приготовления из недорогих и доступных материалов.

При изготовлении исходных материалов для смесей были выбраны кварцевый песок (фракции менее 063), маршалит марки А ГОСТ 9077-82, известь (негашеная) и жидкое стекло ГОСТ 13078-81 (см. табл. 1).

Таблица 1

Составы смесей

Тип смеси	Содержание компонента, % (по массе)				
	Кварцевый песок	Маршалит	Известь	Вода	Жидкое стекло (сверх 100 %)
1	100	-	-		40 – 50
2	90	-	10	20	40 – 50
3	-	100	-	-	40 – 50
4	-	90	10	20	40 – 50

Повышение активности SiO_2 песка и получения химического взаимодействия с известью с образованием гидросиликатов кальция, цементирующих зерна песка (маршалита) в прочный монолит, можно достичь путем гашения извести вместе с носителем оксида кремния.

Полученные образцы подверглись естественной сушке в течение 48 ч. После естественной сушки образцы прошли визуальный осмотр (см. рис. 1).

Подкладки с использованием кварцевого песка, как с известью, так и без нее, внешне друг от друга ничем не отличались, кроме того, имели очень низкую прочность после сушки при 120 °С.

Подкладки на основе маршалита имели монолитную структуру, достаточную прочность после сушки (120 °С) и не имели трещин и видимых деформаций, поэтому для даль-

нейших исследований были выбраны подкладки из смесей составов № 3 и № 4. Данные подкладки были подвергнуты прокатке при 600 °С, а впоследствии при 1080-1090 °С.

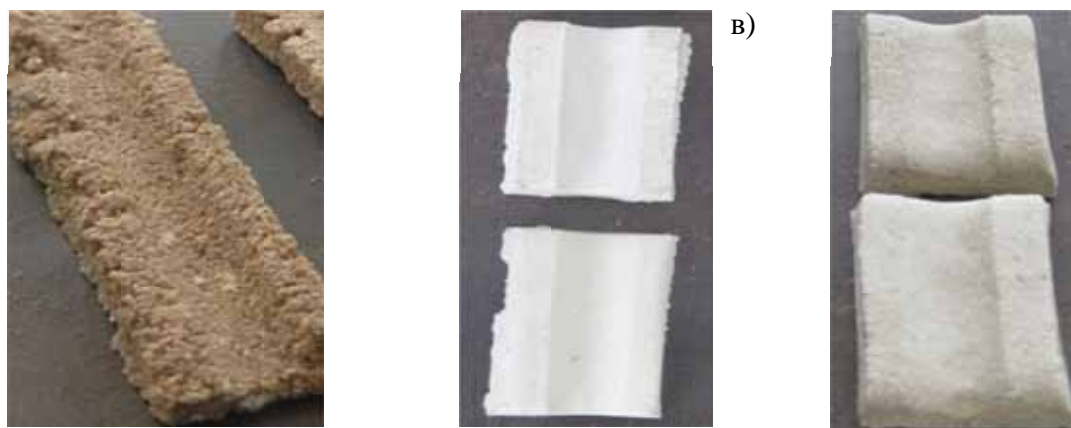


Рис. 1. Общий вид полученных подкладок:
а – смесь № 2; б – смесь № 3; в – смесь № 4.

После прокатки дополнительных трещин и деформаций не обнаружено. Были проведены эксперименты по получению сварного шва. Подкладки из смесей составов № 3 и № 4 подтвердили свою работоспособность.

На следующем этапе была проведена оценка технологических параметров изготовления подкладок на силикатной основе.

Целью исследований являлась оценка влияния влажности и длины элементов образцов на их усадку и деформацию. В качестве исходного материала для изготовления подкладок были выбраны смеси: 1) 90 % маршалита, 10 % извести (негашеной) и жидкое стекло (сверх 100 %); 2) 100 % маршалит и жидкое стекло.

При приготовлении смесей маршалит перемешивали с известью, гасили известь водой в отношении 1:2, после остывания добавляли жидкое стекло в различных количествах – 40, 45, 50 и 55 % (условно принятую за влажность смеси). Перед формовкой полученную смесь замешивали в однородную массу, из которой сразу же изготавливали образцы длиной 25, 35 и 50 мм (см. табл. 2). Подкладки формовали методом прокатки рельефным роликом.

Полученные образцы подвергались естественной сушке в течение 48 ч. Замечено, что образцы с влажностью 40 %, вследствие низкой пластичности смеси, плохо подвергались формовке, расслаивались и после сушки обладали недостаточной прочностью. При влажности более 45 % образцы после формовки обладали небольшой шероховатостью и достаточной прочностью. При влажности более 50 % масса плохо формовалась, растекалась, приклеивалась к оснастке, и после сушки появлялись поперечные трещины. Также после сушки у образцов с влажностью более 50 % проявлялась дугообразная деформация, что можно объяснить неравномерной сушкой образцов по объему. Кроме того, образующиеся при этом трещины, скорее всего, являются следствием повышенной усадки образцов (см. табл. 2).

После естественной сушки образцы поместили в печь и подвергли прокатке на следующих режимах: сушка 110-130 °С с выдержкой 3 ч; нагрев с печью до 580-620 °С с выдержкой 3 ч; прокатка при 1080-1090 °С с выдержкой 3 ч.

После каждого этапа прокатки производили осмотр образцов на наличие прокаточных трещин, усадки и деформаций. Внешний осмотр показал, что дополнительных трещин не появлялось, усадка после второго этапа прокатки не изменилась и также составляла около 5,5 %, а после третьего этапа увеличилась до 10 % и не зависела от длины образцов, деформация после прокатки не изменилась.

Влияние влажности элементов на их усадку и деформацию

Количество связующего, %	Номер партии образцов	Усадка, %	Деформация, мм	Примечание
40	1	-	-	ПТ
	2	-	-	
	3	-	-	
45	1	5,7	0,4	ОТ
	2	6,1	0,4	
	3	5,0	0,3	
50	1	5,7	0,5	ОТ
	2	5,7	0,7	
	3	5,7	0,6	
55	1	7	1,5	ПТ, Р
	2	7,2	1,2	
	3	7,8	1,4	

Примечание: ОТ – отсутствие трещин; ПТ – поперечные трещины; Р – растекаемость

Замечено, что после прокалки при 1080 °С на образцах с влажностью более 50 % образовывались дендритные образования от излишков жидкого стекла (см. рис. 2, а), приклеивались к подложке и трудно отделялись. Образцы с известью и влажностью более 50 % после третьего этапа прокалки вспучивались и теряли форму (см. рис. 2, б).

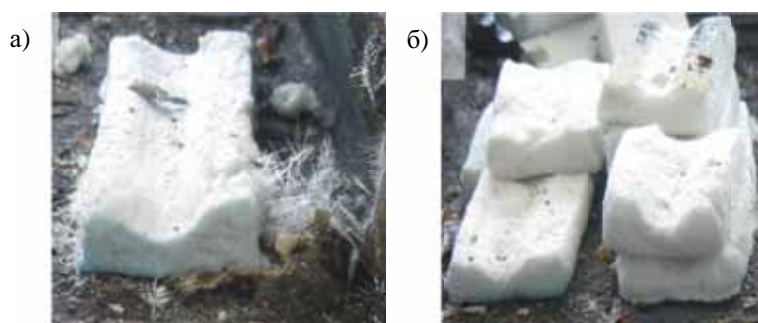


Рис. 2. Образцы после прокалки (1080 °С):
а – образец с влажностью 55 %; б – вспучивание образцов

При влажности менее 50 % подкладки, как с известью, так и без нее, внешне ничем не отличались друг от друга за исключением несколько большей шероховатостью и небольших вкраплений. После третьего этапа прокалки имели белый цвет без видимых трещин и деформаций (см. рис. 3).



Рис. 3. Образцы с влажностью 45-50 % после прокалки (1080 °С)

В связи с тем, что исходные компоненты смеси обладают определенной влажностью, при введении в них жидкого стекла или воды для гашения извести говорить об истинной влажности не корректно. Более правильно употребить термин «условная влажность». В статье под термином «влажность» следует понимать термин «условная влажность».

Результаты лабораторных испытаний позволяют сделать следующие выводы:

1. Для изготовления подкладок пригодны материалы только с мелкодисперсным оксидом кремния.
2. Подкладки большой длины проявляют склонность к дугообразному изгибу и поперечным трещинам.
3. Подкладки, как с известью, так и без нее, показали удовлетворительную стойкость к высокотемпературным воздействиям.
4. Силикатные материалы требуют много времени на этапе естественной сушки – не менее 48 ч.
5. Исходная влажность смеси при изготовлении подкладок на силикатной основе не должна превышать 45-50 %.
6. Подкладки без извести имеют меньшую продолжительность своего изготовления (нет операции гашения извести), более дешевы (отсутствие затрат на известь и технологическую воду), имеют меньшую шероховатость формообразующей поверхности и лучший внешний вид.
7. Рабочая поверхность оснастки должна обладать наименьшей шероховатостью с целью исключения прилипания смеси. Для исключения приклеивания подкладок к подложке необходимо снизить её шероховатость, в противном случае происходит неравномерное высыхание связующего материала (жидкого стекла) по объёму сформированной подкладки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрелов, К. К. Технология огнеупоров / К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1978.
2. Стрелов, К. К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов. – М.: Машиностроение, 1985.

Журбин О. В.
O. V. Zhurbin

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА "ММЭ-ус" ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБ УЧЕТЕ ВНУТРЕННЕГО И ВНЕШНЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ON THE APPLICABILITY OF THE "MME-AR" SOFTWARE PACKAGE TO HANDLING THE TASKS OF TAKING INTO ACCOUNT THE INTERNAL AND EXTERNAL RESISTANCE DURING OSCILLATION OF A FLOATING VESSEL'S STRUCTURE



Журбин Олег Владимирович – кандидат технических наук, доцент, докторант Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; 8(4217)54-30-74. E-mail: zhurbin@pochta.ru

Mr. Oleg V. Zhurbin – PhD in Engineering, Associate Professor, Doctoral Candidate, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (city of Komsomolsk-on-Amur, Russia), postal address: 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, Russia; phone: (4217) 54-30-74. E-mail: zhurbin@pochta.ru.

Аннотация. Данная работа посвящена программному комплексу, связанному с решением задач динамики колеблющихся судовых конструкций. Особое внимание уделено учету сопротивления внешней и внутренней среды. Показано экспериментально-численное моделирование задач по учету сопротивления внутренней и внешней среды на основе метода модуль-элементов.

Summary. The present paper describes a software package designed for solving the problems of the dynamics of oscillating ship structures. Special attention is paid here to taking into account the resistance of external and internal environment. Experimental numerical modelling of the tasks of taking into account the resistance of internal and external environment on the basis of modular elements method is suggested.

Ключевые слова: кораблестроение, колебания, внутреннее и внешнее сопротивление, программный комплекс, численное моделирование.

Key-words: shipbuilding, oscillation, internal and external resistance, software package, numerical modeling.

УДК 539.3/4

Введение

Для понимания полной картины колебаний судовых конструкций необходимо учитывать внутреннее и внешнее сопротивление окружающей среды. В качестве внешней жидкой среды, окружающей судно, можно принять воду, топливо, техническое масло, нефтепродукты в грузовых танках. Все эти жидкости имеют различную плотность и оказывают на колеблющуюся судовую конструкцию неупругое сопротивление. В дальнейшем будем рассматривать раздельно неупругое сопротивление внутренней среды (внутри металла) и неупругое сопротивление внешней среды (жидкости). Это обстоятельство позволяет глубже понять особенности внутреннего и внешнего сопротивления. Основным следствием влияния внутреннего и внешнего сопротивления является затухание свободных колебаний конструкции.

Особенности внутреннего и внешнего сопротивления

Рассмотрим природу возникновения и механизм воздействия внутреннего сопротивления. Причиной, приводящей свободные колебания к затуханию, является рассеивание энергии внутри материала. Это объясняется внутренним трением в материале. В основе своей

Журбин О.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ММЭ-УС» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБ УЧЕТЕ ВНУТРЕННЕГО И ВНЕШНЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

это явление имеет термическую природу. Поликристаллический металл, деформируясь, приводит к повышению температуры в зернах. Вследствие теплового потока между кристаллами происходит рассеяние (потеря) энергии. В случае свободных колебаний эти потери энергии имеют цикличность и определяются величиной площади петли гистерезиса [1; 6; 7; 8].

Для упрощения будем считать, что силы сопротивления пропорциональны скорости [16]. Тогда можно будет заменить силы сопротивления на эквивалентное вязкое сопротивление. Будем также считать, что эквивалентное вязкое сопротивление и силы сопротивления равны за один цикл колебания. Такой прием позволяет изучать процесс затухания колебаний.

Изучение влияния внутреннего трения [2; 3] для конструкций, эксплуатируемых вблизи резонансных зон, является очень важным. Многократно доказано, что внутреннее трение вызывает опасные колебания и негативно сказывается на прочности конструкции [3].

Среди положительных факторов от влияния внутреннего трения можно выделить: быстрое затухание свободных колебаний судовых конструкций [7], сдерживание амплитудного роста при резонансах, уменьшение (сглаживание) ударных напряжений.

Внутреннее трение является важной динамической характеристикой материала конструкции [7] и должно быть детально изучено.

Рассмотрим природу возникновения и механизм воздействия внешнего сопротивления. Внешняя среда, так же как и внутренняя, воздействует на колеблющуюся конструкцию силами сопротивления. Забортная вода или нефтепродукты в топливных и грузовых танках являются основными внешними средами для судовых конструкций.

Силу внешнего сопротивления S_{comp} можно найти с помощью несложной зависимости

$$S_{comp} = \beta \cdot v, \quad (1)$$

где β – коэффициент пропорциональности, коэффициент неупругого сопротивления внешней среды.

Задачу учета внутреннего и внешнего сопротивления при колебаниях судовых конструкций будем решать с помощью созданного программного комплекса на основе метода модуль-элементов (ММЭ).

Постановка задачи по учету внутреннего и внешнего сопротивления с помощью метода модуль-элементов

ММЭ [4; 5; 9; 10] имеет конечно-элементную процедуру и предназначен для анализа напряженно-деформированного состояния судовых конструкций.

Произвольно нагруженная (с произвольными граничными условиями) тонкостенная складчатая оболочка, усиленная набором [5], разбивается на пространственные модуль-элементы (МЭ). МЭ взаимодействуют друг с другом в узловых точках по контуру поперечных сечений.

ММЭ дает возможность решать следующие задачи: прочности, устойчивости, колебаний, а также позволяет учитывать сопротивление внутренней и внешней среды [10; 11].

Потерю энергии колеблющейся системы из-за сил сопротивления представим в виде функции рассеивания R [10], предложенной Рылеем. Применительно к ММЭ функцию рассеивания запишем через обобщенные координаты [15]. В этом случае функция рассеивания R будет приведена к квадратичному виду скоростей обобщенных координат \dot{q}_i

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} \dot{q}_i \dot{q}_j, \quad (2)$$

где b_{ij} – обобщенные коэффициенты сопротивления, записанные в обобщенных координатах.

Для детального понимания роли и доли участия сил сопротивления в колебаниях конструкций необходимо развести на слагаемые внешнее и внутреннее сопротивление. При решении задачи о колебаниях судовых конструкций с учетом внутреннего и внешнего сопротивления на основе ММЭ коэффициенты сопротивления определяют по формулам [10]

$$b_{ij}^{внеш} = b_{ij} = \int_s \beta(s) \chi_i(s) \chi_j(s) ds, \quad \text{при } i, j = 1, 2, 3, \dots N; \quad (3)$$

$$b_{ij}^{внут} = \int_s \frac{E}{\omega_{ij}} \gamma(s) \chi_i(s) \chi_j(s) ds, \quad \text{при } i, j = 1, 2, 3, \dots N, \quad (4)$$

где $\chi_i(s)$ и $\chi_j(s)$ – заданные координатные функции, принятые в ММЭ; $\beta(s)$ и $\gamma(s)$ – коэффициенты сопротивления, соответственно внешней и внутренней среды.

Для выбора и построения координатных функций можно воспользоваться работами [5; 10; 14], где подробно изложен этот вопрос. Коэффициенты сопротивления β и γ определяются экспериментально. В работе [12] показаны такие эксперименты, проведенные авторами.

Матричное уравнение равновесия в постановке ММЭ для случая установившихся гармонических колебаний [10] имеет вид

$$([K] - \omega^2 [M + M_{np}] + i\omega [B^{внеш} + B^{внут}]) \{Q\} = \{P\}, \quad (5)$$

где $[K]$ – матрица жесткости всей конструкции (оболочки); $[M]$ – матрица масс всей конструкции; $[M_{np}]$ – матрица присоединённых масс окружающей среды; $[B^{внеш}]$ – матрица сопротивления всей внешней среды; $[B^{внут}]$ – матрица сопротивления всей внутренней среды; $\{Q\}$ – матрица-вектор неизвестных обобщенных перемещений всей конструкции; $\{P\}$ – матрица-вектор внешних нагрузок; ω – частота вынужденных колебаний; i – мнимая единица.

Решение уравнения (5) было выполнено с помощью программного комплекса "ММЭ-ус".

Учет внутреннего и внешнего сопротивления при колебаниях судовых конструкций с помощью программного комплекса "ММЭ-ус"

Для проведения расчетов необходимо знать коэффициенты β и γ , приведенные в зависимостях (3) и (4). Для этого были проведены экспериментальные исследования для четырех внешних сред. Постановка эксперимента и подробные данные о полученных в результате коэффициентах приведены в работах [10; 11; 12; 13]. В табл. 1 приведем удельные коэффициенты сопротивления от четырех сред различной плотности, помноженные на площадь парусности [11]. Полученный в результате эксперимента коэффициент внутреннего сопротивления стали составляет $\gamma_{экс}^{внут} = 0,00306$ и полностью согласуется с экспериментальными исследованиями других авторов [3; 7; 8].

Таблица 1

Значения удельных коэффициентов сопротивления четырех внешних сред различной плотности и динамической вязкости

Среда	Плотность ρ , кг/м ³	Динамическая вязкость, Па · с	$\beta_{экс}^{уд} \cdot S$
Воздух	1,3	$1,780 \cdot 10^{-5}$ при 20 °С	$2,81036 \cdot S$
Вода	998,2	$1,002 \cdot 10^{-3}$ при 20 °С	$36,79067 \cdot S$
Дизельное топливо	860,0	$1,563 \cdot 10^{-3}$ при 20 °С	$58,55419 \cdot S$
Машинное масло	910,0	$5,327 \cdot 10^{-3}$ при 20 °С	$91,65338 \cdot S$

Для решения задачи о колебаниях судовых конструкций с помощью ММЭ был разработан программный комплекс, который позволяет учитывать внутреннее и внешнее сопротивление. На рис. 1 приведены некоторые фрагменты программного комплекса "ММЭ-ус". Общее решение задачи сводится к решению системы уравнений (5). Для этого с помощью процедур ММЭ [5; 10] составляются матрицы жесткости $[K]$, масс $[M]$, сопротивления внутреннего и внешнего $[B]$. Как и метод конечных элементов, ММЭ имеет в своей основе конечно-элементную процедуру. Отличия заключаются в самом подходе, при определении коэффициентов указанных выше матриц. При решении задачи о собственных колебаниях мат-

рицу нагрузок [P] приравниваем к нулю.

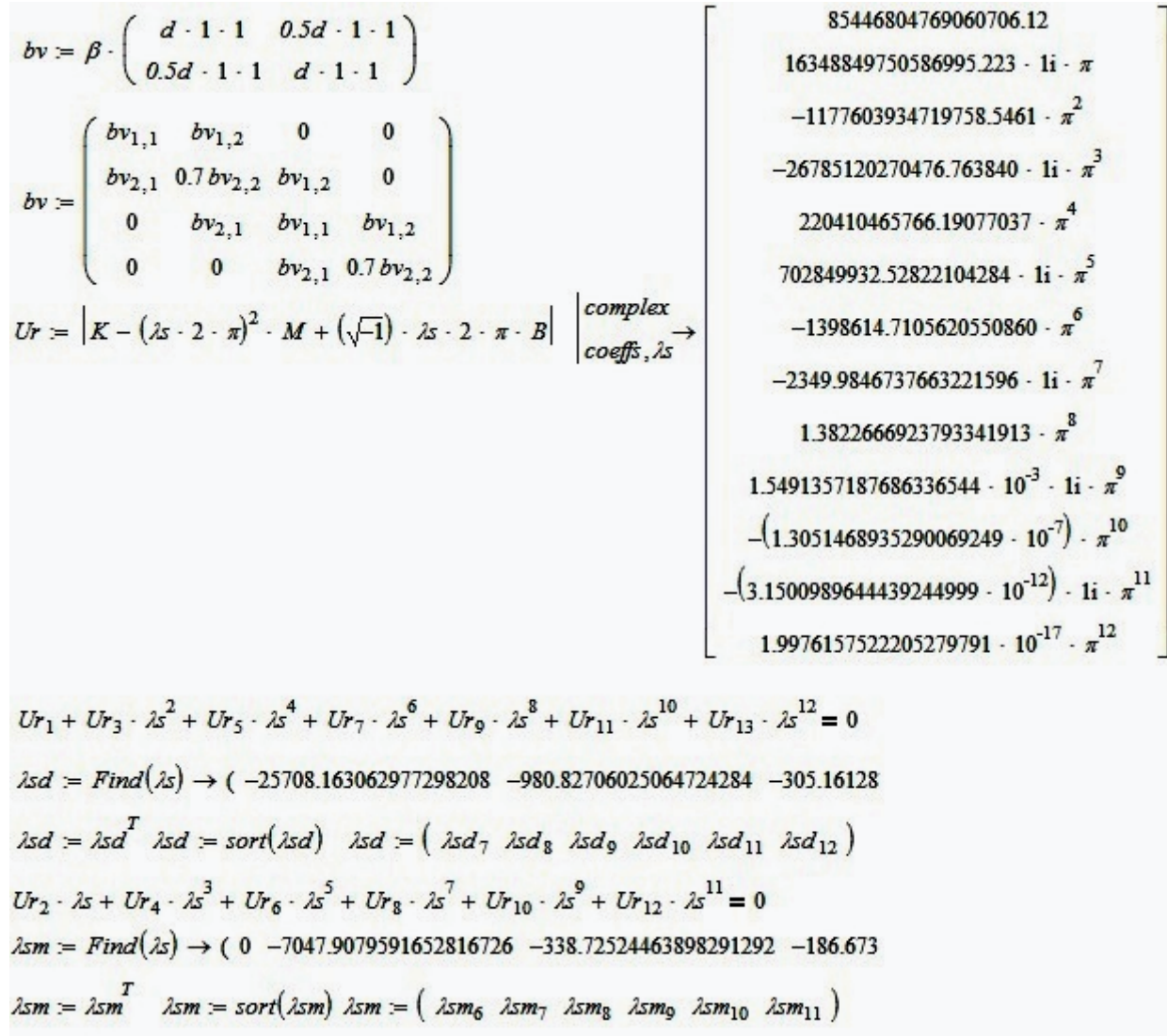


Рис. 1. Фрагмент программного комплекса "ММЭ-ус"

Основной проблемой решения системы уравнений (5) является присутствие мнимой единицы *i*. Это приводит к математическим осложнениям при решении. Для решения этой проблемы в программном комплексе применяется способ разделения корней от действительной и мнимой частей. На рис. 1, в качестве примера, показано получение коэффициентов матрицы сопротивления *bv*, решение матричного уравнения (5) и разделение корней на действительную и мнимую часть.

В качестве тестового примера был проведен расчет консольной балки-полоски с грузом на конце в четырех средах различной плотности. Применение груза, как инерционной составляющей, обосновывается желанием получить большой временной промежуток затухания колебаний. Это особенно востребовано при колебаниях в таких вязких средах, как машинное масло. Для решения задачи в ММЭ с помощью программного комплекса использовались 6 модуль элементов. При построении координатных функций [5; 10] использовались поперечные смещения узлов и моменты.

Параллельно были проведены сравнительные расчеты с помощью метода конечных элементов, где балка-полоска разбивалась на 6 конечных элементов. Расчеты были так же проведены по справочнику И. А. Биргера [6, 302] и методике Е. С. Сорокина [7].



Предварительно, перед расчетами, как указано выше, была проведена серия натуральных экспериментов по определению параметров затухающих колебаний. В первую очередь для определения коэффициентов сопротивления.

Результаты расчетов и экспериментальные данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнительных расчетов и эксперимента

Метод определения частоты	Без учёта сопротивления	С учётом сопротивления <u>внутренней среды</u>	С учётом сопротивления <u>внутренней среды и воды</u>			С учётом сопротивления <u>внутренней среды и дизельного топлива</u>	С учётом сопротивления <u>внутренней среды и машинного масла</u>
	λ_1 , Гц	λ_1 , Гц	λ_1 , Гц	λ_2 , Гц	λ_3 , Гц	λ_1 , Гц	λ_1 , Гц
Эксперимент	-	3.32	2.54	-	-	2.39	2.36
Расчёт по методике Е. С. Сорокина [8]	2.80	2.80 $\downarrow = 3.2 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-	-
Расчёт по методике И. А. Биргера [6]	3.17	3.17 $\downarrow = 6.3 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-	-
МКЭ [16]	3.35	3.35 $\downarrow = 5.84 \cdot 10^{-5}$	-	-	-	-	-
ММЭ [12; 15]	3.44	3.41	2.57	88.85	208.82	2.41	2.39

Незначительное уменьшение частоты колебаний с сопротивлением по отношению к частоте колебаний без сопротивления обозначено в табл. 2 стрелочками \downarrow , а сама величина после знака равно =. Как видно из табл. 2, внутреннее сопротивление не вызывает значительного изменения частот колебаний стальной балки-полоски, но все же приводит к затуханию собственных колебаний. В случае же учета внешнего сопротивления, особенно от жидких сред, изменения частот уже существенны. Без учета сопротивления внешних жидких сред невозможно понять полную картину параметров колебания конструкций, и это обстоятельство, конечно же, необходимо учитывать.

Выводы

- 1) Тестирование программного комплекса показало его работоспособность и достоверность результатов при сравнении с другими методами и методиками.
- 2) Сопротивление внутренней среды не оказывает существенного влияния на изменение частоты собственных колебаний, но все же приводит к затуханию и может привести к существенным изменениям параметров колебаний вблизи резонансной зоны.
- 3) Для понимания полной картины колебательных процессов необходимо учитывать силы сопротивления среды и особенно внешней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко, С. В. Вибрация судов: учеб. пособие / С. В. Антоненко. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 148 с.
2. Любушкина, Н. Н. Программно-информационное обеспечение задачи о колебаниях стержня с большими деформациями / Н. Н. Любушкина, А. Н. Петрова, Н. А. Тарануха // Информатика и системы управления. – 2007. – № 2(14). – С. 30-39.

Журбин О.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ММЭ-УС» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБ УЧЕТЕ ВНУТРЕННЕГО И ВНЕШНЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3. Пановко, Я. Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем / Я. Г. Пановко. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 196 с.
4. Постнов, В. А. Вибрация корабля / В. А. Постнов, В. С. Калинин, Д. М. Ростовцев. – Л.: Судостроение, 1983. – 248 с.
5. Постнов, В. А. Оценка напряженно-деформированного состояния корпуса судна методом модуль-элементов / В. А. Постнов, Н. А. Тарануха. – Л.: Судостроение, 1983. – № 5. – С. 5-8.
6. Прочность, устойчивость, колебания: справочник. В 3 т. Т. 3 / под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968.
7. Сорокин, Е. С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем / Е. С. Сорокин. – М.: Изд-во литер. по строительству, архитектуре и строит. механике, 1960.
8. Сорокин, Е. С. Метод учета неупругого сопротивления материала при расчете конструкций на колебания / Е. С. Сорокин // Исследования по динамике сооружений. – М.: Госстройиздат, 1951.
9. Тарануха, Н. А. Динамика упругих систем в машинных отделениях судов с главными малооборотными дизелями / Н. А. Тарануха, С. А. Худяков // Труды ЦНИИ им. Акад. А. Н. Крылова. – 2012. – № 67. – С. 161-168.
10. Тарануха, Н. А. Математическое моделирование колебаний сложных оболочек. Гидроупругая постановка с учетом сопротивления / Н. А. Тарануха, О. В. Журбин. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 253 с.
11. Тарануха, Н. А. Математическое и экспериментальное моделирование колебаний стержневых судовых конструкций с учетом сопротивления внешней среды различной плотности / Н. А. Тарануха, О. В. Журбин, И. Н. Журбина // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2010. – № IV-1(4). – С. 81-91.
12. Тарануха, Н. А. Экспериментальное исследование внутреннего и внешнего сопротивления при колебаниях судовых конструкций / Н. А. Тарануха, О. В. Журбин, И. Н. Журбина // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2011. – № IV-1(8). – С. 90-101.
13. Тарануха, Н. А. Новые решения в динамике "неправильных" оболочек / Н. А. Тарануха, Г. С. Лейзерович. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 203 с.
14. Тарануха, Н. А. О влиянии начальных отклонений от идеальной круговой формы цилиндрических оболочек на собственные изгибные колебания / Н. А. Тарануха, Г. С. Лейзерович // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т. 42. – № 2. – С. 180-187.
15. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко. – М.: "Наука", 1967. – 444 с.
16. Яблонский, А. А. Курс теории колебаний / А. А. Яблонский, С. С. Норейко. – М.: Высш. шк., 1966. – 255 с.



Кулепов В. Ф., Двойченко Ю. А., Малыгин А. Л.

V. F. Kulepov, Yu. A. Dvoychenko, A. L. Malygin

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДОВ
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЯДА ПЛАВАЮЩИХ
ЛЕДОРЕЗНЫХ МАШИН**

**APPLICATION OF THE SHIPBUILDING THEORY METHODS TO THE
DEVELOPMENT OF PARAMETERS SERIES FOR FLOATING ICE-CUTTING
MACHINES**

Кулепов Виктор Федорович – профессор Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (Россия, Нижний Новгород). E-mail: sekretar@dfngtu.nnov.ru.

Mr. Victor F. Kulepov – Professor, R.E.Alekseev Nizhniy Novgorod State Technical University (city of Nizhniy Novgorod, Russia). E- mail: sekretar@dfngtu.nnov.ru

Двойченко Юрий Александрович – доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (Россия, Нижний Новгород). E-mail: edbas@sandy.ru.

Yuri A. Dvoychenko – Associate Professor, R.E.Alekseev Nizhniy Novgorod State Technical University (city of Nizhniy Novgorod, Russia). E- mail: edbas@sandy.ru

Малыгин Александр Львович – доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (Россия, Нижний Новгород). E-mail: KTMDPINGTU@mail.ru.

Alexander L. Malygin – Associate Professor, R.E. Alekseev Nizhniy Novgorod State Technical University (city of Nizhniy Novgorod, Russia). E- mail: KTMDPINGTU@mail.ru

Аннотация. С использованием методов теории проектирования судов на основании построенной и испытанной ледорезной машины определены параметры типоразмерного ряда ледорезных агрегатов, предназначенных для сквозного прорезания льда возможной толщины на акваториях РФ. Эти машины смогут прорезать лед на всех акваториях России.

Summary. Using the shipbuilding theory methods, on the basis of a built and tested floating ice-cutting machine, the authors offer parameters of the standard series for similar machines. These machines will be able to cut ice on all water basins of Russia

Ключевые слова: Теория проектирования судов, плавающие машины (амфибийные), ледорезные машины.

Key-words: shipbuilding theory, ice-cuttings machines, floating (amphibian) machines.

УДК 629.12.011

Ледяной покров покрывает внутренние водные пути и озера, водохранилища, а также морские акватории РФ в значительную часть года. Поверхность льда может быть хорошей площадкой для многих технологических операций, проводимых на акваториях. Использование ледяного покрова не требует специального обеспечения техническим флотом, который и не может быть доставлен в отдаленные регионы Севера, Сибири и Дальнего Востока, включая шельф арктических морей. Известны различные способы разрушения ледяного покрова [1]. В обеспечении операций, проводимых с ледяного покрова, ледорезные машины (ЛРМ) играют ключевую роль. Использование машин традиционной архитектуры на ледяном покрове сопряжено с риском пролома льда, их переворачивания со всеми отрицательными последствиями.

Прогресс в области развития ЛРМ мог быть обеспечен только разработкой новой конструкции ЛРМ на базе непотопляемого корпуса-понтонa. Непотопляемость на ледяном

покрова может быть обеспечена выбором таких размерений понтона, которые исключают опрокидывание машины во всех неблагоприятных условиях. Решение этой задачи показано в работе [5]. На базе проведенных теоретических и экспериментальных исследований была спроектирована и построена дискофрезерная машина ЛФМП-1, показанная на рис. 1. Характеристики машины приведены в табл. 1.

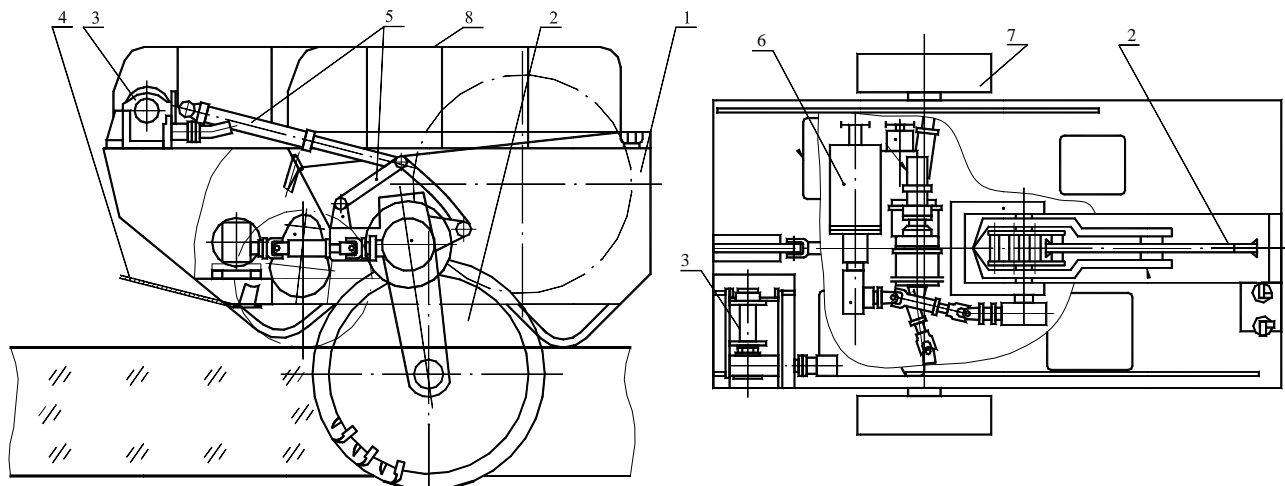


Рис. 1. Схема дискофрезерной плавающей машины ЛФМП-1: 1 – несущий корпус-пonton; 2 – дисковая фреза; 3 – буксирная лебедка для выхода из воды на лед; 4 – буксирный трос; 5 – механизм подъема фрезы из рабочего положения в транспортное; 6 – электродвигатель привода фрезы, колес, лебедки; 7 – движители; 8 – леерное ограждение

Таблица 1

Технические параметры ЛРМ ЛФМП-1

<i>массогабаритные</i>	Ширина прорези.....0.1 м
Длина...наибольшая3.65 м	Производительность резания (лед 0.8м)...620 м/ч
Ширина...габаритная.....2.28 м	Транспортная скорость.....3 км/ч
Высота при транспортировке.....-1.89 м	Мощность двигателя (3ф-380В).....30 кВт
Масса полная.....2542 кг	<i>Буксирная лебедка</i>
Дорожный просвет.....0.3 м	Буксировочное усилие47-30 кН
Минимальная толщина льда0.15-0.2 м	Скорость буксировки лебедкой5.5-8.6 м/с
<i>производственно-технологические</i>	Запас троса.....100 м
Толщина прорезаемого льда.....0.8 м	

В результате оценки условий нарастания ледяного покрова территории РФ было выявлено, что главный параметр – толщина ледяного покрова – имеет широкий диапазон изменения, в связи с чем требуются рабочие органы разных типоразмеров.

Для этого был разработан типоразмерный ряд дискофрезерных рабочих органов [3; 5], элементы которого могут прорезать лед на всех акваториях РФ. Параметры этого ряда приведены в табл. 2. Построенная машина ЛФМП-1 имела второй номер размера рабочего органа.

Различные размеры фрез требовали другие размеры не только их приводов, но и несущих корпусов-понтон. Для успешной разработки технических проектов типоразмерного ряда корпусов-понтон этих машин необходимо определить их параметры и характеристики как плавающих сооружений. С этой целью были использованы методика и приемы проектирования судов с применением прототипа [4]. В качестве прототипа была использована машина ЛФМП-1.

Характеристики типоразмерного ряда дискофрезерных рабочих органов

Номер элемента	Основные параметры и характеристики					
	Диаметр фрезы $D_{ф_r}, м$	Ширина прорези $B_{пр_r}, м$	Площадь прорезания $S_{рл_r}, м^2$	Толщина разрабатываемого льда $h_{л_r}^{max}, м$	Мощность на валу дисковой фрезы $N_{дон}, кВт$	Масса ледорезного агрегата $M_{ла}, кг$
1	0.8	0.05	0.03	0.6	9.6	87
2	1.1	0.1	0.085	0.85	23	367
3	1.5	0.1	0.18	1.2	34	682
4	2.2	0.15	0.33	1.8	76	2201
5	3.2	0.2	0.64	2.6	147	6211

Как принято в теории проектирования судов, общую массу плавающей машины разделим на две составляющие – массу механизмов $m_{мех}$ и массу корпуса $m_{корп}$. Как известно [4], у судна, имеющего механическую установку, масса $m_{мех}$ пропорциональна мощности этой установки

$$m_{мех} = p_{мех} \cdot N_{дв}, \quad (1)$$

где $p_{мех}$ – относительная масса механической установки.

В работе [2], посвященной разработке типоразмерных рядов дорожных машин, также отмечена справедливость формулы (1) для машин, подобных ЛРМ.

Массу несущего корпуса-понтон можно определить исходя из опыта и практики проектирования плавающих объектов, так как она пропорциональна габаритным размерениям корпуса. Так же, как и для судов, массу корпуса можно найти так:

$$m_{корп} = p_{корп} L_{кор} B_{кор} H_{кор}, \quad (2)$$

где $p_{корп}$ – относительная масса корпуса-понтон, полученная по близкому прототипу:

$$p_{корп} = \frac{m_{корп}}{L_{кор} B_{кор} H_{кор}}, \quad (3)$$

где $L_{кор}, B_{кор}, H_{кор}$ – габариты корпуса понтона.

Главные размерения $L_{кор}, B_{кор}, H_{кор}$ должны отвечать требованиям, предъявляемым к основным качествам плавучего сооружения – судна (остойчивость, непотопляемость). Эти размерения были получены в опытах с моделью масштаба 1:10. Для перенесения результатов, полученных в модельных опытах, необходимо соблюдение пропорций соотношений размеров (геометрического подобия [4]). Пропорции размеров и относительные параметры были обоснованы испытаниями реальной ЛРМ ЛФМП-1. Они даны в табл. 3.

Несмотря на все старания изготовителей, реальная масса ЛРМ ЛФМП-1 оказалась выше, чем было получено на стадии проектирования. В проекте реальной ЛРМ запас плавучести $p_{з.л.}$ принят на основании модельных опытов ($p_{з.л.} = 1.04$). Определение запаса плавучести реального корпуса-понтон (без учета плавучести колес) возможно с помощью грузового размера (см. рис. 2).

Определение массы и габаритов вновь проектируемого судна, коим следует считать ЛРМ ЛФМП-1, осуществляется на основе уравнения плавучести, связывающего массы механизмов, корпуса и требуемого запаса водоизмещения с массовым водоизмещением всего корпуса:

$$(m_{мех} + m_{корп})(1 + p_{з.л.}) = \rho \cdot \delta L_{кор} B_{кор} H_{кор}, \quad (4)$$

с учетом зависимостей (1), (2) и (3), а также данных таблицы:

$$(1 + p_{з.н.}) \cdot (p_{кор} L_{кор} B_{кор} H_{кор} + p_{мех} N) = \rho \delta L_{кор} B_{кор} H_{кор} \cdot \quad (5)$$

Таблица 3

Относительные размерения и параметры ЛФМП-1

Наименование	Формула, размерность	Значения параметров в формуле	Величина относительного параметра
1 Относительная масса механизмов	$p_{мех} = \frac{m_{мех}}{N}, \frac{кг}{кВт}$	$m_{мех} = 1535$ $N = 30 \text{ кВт}$	$51.2 \frac{кг}{кВт}$
2 Относительная масса корпуса	$p_{кор} = \frac{m_{кор}}{L_{кор} B_{кор} H_{кор}}, \frac{кг}{м^3}$	$m_{кор} = 895 \text{ кг}$ $L_{кор} = 3650 \text{ мм}$ $B_{кор} = 1780 \text{ мм}$ $H_{кор} = 1000 \text{ мм}$	$137.8 \frac{кг}{м^3}$
3 Коэффициент общей полноты корпуса	$\delta_{кор} = \frac{V_{кор}}{LBH}$	$V_{кор} = 4.950 \text{ м}^3$	0.761
4 Относительная ширина	$\bar{b}_{кор} = \frac{B_{кор}}{H_{кор}}$		1.78
5 Относительная длина корпуса	$\bar{l}_{кор} = \frac{L_{кор}}{H_{кор}}$		3.65
6 Запас плавучести	$p_{з.н.} = \frac{\rho V_{кор} - (m_{мех} + m_{из})}{\rho V_{кор}} \cdot 100\%$		104%

Используя (4) и (5), также данные и формулы табл. 3, получим уравнение:

$$\left[\rho \delta - (1 + p_{з.н.}) \cdot p_{кор} \right] \cdot L_{кор}^3 \frac{\bar{b}_{кор}}{\bar{l}_{кор}^2} = (1 + p_{з.н.}) \cdot p_{мех} N_{дв} \cdot \quad (6)$$

Из уравнения (6), используя относительные характеристики, можно выразить одно из главных размерений – длину геометрически подобного понтона, которая необходима для размещения двигателя заданной мощности $N_{дв}$:

$$L_{кор}^1 = \sqrt[3]{\frac{(1 + p_{з.н.}) \cdot \bar{l}_{кор}^2 \cdot p_{мех} N_{дв}}{(\rho \delta - 2 p_{кор}) \bar{b}_{кор}}} \cdot \quad (7)$$

Для элемента ряда машин № 1 (см. табл. 2), подставив соответствующее значение $N_{дв}$ и величины из табл. 3, получим требуемую длину корпуса: $L_{кор}^1 = 2.48 \text{ м}$. Так как понтон-корпус нового типоразмера должен быть подобен корпусу ЛФМП-1, можно найти величину геометрического масштаба: $\lambda^1_m = L_{кор}^1 / L_{кор}$, после чего определяются остальные параметры. Этот вариант ЛРМ был назван ЛФМП-1-И. Её масса машины находится по формуле $m = (\rho g \delta L_{кор} B_{кор} H_{кор}) / (1 + p_{з.н.})$. Для ЛФМП-1-И получено (в первом приближении) $m = 774 \text{ кг}$.

Размерения $L_{кор}^1 B_{кор}^1 H_{кор}^1$ и массу m^1 ЛРМ ЛФМП-1-И следует проверить на безопасную высоту борта, достаточную для предотвращения опрокидывания и переворачивания при случайном падении с кромки льда в майну [7]

$$H \geq m_G / F(B, h_{л}), \quad (8)$$

где $m_G = M / L_{кор}$ – масса единицы длины машины, $F(B, h_{л}) = 0.69 \cdot B - 0.17 \cdot h_{л} - 0.33 \text{ (т/м}^2\text{)}$ – эмпирическая функция, полученная численным путем в результате решения задачи о равновесии машины на кромке льда [7].

Для данной машины значение функции $F(B, h_d) = 0.399 \text{ т/м}^2$, $m_G = 0.312 \text{ т/м}$. Тогда безопасная высота борта по (8) составит $H_{кор} = 0.78 \text{ м}$. Это больше, чем получено из условия подобия. При увеличении борта по высоте масса понтона и всей машины в целом возрастает, что делает необходимым дальнейшее повышение высоты борта до $H = 0.87 \text{ м}$. Поскольку ширина корпуса из условия подобия меньше, чем допускается транспортным габаритом, ее можно увеличить, и тогда, следуя (8), высота борта потребуется меньше. При увеличении ширины масса корпуса с использованием формулы (2) и (8) выражается как

$$m_{кор} = p_{кор} \cdot m_{мех} \cdot B_{кор} / (F(B, h_d) - B_{кор} \cdot p_{кор}). \quad (9)$$

Откуда следует значение безопасной высоты корпуса:

$$H_{кор} = (m_{кор} + m_{мех}) / (F(B, h_d) L_{кор}). \quad (10)$$

Зависимости, построенные по формулам (9) и (10), даны на рис. 3 и представляют собой гиперболы. Видно, что масса и высота борта быстро возрастают в районе 1.2-0.8 м. При габарите корпуса 1.4 м масса упадет на 25 %, при габарите 1.6 м – на 30 %. Относительно начальной массы (ширина 1.21 м и высота борта 0.87 м), увеличение ширины до 1.38 м – масса снизится на 25 %. Эта ширина соответствует габаритам автомобиля высокой проходимости УАЗ «Патриот», который предполагается использовать для буксировки ЛРМ типоразмера № 1 к месту, где требуется прорезание льда. В таком случае корпус будет иметь массу 283 кг, и безопасную высоту борта 0.61 м. В данном случае, учитывая результаты модельных опытов и опыт эксплуатации ЛРМС ЛФМП-1, необходимо увеличить высоту борта на 13 % над той, что определяется формулой (10). Поэтому высота борта у ЛРМ ЛФМП-1-I принята 0.68 м. Это, кстати, полезно и для монтажных, и наладочных работ внутри корпуса. Полностью основные параметры ЛРМ наименьшего типоразмера будет приведена ниже, в общей табл. 4.

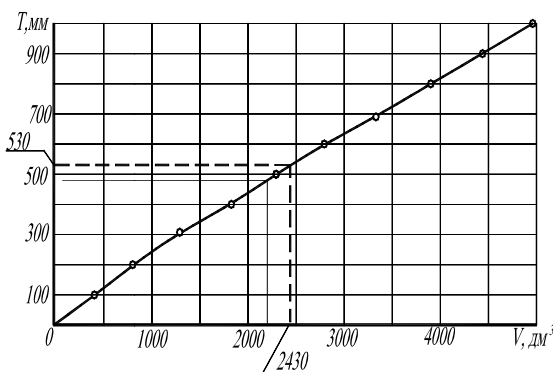


Рис. 2. Зависимость «грузовой размер» для ЛРМ ЛФМП-1; ———— по проекту, - - - - - фактические значения

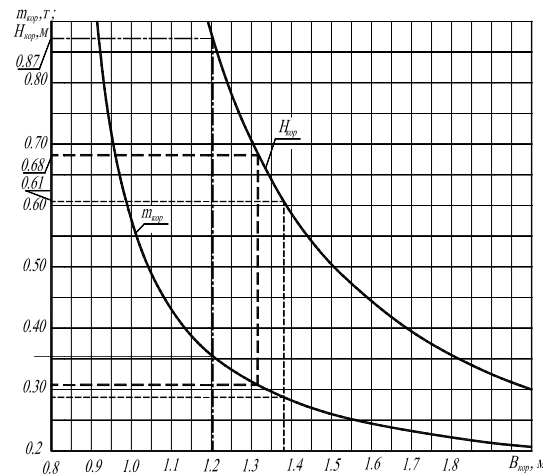


Рис. 3. Безопасная высота борта и масса корпуса для машины ЛФМП-1-II; ———— параметры по условию подобия; - - - - - параметры при увеличении ширины до транспортного габарита; - - - - - скорректированная высота борта и масса корпуса

Определение параметров, последующих за ЛРМ, ЛФМП 1 элементов ряда связано с ограничением предельных габаритов по ширине из условий доставки ж/д и авиатранспортом в труднодоступные и отдаленные регионы. Приняты во внимание следующие ограничения:

- ширина при транспортировке в автомобиле – 2.3 м.
- ширина при доставке железнодорожным и авиатранспортом – 3.25 м.

Следует учесть, что по сравнению с ЛФМП 1 габаритная ширина может быть уменьшена путем установки движителей в нишах корпуса-понтон. Такое конструктивное решение принципиально не меняет форму корпуса, что позволяет использовать характеристики и параметры ЛРМ ЛФМП 1 также в качестве близкого прототипа.

Оценка массы и мощности последующих элементов ряда ЛФМП

Типоразмер элемента ряда	Диаметр фрезы, м	Ширина прорези, м	Толщина прорезаемого льда, м	Скорость проходки прорези м/ч	Мощность на валу двигателя, кВт	Потребляемая мощность, $N_{\text{дв}}$, кВт	Масса механической части, $m_{\text{мех}}$, т	Требуемый объем корпуса по (10), м ³
III	1.5	0.10	1.2	700	39.8	46.8	2.4	7.72
IV	2.2	0.15	1.8	700	89.5	105.3	5.39	17.4
V	3.2	0.20	2.6	700	172	201.0	10.29	33.2

Исходя из уравнения (6) и относительных характеристик $p_{\text{корп}}$ и $p_{\text{мех}}$, можно вывести зависимость для нахождения объема корпуса, достаточного для размещения механизмов и двигателя заданной мощности:

$$V_{\text{кор}} = \delta_{\text{кор}} \cdot p_{\text{мех}} \cdot N_{\text{дв}} (1 + p_{\text{з.п}}) / [\rho - (1 + p_{\text{з.п}}) \cdot p_{\text{кор}}] \quad (11)$$

Мощность двигателя $N_{\text{дв}}$ для следующих за ЛФМП-1 ЛРМ типоразмерного ряда для ряда дисковых фрез приведена в табл. 2. Используя значение ширины корпуса ЛФМП-1, геометрический масштаб для корпуса элемента ряда № 4 с шириной $B_{\text{габ}} = 2.3$ м составит $\lambda_{\text{кор}} = 1.29$. Полный объем корпуса определится так:

$$V_{\text{кор}} = V_{\text{кор}}^0 \lambda_{\text{кор}}^3 \quad (12)$$

где $V_{\text{кор}}^0$ – объем понтона-корпуса базового прототипа ЛФМП-1.

Следуя (12), для ширины 2.3 м объем составит $V_{\text{кор}} = 10.62$ м³, а для ширины 3.25 м ($\lambda_{\text{кор}} = 1.82$) – $V_{\text{кор}} = 29.8$ м³. Если вычислять объем по формуле (11), то для фрезы с диаметром 1.5 м корпус, имеющий геометрическое подобие, будет иметь лишний объем, но для фрезы 2.2 м объема будет недостаточно. Для диаметра фрезы 3.2 м объема также недостаточно, но в меньшей мере и может быть компенсировано увеличением длины корпуса. При этом отступления от геометрического подобия будут незначительны. Однако для диаметра 2.2 м ЛФМП-1 необходим выбор того размера (длины или высоты борта), который целесообразно увеличить при габарите 2.3 м.

Для IV элемента ряда, который может прорезать лед на большинстве внутренних водоемов и рек, рационален выбор «автомобильной» ширины – 2.3 м. Тогда, чтобы достичь требуемого объема $V_{\text{тр}} = 17.4$ м³, необходимо обеспечить длину:

$$L_{\text{кор}}^{\text{IV}} = V_{\text{тр}} / (\delta_{\text{кор}} \cdot B_{\text{кор}} \cdot H_{\text{кор}}) \quad (13)$$

Взяв значение $B_{\text{кор}} = 2.3$ м и $H_{\text{кор}} = H_{\text{кор}}^0 \cdot \lambda_{\text{кор}} = 1.29$ м ($\lambda_{\text{кор}} = 1.29$, $H_{\text{кор}}^0 = 1$ м – высота у корпуса-понтон ЛФМП-1), из (13) следует $L_{\text{кор}} = 7.7$ м. Кроме этого, требуемый объем $V_{\text{тр}}$ находится с учетом запаса плавучести $p_{\text{з.п}}$ такого же, как у ЛФМП-1. Этот запас точнее определяется посредством зависимости (10), которая в данном случае (при $B_{\text{кор}} = 2.3$ м) пересчитана как функция от $L_{\text{кор}}$. Ее график дан на рис. 4. Из него следует, что высота борта (1.29 м), определенная из условия подобия ниже безопасной (1.75 м). Однако с увеличением длины корпуса безопасная высота борта существенно снижается.

Благодаря этому длина может быть меньше, чем определено ранее по условию (13) (7.7 м). Длина в этом случае находится из условия продольной компоновки, определяемой диаметром фрезы. Вычисляется отношение реальных размеров построенной ЛРМ ЛФМП-1:

$$L_{\text{кор}}^{\text{II}} / D_{\text{ф}} = 2.66 \quad (14)$$

Затем для элемента ряда ЛРМ № 4 с $D_{\text{ф}} = 2.2$ м на основе (14) получим длину $L_{\text{кор}}^{\text{IV}} = 5.86$ м. Из графика на рис. 4 этой длине соответствует высота борта $H_{\text{кор}}^{\text{IV}} = 1.45$ м. Получаемый объем понтона ($V = 14.9$ м³) (см. табл. 4) недостаточен для размещения механической части при таких размерениях, поэтому в соответствии с (13) требуемая длина составит $L_{\text{кор}}^{\text{IV}} \approx 6.9$ м.

Другие основные параметры ЛРМ ЛФМП-1-IV, определенные по приведенным выше формулам, даны далее в табл. 5.

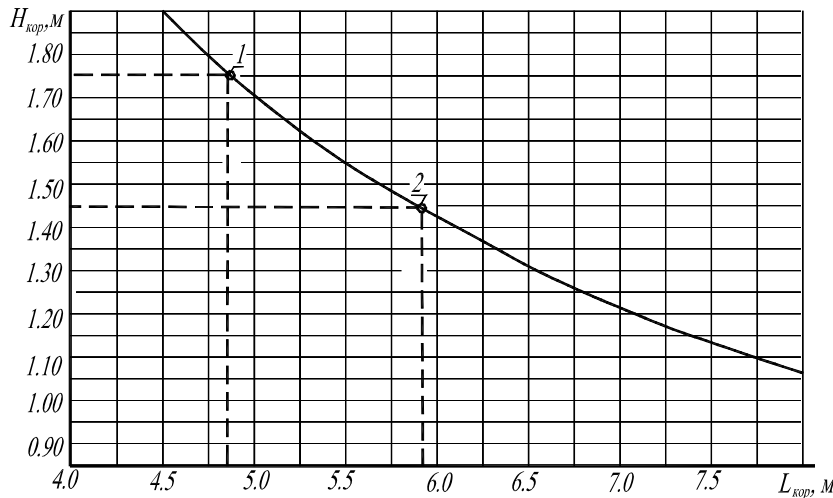


Рис. 4. Безопасная высота корпуса для ЛФМП-1-IV. Точка 1 – габарит по длине по условиям геометрического подобия, точка 2 – длина, необходимая для установки фрезы

Элемент ряда № 3 оснащен фрезой диаметром $D_f = 1.5$, мощность его силовой установки 46.8 кВт. По своим характеристикам он незначительно отличается от ЛФМП-1. В связи с этим длина корпуса-понтон может быть найдена как и для элемента №1, с использованием (7) – $L^{III} = 4.22$ м. По условию компоновки фрезы из (14) хватает длины 4.22 м. Для дальнейшего определения параметров представим зависимость (12) в виде графика (см. рис. 5). Она построена при зафиксированной длине $L^{III}_{кор} = 4.22$ м. Безопасная высота борта для ширины 2.3 м составляет 0.8 м, что ниже, чем из условия подобия: –1.29 м. Размещение механической части в данном объеме (7.72 м^3 , см. табл. 4), когда длина и ширина заданы, требует высоту борта, определяемую отношением:

$$H_{кор} = V_{тр} / (\delta_{кор} \cdot B_{кор} \cdot L_{кор}), \quad (15)$$

откуда следует $H^{III}_{кор} = 1.05$ м (точка 1 на рис. 5).

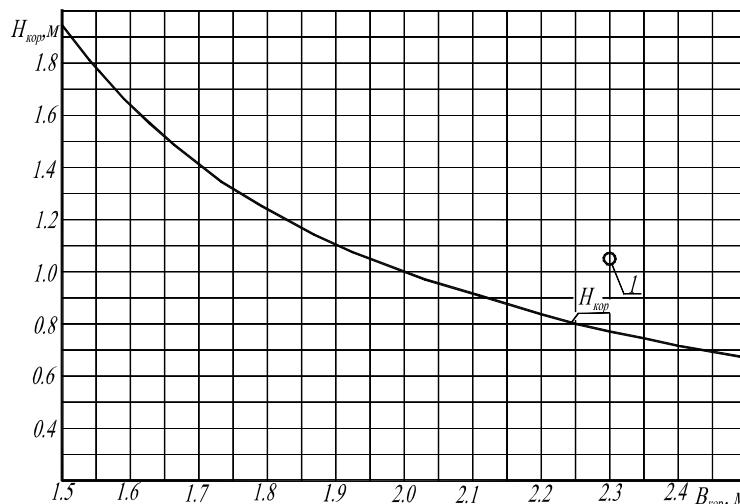


Рис. 5 Величина безопасной высоты борта машины ЛФМП-1-III. 1 – высота борта, необходимая для установки в корпусе механической части

Определенные таким образом размерения размеры корпуса-понтон приняты для элемента № 3 из ряда ЛРМ. Другие рассчитанные характеристики даны в табл. 5.

Размерения понтона-корпуса элемента № 5 находятся подобным образом – ширина ограничена железнодорожным габаритом $B^V_{кор} = 3.25$ м, а из условия подобия длина и шири-

Кулепов В.Ф., Двойченко Ю.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЯДА ПЛАВАЮЩИХ ЛЕДРЕЗНЫХ МАШИН

на будут следующими: $L_{кор}^V = 6.63$ м, $H_{кор}^V = 1.82$ м. Однако по условию установки фрезы диаметром 3.2 м длина корпуса по (14) должна быть 8.51 м.

Результат представленного способа проектирования ЛРМ и их корпусов-понтонів дан на рис. 6, полученные характеристики сведены в табл. 5.

Такой способ и его алгоритм его реализации применим не только для ледорезных, но и других плавающих строительных или технологических машин, предназначенных для эксплуатации на ненадежном ледяном покрове.

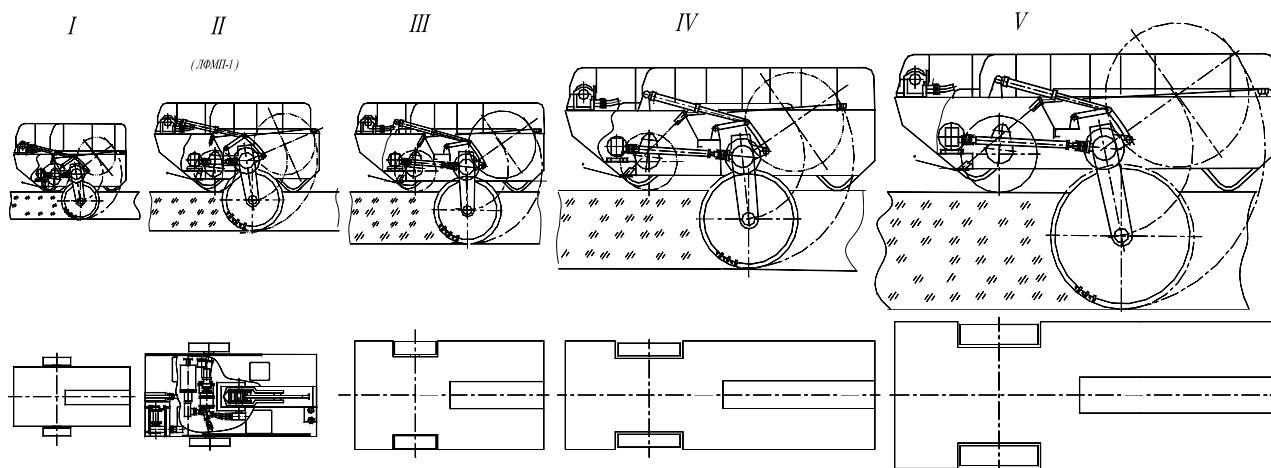


Рис. 6. Наглядное сопоставление типоразмерного ряда плавающих ЛРМ

Таблица 5

Главные конструктивные и производственные характеристики параметрического ряда плавающих дискофрезерных ледорезных машин на основе дискофрезерного рабочего органа

Наименование показателя	Элементы ряда				
	I – ЛФМП-1-I	II – ЛФМП-1	III – ЛФМП-1-III	IV – ЛФМП-1-IV	V – ЛФМП-1-V
Габаритная ширина, м	1.68	2.3	2.3	2.3	3.25
Размерения корпуса, м	1.38x0.68x2.48	1.78x1.0x3.65	2.3x1.05x4.22	2.3x1.45x6.9	3.25x1.6x8.51
Мощность, кВт	9.6	30	46.8	105.3	201.0
Масса корпуса, кг	321	895	1404	3171	6098
Масса механизмов, кг	492	1535	2400	5390	10290
Масса ЛРМ, кг	813	2420	3804	8561	16388
Тяговое усилие лебедки, кН	5.5	18	26	63.5	122
Безопасная толщина на сплошном льду, м	0.11	0.19	0.24	0.36	0.50
Безопасная толщина вблизи свободной кромки, м	0.18	0.31	0.39	0.60	0.83

ЛИТЕРАТУРА

1. Погорелова, А. В. Движение тонкого тела под пластиной в жидкости конечной глубины / А. В. Погорелова В. М. Козин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2012. – Т. 4. – № 1. – С. 90-93.
2. Домбровский, Н. Г. Унификация, агрегатирование и стандартизация машин для строительства / Н. Г. Домбровский // Изв. вузов «Строительство и архитектура». – 1979. – № 6. – С. 112-123.
3. Эпштейн, Л. А. Методы теории размерностей и подобия в задачах гидромеханики судна / Л. А. Эпштейн. – Л.: Судостроение, 1970. – 207 с.
4. Вицинский, В. В. Основы проектирования судов внутреннего плавания / В. В. Вицинский, А. П. Страхов. – Л.: Судостроение, 1970. – 454 с.
5. Кулепов, В. Ф. Исследование влияния геометрических характеристик несущего корпуса-понтонів на обеспечение надежности и безопасности ледорезных машин в сложных условиях эксплуатации / В. Ф. Кулепов, Ю. А. Двойченко, А. Л. Малыгин // Труды НГТУ-Т.45. – Нижний Новгород, 2004. – С. 110-114.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
EARTH SCIENCES AND LIFE SAFETY

Верхотуров А. Д., Макиенко В. М., Воронов Б. А., Коневцов Л. А.
A. D. Verkhoturov, V. M. Makienko, B. A. Voronov, L. A. Konevtsov.

О НОВОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАУКИ В СВЯЗИ С НЕОБХОДИМОСТЬЮ РЕШЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА, В ТОМ ЧИСЛЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ

ON A NEW DEFINITION OF SCIENCE WITH REGARD TO THE NEED OF RESOLVING MANKIND'S GLOBAL PROBLEMS, INCLUDING ENVIRONMENT



Верхотуров Анатолий Демьянович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем ДВО РАН (Россия, Хабаровск). E-mail: Verhoturov36@mail.ru.

Mr. Anatoly D. Verkhoturov – Doctor of Engineering, Professor, Senior Research Fellow, Institute for Water and Environmental Problems, the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: Verhoturov36@mail.ru.



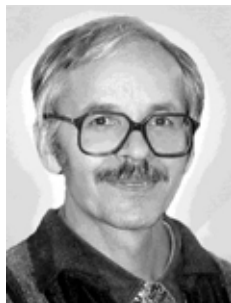
Макиенко Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология металлов» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Россия, Хабаровск). E-mail: mvm_tm@festu.khv.ru.

Mr. Victor M. Makienko – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Materials Technology, the Far-Eastern State Transport University (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: mvm_tm@festu.khv.ru.



Воронов Борис Александрович – доктор технических наук, профессор, директор Института водных и экологических проблем ДВО РАН (Россия, Хабаровск). E-mail: ivep@ivep.as.khb.ru.

Mr. Boris A. Voronov – Doctor of Engineering, Professor, Director of the Institute for Water and Environmental Problems, the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: ivep@ivep.as.khb.ru.



Коневцов Леонид Алексеевич – научный сотрудник УРАН Института материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН (Россия, Хабаровск). E-mail: konevts@narod.ru.

Mr. Leonid A. Konevtsov – Research Fellow, Institute of Materials Technology, Khabarovsk Research Centre of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: konevts@narod.ra.

Аннотация. В работе приведены цели и задачи, а также новое определение науки на данном этапе её развития. Показано, что наука – это сфера разумной деятельности человечества, направленной на выработку, обобщение и систематизацию научных знаний с целью создания искусственной природы, способствующей развитию цивилизации в гармонии с естественной природой во благо человечества.

Summary. The paper deals with the goals, tasks and a new definition of science at today's stage of its development. It is demonstrated that science is the area of anthroposphere aimed at attaining, generalizing and systematizing scientific knowledge in order to create "artificial" nature conducive to the development of civilization in harmony with the "natural" nature for the benefit of humankind.

Ключевые слова: экология, наука о материалах, методология.

Key-words: environment, materials science, methodology.

УДК 001:167

Введение. Один из основателей науковедения Д.Д. Бернал писал [1]: «Наука так стара, на протяжении своей истории претерпевала столько изменений..., что любая попытка дать определение науки, а таких имеется немало, может выразить более или менее точно лишь один из аспектов, и часто второстепенный, существующий в какой-то период её развития». Берналу не удалось сформулировать определения науки в связи с многогранностью её целей и задач. На наш взгляд, на различных этапах развития науки менялись её цели, задачи, предмет исследования, концептуальные основы, а, следовательно, и определения. Когда-нибудь перед человечеством возникнет глобальная проблема переселения на другие планеты – будут новые цели, задачи, предмет исследования науки и её новое определение. А пока есть проблема выживания и развития человечества на Земле.

Существуют «десятки определений науки» [2], отражающие в той или иной мере современные взгляды научного сообщества на цели, задачи, предмет исследования и её концептуальные основы. Для решения поставленных задач в данной работе предложена следующая аксиома: определение науки должно включать, по крайней мере, современные цели, задачи, предмет и объект исследования, концептуальные и методологические основы с учётом глобальных интересов человека и человеческого общества.

Общепринятые определения науки. В ряде известных энциклопедических изданий предлагаются сходные определения науки: «Наука – сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация знаний о действительности: включает как деятельность по получению нового знания, так и её результат – сумму знаний, лежащих в основе научной картины мира». В определении, на наш взгляд, отсутствуют предмет исследования, концептуальные основы, а также глобальные интересы человечества. Другие определения:

- наука – это система знаний о закономерностях развития природы, общества, мышления [3];

- наука является одним из компонентов культуры, выступает способом получения объективных знаний о мире и человеке, осуществляя одну из важнейших функций культуры – познавательную, мировоззренческую, гуманистическую, общекультурную [4];

- наука – сфера исследовательской деятельности, направленной на получение новых знаний о природе, обществе и мышлении [5];

- наука – форма человеческой деятельности, направленная на познание и преобразование объективной действительности [6];

- наука – деятельность по производству объективно-истинного знания и результат этой деятельности – практически проверенное знание [7];

- наука – это форма духовной деятельности людей, направленная на производство знаний о природе, обществе и о самом познании, имеющая непосредственной целью постижение истины и открытие объективных законов на основании обобщения реальных фактов и их взаимосвязи для того, чтобы предвидеть тенденцию развития действительности и способствовать её изменению [8].

Чаще науку определяют как сферу человеческой деятельности, направленную на полу-

чение и систематизацию знаний. В этой связи возникает вопрос: «А какой прок от этой деятельности, что она даёт реально человеку и человеческому обществу?». И только в немногих определениях науки отмечается необходимость её для преобразования объективной действительности [6, 8]. Но ведь производство оружия массового поражения, загрязнение рек и морей, истощение природных ископаемых – тоже преобразование объективной действительности. Очевидно, необходимы преобразования, соответствующие глобальным интересам человеческого общества, а не частным или корпоративным. Этому вопросу уделял значительное внимание Г.В. Лейбниц: «...Можно смело сказать, что прочные знания суть величайшее сокровище человеческого рода. Мы обязаны его употребить с толком и приумножить не только для того, чтобы передать потомкам в лучшем виде, нежели оно нам досталось, но и, конечно же, для того, чтобы извлечь из него, насколько это возможно, выгоду для самих себя во имя усовершенствования духа, ради здоровья тела и удобства жизни» [9]. В [8] такое направление заключений Лейбница считается основополагающим для всей философии (см. рис. 1).

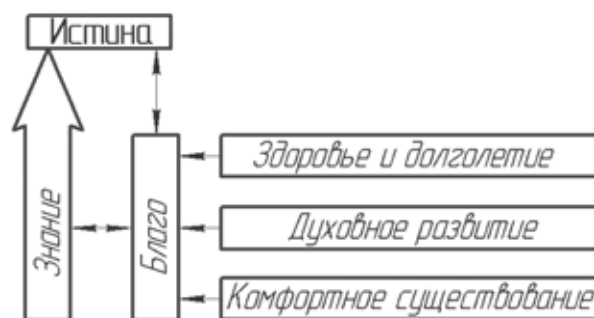


Рис. 1. Достижение знаний и истины (по Г.В. Лейбницу)

Аналогичного взгляда придерживался и Ф. Бэкон [10]: подлинная цель науки «не может быть другой, чем надление человеческой жизни новыми открытиями и благами». Очевидно, что человек должен и вынужден преобразовывать естественную Природу в искусственную («вторую природу» [3], «очеловеченную Природу» [11]), которая постепенно и неотвратимо наступает на естественную и поглощает её. Ещё Цицерон отмечал: «Наши руки как бы создают в природе вторую природу» [12].

Техногенная цивилизация за 300 лет, особенно в последние годы XX века, оказалась чрезвычайно подвижной и весьма агрессивной. Она начала не только ускоренно «опустошать», загрязнять естественную природу, но и подавлять, поглощать традиционные общества и культуры. Сегодня этот процесс именуется глобализацией и идёт по всему миру, при этом неизмеримо возрастает общепланетарное единство человечества, как принципиально новая суперсистема с общей судьбой и ответственностью, целями и задачами. Глобализация, наряду с положительными сторонами, имеет и значительные отрицательные, которые получили название «глобальных проблем современности»: экологических, демографических, этнических, политических и так далее. При этом на передний план выходит экологическая проблема, связанная с возможностью и перспективами выживания человечества [11,13]. Суть её – в углубляющихся и обостряющихся противоречиях между производственной деятельностью человечества и стабильностью его обитания в природной среде. Общие черты глобальных проблем:

- носят планетарный, общемировой характер и в силу этого затрагивают жизненные интересы всех народов и государств;
- угрожают или гибелью цивилизации, этносов или значительным регрессом в условиях жизни, развитии общества;
- решение проблем требует коллективных усилий как развитых государств, так и всего мирового сообщества.

Очевидно, что именно люди с научными знаниями и мощной техникой, отстаивающие

частнособственнические интересы, сыграли главную роль в формировании нынешней угрожающей экологической обстановки.

Важнейшая роль науки на данном этапе её развития – направить деятельность человечества на развитие гармоничных отношений между естественной и искусственной природой во Благо человека, что также должно быть отражено в определении науки. Для окончательной формулировки определения науки (см. рис. 2) необходимо предварительно изучить и проанализировать цель, задачи, предмет научной деятельности, субъект науки, её концептуально-методологические основы.

Цель науки. В [14] отмечается, что научную деятельность трудно свести к единой цели. В связи с этим условно подразделяют цели науки на внешние (прикладные) и внутренние (теоретические). Делается вывод, что науки свободно варьируют свои цели, но их стратегическим направлением является достижение истинных и глубоких знаний о мире. Под влиянием трудностей формирования общей цели для науки ряд авторов (например, Ларри Лаудан и другие) выдвигают тезис, что не существует единственной цели, которая охватывала бы все науки, а есть подвижный комплекс целей, изменяющихся в ходе научной деятельности.



Рис. 2. Составляющие элементы науки

Целью человеческой деятельности для всей древнегреческой философии было достижение блаженства [15], «человек есть существо, устремлённое к Благу» [8] и он способен с помощью разума понять, что такое Благо. Следует отметить, что величайшие мыслители древности вопросы о Благе, взаимоотношении человека и общества считали одними из основных в их философии. Сократ по существу превратил добродетель в знание того, что такое Благо. Он уповал на знание Блага как необходимое и достаточное условие добродетели [16]. Его ученики утверждали, что человек стремится к удовольствию, испытывает отвращение к страданиям – отсюда критерии поведения, но они не считали удовольствие целью жизни: мудрость состоит в том, чтобы пользоваться жизненными благами, господствуя над ними, не рабствуя им. Радость даётся мудростью, а печаль неразумием. Демокрит подчёркивал идеал государственного устройства, в котором судьба общества связана с судьбой индивида. При этом он полагал, что благое состояние духа достигается соблюдением возлагаемых на себя задач по общественной, личной жизни и своим способностям. По Платону всеобщие нравственные характеристики бытия – Истина, Благо, Красота. В учении о Благе он утверждал, что Благо – единство добродетели и счастья, прекрасного и полезного, нравственно доброго и приятного. Заключение Платона о необходимом возвышении человека к Благу через философию, то есть науку в современном понимании – глобальная, стратегическая задача, которую никак не поймут не только обычные люди, но и “сильные” мира сего. Предложением Платона была новая модель государства как решение проблемы человек – человеческое общество. Аристотеля разумная деятельность человека привлекала, прежде всего, достижением блаженства – нравственная деятельность есть деятельность, основанная на разуме. Он понимал смысл жизни не в удовольствиях, не в счастье, а в осуществлении требова-



ний разума, как он писал в «Политике», всякое государство есть общение, а общение всегда происходит ради Блага. Эпикур – основоположник эпикурейского учения, которое провозглашало наслаждение, то есть свободу от страданий и покой души, высшим Благом жизни. Общество он представлял как сумму индивидов, каждый из которых стремится к удовольствиям, действуя так, чтобы не мешать другим. Из принципа удовольствия он вывел понятие справедливости на основе общественного соглашения не вредить друг другу: «Справедливость для всех одна, потому что она есть нечто полезное всем». Таким образом, вопрос о Благе и взаимосвязанных вопросах добра, добродетели, этики для устройства человеческого общества был одним из основных у древних мыслителей. Однако они, несмотря на поразительную современное человечество гениальность их мыслей и идей, не могли предвидеть назревающих экологической и духовной катастроф современного мира.

Ныне ядерный проект, ракетно-космический, компьютерный, биотехнологический, материаловедческий, социальный и другие – формируют новый вектор развития науки. К сожалению, в современной философии не уделяется внимания Благам и развитию его понимания. Сегодня общепризнанная цель науки – выработка научных знаний, их систематизация и постижение истины. Всё было бы понятно, если бы, как опять точно определил Лейбниц, что «цель науки – благоденствие человеку, то есть приумножение всего, что полезно людям, но не ради того, чтобы потом предаться безделью. Для поддержания добродетели и расширения знаний всякий талант обязан внести свою лепту» [9]. Он видел, что цель науки состоит в достижении Блага для человеческого общества. Сейчас человечество поняло, что «пить воду надо из природного источника», что без формирования ответственности «нового» разумного человека цивилизация может погибнуть. Следовательно, основной целью науки на данном этапе является гармоничное сосуществование и сочетание естественной Природы и искусственной, создаваемой человеком «для удовлетворения его возрастающих материальных и духовных потребностей». Несомненно, одной из главных целей науки является «выработка и систематизация знаний». Но этого мало. Как утверждал великий Аристотель, без обобщения знаний нельзя говорить о науке: нет обобщения – нет науки. Таким образом, можно утверждать, что цель науки должна включать в себя выработку, систематизацию и обобщение знаний во имя Блага человека и человеческого общества.

Задачи науки. Анализ литературных источников, относящихся к развитию науки, философии науки, показывает, что задачи науки, так же, как и её цели, многоплановы и в настоящее время их трудно свести к единым. Ближайшие задачи науки во многом определяются рекомендациями правительств, плановых органов, корпоративными интересами и так далее. Например, в Японии были изданы прогнозы и детальные задачи науки и техники до 2025 г. [17]. В РФ разработаны и утверждены правительством приоритетные направления развития науки, технологий и техники, Перечень критических технологий (подписанный президентом В. Путиным в 2002 г.). Роль в определении задач науки принадлежит всё в большей мере государству, группе лиц, частнособственническим интересам, а научная деятельность приобретает социально-детерминированный, этнополитический характер и даже претерпевает религиозное влияние. Отсутствие глобальных задач науки не способствует созданию задач краткосрочных.

По нашему мнению, глобальной задачей науки является разработка и обоснование идей по преобразованию естественной Природы и созданию в гармонии с ней «второй природы», формированию «нового» высочайшей степени ответственного, разумного человека и обществ, живущих в гармонии друг с другом и Природой. Задачей науки является разработка и претворение этих идей в жизнь во Благо человечества, устойчивого и ускоренного развития человеческой цивилизации. При этом важнейшими деталями являются экология и нравственность человека [13]. Справедливо в [18] подчёркивается: «Нравственный и экологический императив – нераздельное целое». Речь идёт о выработке и реализации стратегии развития человечества, которая требует создания планетарных органов, несущих чрезвычайно жёсткую, в том числе и личную ответственность, ориентированную на безусловное отсут-

ствие каких бы то ни было ошибок, по сохранению и процветанию человечества с опорой на достижения науки.

Предмет научной деятельности. «Во всех без исключения философских системах рассуждения мыслителей любого уровня начинались с анализа того, что окружает человека, что находится в центре его созерцания и мысли, что лежит в основе мироздания» [6]. Всё это в целом составляет «феномен бытия». Постигание бытия, раскрывавшееся с разных сторон и с разной степенью полноты, неотделимо от науки и представляет предмет её исследования. Если на ранней стадии человека окружала естественная природа, то сейчас преимущественно преобразованная, «искусственная». Во всё большем масштабе предметом исследования становятся космос и нанотехнологии, приоритетным же направлением является взаимосвязь естественная природа – искусственная природа – человек.

Следовательно, предметом исследования науки является: естественная и искусственная природа, человек, а также его идеи, символы, образы и деятельность, отображающие существование и развитие цивилизации.

Субъектом науки всегда остаётся человек. Чем выше уровень развития науки, технологического производства, тем выше степень развития человечества и его влияния на Природу. Люди издревле высоко оценивали роль учёного, мудреца. Сегодня это общепринятое мнение, к сожалению, утрачивает свою значимость, мы стоим на пороге, а в некоторых случаях перешагнули переход к стадии «научного производства» [19]. Научная работа, научные исследования становятся аналогом «мануфактурной фабрики» с жёстким разделением труда. При этом экспериментальная наука вместо непосредственного изучения реальных процессов и объектов часто переходит к компьютерным экспериментам, моделированию ввиду отсутствия денег на оборудование, приборы, материалы.

Исследователь в возрастающей степени использует современную информационную среду, интернет, что приводит к изменению «пространства научного труда», целей, задач и способов получения результатов и удалению учёного от общения с естественной Природой. Кроме того, на изменение условий работы учёного значительное влияние накладывают частнособственнические и бюрократические интересы, которые приводят к ограничению доступа к главной сокровищнице человечества – информационным ресурсам и новым технологиям, к субъективной оценке труда учёного в едином процессе обнаружения истины. Таким образом, основной субъект науки – учёный – становится частью глобальной «социальной машины», при этом система предусматривает ему место с определённой долей ресурсов и возможностей. В этой обстановке субъекту науки труднее раскрыть заложенный в него от природы научный потенциал. В результате интеллект учёного сочетается с интеллектом субъектов «социальной машины» человеческого общества, то есть властью бюрократии.

Ещё Аристотель понимал, что положение человека в обществе определяется собственностью (в наше время зарплатой). И если зарплата госслужащего выше зарплаты учёного, а условия его работы ниже общемировых, то или не будет «правильной» науки, или будет напряжение в обществе. Не зря сейчас в России, мягко говоря, нет идей [20], а ведь были же! Учёный, как существо, «устремлённое к Благу», в большей мере в нём нуждается, особенно культурном, духовном, в адекватном отношении общества. Перефразируя известное изречение, можно сказать: «Не будем кормить своих учёных, будем кормить чужих» (но в большей степени).

Концептуально-методологические основы науки. В [21] показано, что в настоящее время «систематизация и теоретическая рефлексия знаний о науке не ведёт к появлению согласованного и принятого всем научным сообществом представления о науке, дискутируется сама установка – найти общепонятную концепцию науки». В работе [22] значительная часть посвящена основным концепциям философии науки. Рассмотрены вопросы рационализма и эмпиризма в теории познания, философия науки Канта, Витгенштейна, логический позитивизм, постпозитивизм, а также постпозитивистские модели науки на материале физики. Особый интерес представляет сравнение моделей Карла Поппера, Имре Лакатоса и Томаса Куна,



Стивена Тулмина. Для сравнения ограничимся двумя принципиально отличающимися концепциями философии науки: Поппера и Куна.

Центральным положением концепции Поппера является концепция фальсификации. Её суть в том, что эмпирические наблюдения никогда не могут установить истинность научного знания. По Попперу возможность опровержения и есть критерий, по которому отличается наука от не науки.

Другой подход к науке у Куна, он предложил в качестве фундаментальной концепции для объяснения феномена роста и сменяемости научных знаний понятие «парадигмы». Термин «парадигма» означает всю совокупность убеждений, ценностей, механических средств и так далее, которая характерна для данного (современного) сообщества. По словам Куна [23], парадигму составляют «...признанные всеми научные достижения, которые в течение определённого времени дают модель постановки проблем и их решений научному сообществу», то есть парадигма, по существу, является концептуальной основой науки на период её действия. К парадигмам Кун причислил, например, аристотелевскую динамику, птолемеевскую и ньютоновскую механику, химию Лавуазье и так далее. Развитие и приращения научного знания в рамках такой парадигмы было им названо «нормальной наукой». Получившая наибольшее признание модель развития Куна отображает динамику науки. При этом структура научного знания при всех моделях науки (концепция устойчивого развития) оставалась постоянной: выработка знаний → систематизация знаний → практика. В настоящее время такая концепция не может уже удовлетворять научное сообщество и должна учитывать реалии жизни человеческого общества. По нашему мнению, концепция современной науки должна определяться следующей схемой: выработка знаний → обобщение знаний → систематизация знаний → {сохранение естественной природы + создание искусственной природы + формирование нового человека} → Благо всеобщее.

Определение науки. На основании изложенного материала можно предложить новое определение науки на данном этапе её развития.

Наука – сфера разумной деятельности человечества, направленной на выработку, обобщение и систематизацию научных знаний с целью создания искусственной природы, способствующей развитию цивилизации в гармонии с естественной природой во имя Блага Человека и человечества.

Известны слова К. Маркса о том, что все науки сольются в единую. Имеется в виду возврат к исходному однозначному положению: один объект (предмет) – одна наука, но возврат на иной, более высокой основе. Имеется один объект – Всеобщее Благо. В [24] утверждается, что наука в настоящее время в своём развитии достигла своих естественных границ. «Наши представления об окружающем мире достигли такой стадии, когда дальнейшее увеличение массива знаний уже не может изменить фундаментальных принципов, когда конструирование и формирование «скелета» научных знаний практически завершено». Далее утверждается [24, 26], что наука приблизилась в наше время к точке своей первой парадигмальной бифуркации, к точке коренной ломки научного мировоззрения, и «скоро нас ожидает новый путь» (авторы, очевидно, считают, что новые эпохальные открытия нас ожидают в области физики). Во многих изданиях, посвящённых науке, отчётливо прослеживается мысль: основа науки – естествознание, основа естествознания – физика [11, 22]. Однако положение меняется, если основой науки является достижение Всеобщего Блага, о котором мечтали ещё древние мыслители. В данной обстановке особенно возрастает роль философии, философии науки, выработки знаний о Благе, что отвечает современному историческому этапу развития человечества.

Следует отметить, что предлагаемое определение науки не является принципиально новым, а отражает «эпистемологический поворот» к её истокам, который обсуждался в [25]. Можно согласиться в этом случае с А.П. Павленко, что в обращении к пифагорейско-платоновско-аристотелевским истокам науки могут быть достигнуты не только принципиально новые понимания устройства Вселенной, но и изменения вектора развития науки, особенно в сложных, переломных этапах её развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернал, Дж. Наука в истории общества / Дж. Бернал. – М.: Наука, 1956. – 735 с.
2. Верхотуров, А. Д. Неделя материалов / А. Д. Верхотуров, И. В. Сокол // Неорганические материалы. – 1996. – № 2. – С. 32.
3. Новый иллюстрированный энциклопедический словарь / ред. А. П. Горкин. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2000. – 912 с.
4. Игнатова, В. И. Естествознание / В. И. Игнатова. – М.: Академкнига, 2002. – 254 с.
5. Основы научных исследований / В. И. Крутов [и др.]. – М.: Высш. шк., 1989. – 400 с.
6. Спиркин, А. Г. Философия / А. Г. Спиркин. – М.: Гардарики, 2007. – 368 с.
7. Голубинцев, В. О. Философия науки / В. О. Голубинцев, А. А. Данцев, В. С. Любченко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 541 с.
8. Кохановский, В. П. Философия науки / В. П. Кохановский, В. И. Пржиленский, Е. А. Сергодеева. – М.: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д.: Изд. Центр «МарТ», 2006. – 496 с.
9. Лейбниц, Г. Ф. Сочинения. В 4 т. Т. 3 / Г. Ф. Лейбниц. – М.: Мысль, 1982. – 480 с.
10. Бэкон, Ф. Новый органон. Сочинения. В 2 т. Т. 2 / Ф. Бэкон. – М.: Мысль, 1978. – 575 с.
11. Радугин, А. А. Философия / А. А. Радугин. – М.: Центр, 1999. – 272 с.
12. Тарханов, П. С. Эмоции ума / П. С. Тарханов // Книга всемирных рекордов интеллекта. Т. 1. – Симферополь: Изд-во «Ренеме», 1997. – 464 с.
13. Данилов-Данильян, В. И. Водные ресурсы – стратегический фактор долгосрочного развития экономики России / В. И. Данилов-Данильян // Вестник РАН. – 2009. – Т. 79. – № 9. – С. 789-797.
14. Ушаков, Е. В. Введение в философию и методологию науки / Е. В. Ушаков. – М.: КНОРУС, 2008. – 592 с.
15. Лихин, А. Ф. Концепции современного естествознания / А. Ф. Лихин. – М.: Изд-во «Проспект», 2006. – 264 с.
16. Богомолов, А. С. Античная философия / А. С. Богомолов. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 368 с.
17. Шестой японский прогноз развития науки, техники и технологии до 2025 г. / под ред. В. Я. Бело-брагина, Л. Г. Дубовицкого. – М.: Изд-во АСТМС Госстандарта России, 2001. – 612 с.
18. Моисеев, Н. Н. Экология, нравственность и политика / Н. Н. Моисеев // Вопросы философии. – 1989. – № 5. – С. 5-15.
19. Скворчевский, К. А. Наука как социальный институт / ред. А. И. Липкина // Философия науки. – М.: Эксмо, 2007. – 608 с.
20. Третьяков, Ю. Д. Уроки зарубежного нанобума / Ю. Д. Третьяков, Е. А. Гудилин // Вестник РАН. – Т. 79. – № 1. – 2009. – С. 3-17.
21. Розин, В. М. Наука: происхождение, развитие, типология, новая концептуализация / В. М. Розин. – М.: Изд-во МПСИ; Воронеж: изд-во НПО «МОДЭК», 2008. – 600 с.
22. Клюев, Н. Н. Россия на мировой карте социального благополучия / Н. Н. Клюев // Вестник РАН. – 2009. – Т. 79. – № 7. – С. 637-642.
23. Кун, Т. Структура научных революций / Т. Кун. – М.: Прогресс, 1977. – 300 с.
24. Савченко, В. Н. Начала современного естествознания. Концепции и принципы / В. Н. Савченко, В. П. Смагин. – Ростов-на-Дону.: Феникс, 2006. – 608 с.
25. Павленко, А. Н. Эпистемологический поворот / А. Н. Павленко // Вестник РАН. – 1997. – Т. 67. – № 5. – С. 424-432.
26. О новых направлениях развития науки о материалах / А. Д. Верхотуров, А. М. Шпилев, А. И. Евстигнеев, В. М. Макиенко, Л. А. Коневцов // Ученые записки КнАГТУ. Науки о природе и технике. – 2012. – № II-1(10). – С. 65-77.



Верхотуров А. Д., Макиенко В. М., Серенко А. Ф. Коневцов Л. А.
A. D. Verkhoturov, V. M. Makienko, A.F. Serenko, L.A. Konevtsov.

**НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ,
А ТАКЖЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
РЕСУРСОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ**

**ON CERTAIN METHODOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL APPROACHES TO AND
TECHNOLOGY-RELATED ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN RE-
GIONS WITH MAINLY EXTRACTIVE/MINING INDUSTRY**

Верхотуров Анатолий Демьянович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем ДВО РАН (Россия, Хабаровск). E-mail: Verhoturov36@mail.ru.

Mr. Anatoly D. Verkhoturov – Doctor of Engineering, Professor, Senior Research Fellow, Institute for Water and Environmental Problems, the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: Verhoturov36@mail.ru.

Макиенко Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология металлов» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Россия, Хабаровск). E-mail: mvm_tm@festu.khv.ru.

Mr. Victor M. Makienko – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Materials Technology, the Far-Eastern State Transport University (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: mvm_tm@festu.khv.ru.

Серенко Андрей Федорович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Россия, Хабаровск). E-mail: prn@festu.khv.ru.

Mr. Andrey F. Serenko – Doctor of Engineering, Professor, Provost for Research, the Far-Eastern State Transport University (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: prn@festu.khv.ru.

Mr. Leonid A. Konevtsov – Research Fellow, Institute of Materials Technology, Khabarovsk Research Centre of the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: konevts@narod.ra.

Leonid A. Konevtsov – Researcher, Institute of Materials Technology, Khabarovsk Research Centre the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, Khabarovsk). E-mail: konevts@narod.ra.

Аннотация. В данной работе рассматриваются важнейшие проблемы, возникшие перед человечеством – истощение природных ресурсов и экологическая опасность. Показано, что рациональное использование минерального сырья с глубокой его переработкой в районах добычи является одним из ключевых разделов стратегии устойчивого развития и экологической безопасности регионов.

Summary. The paper reviews two of the most urgent problems facing humankind: depletion of natural resources and threats to environmental safety. It is demonstrated that sustainable use of resources coupled with their deep processing in the regions of extraction is one of the key points of the sustainable development strategy and environmental safety of such regions.

Ключевые слова: экология, минеральное сырье, технология.

Key-words: environment, mineral resources, know-how.

УДК 620.22

Важнейшими проблемами, возникшими перед человечеством на рубеже XX – XXI веков, являются истощение природных, прежде всего невозобновляемых, минеральных ресурсов и все возрастающая экологическая опасность. Критический уровень отношений между человеком, обществом и природой, дефицит ресурсов и деградация окружающей среды выливаются в конфликт интересов на международном и национальном уровнях [6; 8]. Конференция ООН, состоявшаяся в 1992 г. в г. Рио-де-Жанейро, рассмотрела глобальную программу «Повестка дня на XXI век», сгруппировав ее содержание в разделах: социально-экономические аспекты, сохранение и рациональное использование ресурсов, усиление роли населения и основных средств существования в развитии человеческого общества, природы и создаваемой человеком «второй природы» для предотвращения назревающего глобального кризиса.

В России разработка концепции устойчивого развития началась в 1994 г., но без широкого её обсуждения в обществе. Проект такой концепции, несмотря на доработки, был подвергнут серьезной критике. В связи с этим ведущие ученые и известные общественные деятели настоятельно обращали внимание на необходимость разработки национальной стратегии устойчивого развития России и отдельных её регионов. В 2000 г. на основе результатов комплексных исследований крупнейших ученых (в том числе 15 академиков) более 20 ведущих институтов РАН был опубликован капитальный научный труд «Новая парадигма развития России в XXI веке» [8].

В указанной работе на примере отдельных регионов показано, что проблемы их устойчивого развития, как и России в целом, теснейшим образом связаны с рациональным использованием природно-ресурсного потенциала. Наибольший интерес в рассматриваемом нами аспекте представляют главы первая и девятая. В частности, академики В.А. Коптюг, В.М. Матросов, Г.А. Заварзин и их соавторы [8, 1-26] отмечают, что особенно болезненно воспринимается стержневое положение действующей сейчас рыночной экономики – погоня за максимальной прибылью: безудержно экспортируя минеральное сырье, Россия «проедает» саму себя. Добыча и, к сожалению, пока еще лишь частичная переработка полезных ископаемых, по мнению академика И.П. Дружинина [8, 322-328], имеет достаточно большой удельный вес в хозяйственной деятельности субъектов ДФО. По мнению [1], в 2005 г. распределение добычи полезных ископаемых составляло от 3 – 6 % в Хабаровском и Приморском краях, Амурской и Магаданской областях, до 18 % в Сахалинской области и 60 % в республике Саха-Якутия.

Необходимо учитывать, что многие наиболее рентабельные месторождения (железных и урановых руд, цветных и благородных металлов и т.д.) остались в других республиках после распада СССР. Хотя Россия и сохранила огромные богатства природных минеральных ресурсов, разработка месторождений в Сибири и на Дальнем Востоке в связи с дорогой инфраструктурой приобретает высокую стоимость и становится малорентабельной: сейчас на мировом рынке малоконкурентны дальневосточное олово, медь, вольфрам, цинк и свинец [1; 5]. Поэтому переход к рациональному использованию минерального сырья с глубокой его переработкой в районах добычи является одним из ключевых разделов стратегии устойчивого развития регионов и страны в целом. К примеру, на смену гигантским, обремененным огромными затратами ГОКа и приискам должны прийти более мелкие и динамичные горнодобывающие (горнометаллургические) структуры, работающие на самом высокотехнологическом уровне [3; 4].

Разрабатывая проект национальной стратегии устойчивого развития, В.А. Коптюг, В.М. Матросов, Г.А. Заварзин и их соавторы [6] подчеркивали важность обеспечения страны природными ресурсами и сочли целесообразным выделить из 130 учитываемых ими индикаторных характеристик следующие показатели:

- количество запасов и сокращение ресурсов минерального сырья (индикаторы текущего состояния);
- отношение потребителя ресурсов к невозобновляемым запасам (индикаторы корректировки действий);

- рекомендуемые объемы добычи полезных ископаемых (индикаторы социально-экономических механизмов действия).

К сожалению, большинство из этих важнейших методологических разработок в окончательный вариант стратегии развития России в XXI веке [8] не вошло.

Более того, академики Г.С. Голицын, Ю.В. Фролов [8, 301-308], разрабатывая методологические и информационные основы текущего состояния регионов и системные подходы к определению возможных стратегий перехода к их устойчивому развитию, выделяют четыре блока такой оценки: социально-экономический; промышленно-технологический; медико-биологический; эколого-геофизический (см. рис. 1). По нашему мнению, справедливо устанавливается, что для каждого из этих блоков существуют процедуры мониторинга и получения объективных оценок их текущего состояния (диагноз), оперативного тактического и стратегического развития (прогноз), что в конечном случае обеспечивает разработку стратегии перехода к устойчивому развитию. Тем не менее удивляет, что названные авторы пренебрегли выделением «горно-перерабатывающего» блока, непосредственно связанного с блоком промышленно-технологическим и опосредовано – с блоком эколого-геофизическим. Кроме того, в работе [8] не показаны методология и подходы для превращения «типично сырьевых» регионов в регионы с развитой структурой предприятий, перерабатывающих природное сырье в материалы и изделия, т.е. в промышленно развитые районы с комфортным проживанием людей в экологически приемлемых условиях.

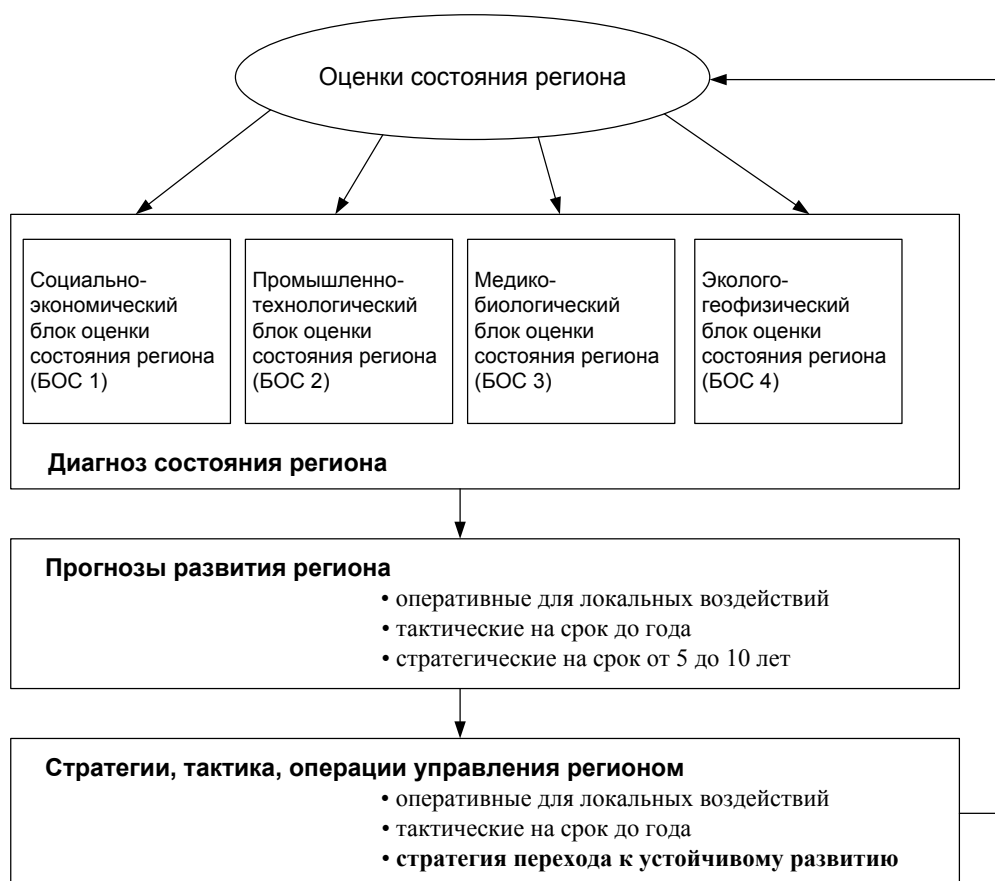


Рис. 1. Стратегия устойчивого развития регионов в соответствии с задачами диагноза его состояния, прогноза и управления [2]

Несколько иной подход к развитию «сырьевых» регионов приводится в работе академика В.И. Ишаева [5], который полагает, что без специальной политики и господдержки Дальний Восток может окончательно превратиться в сырьевой придаток динамично развивающихся стран АТР. Утверждая, что сейчас сырьевые отрасли «вытягивают» экономику, он

показывает, что сырьевая специализация региона постепенно исчерпывает свой потенциал. Под руководством В.И. Ишаева разработано несколько сценариев развития ДФО, опирающихся на модернизацию научно-технического потенциала, создание наукоемкой продукции, выпуск продуктов обрабатывающего, в том числе минерально-сырьевого комплекса. По его мнению, ни один из сценариев не может быть использован в чистом виде, но в любом из них центральной составляющей должна стать промышленная политика.

Таким образом, выше рассмотрены два основных подхода к устойчивому развитию ресурсодобывающих регионов:

1) диагностический [8], через диагноз состояния и прогнозы к стратегии устойчивого развития;

2) промышленно-технический [5], через научно-техническую модернизацию промышленного потенциала.

Оба подхода необходимы для решения проблемы устойчивого развития. Однако оба они не учитывают в развернутом виде минерально-сырьевые аспекты безопасности России. Следовательно, необходим более расширенный подход к развитию ресурсодобывающих регионов, не заменяющий рассмотренные выше концепции [5; 8], а дополняющий их введением нового «горно-перерабатывающего» блока в стратегический план (см. рис. 1).

Разработка методологических подходов и технологий к устойчивому развитию ресурсодобывающих регионов является целью настоящего исследования.

Одна из основных проблем ресурсодобывающих регионов заключается в том, что извлекаемое сырье проходит в них лишь первичную переработку, а для получения из него материалов и изделий отправляется в промышленно развитые страны или за рубеж. Ресурсодобывающие регионы получают незначительную часть экономической прибыли по сравнению с регионами, производящими и экспортирующими материалы и изделия.

Новый подход постулирует изменение стратегии развития «сырьевой» экономики в ресурсодобывающих регионах. Он определяет не только добычу и первичную обработку сырья, но и получение из него материалов и изделий на основе современных достижений науки и техники. Методологическая концепция основывается на предложенных в разное время парадигмах комплексного и рационального использования минерального сырья (см. табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

Эволюция парадигмы (модели) недропользования [7]

Авторы моделей	Краткое описание сущности
1	2
В.И. Вернадский	Рециркуляция металлов и неметаллических полупродуктов, создание сплавов и материалов с учетом не только свойств, но и распространенности элементов в природе. Рациональное преобразование биосферы в «ноосферу», сосуществование общества в гармонии с природой
А.Е. Ферсман	Полное использование всех ценных компонентов минерального сырья, создание комбинированных межотраслевых производств, в которых технологические процессы подбираются к составу сырья
И.П. Бардин	Отходы одних технологических переделов минерального сырья или производств должны служить сырьем для других
Э.В. Брицке	Технология производства материалов сосуществует с окружающей средой, когда используется принцип комплексного использования сырья
Н.В. Мельников, М.И. Агошков	Комплексное освоение недр – достижение оптимальных для народного хозяйства и интересов будущих поколений показателей полноты использования всех видов ресурсов
В.А. Резниченко	Организация комплексного производства: создание межотраслевых технологически замкнутых производств в рамках предприятий, месторождений, регионов, отраслей; рециркуляция материалов; разработка

материалов с учетом распространенности элементов в природе, сохранение окружающей среды

Продолжение табл. 1

1	2
А.Д. Верхотуров	Создание минизаводов в местах добычи сырья с использованием высоких технологий; идеальной схемой безотходного производства; ориентиром на будущие технологии должна быть разомкнутая схема производства материалов, т.е. с полной переработкой отходов
А.Д. Верхотуров	Разложение минералов. Их восстановление и получение элементов, сплавов и соединений при воздействии на минералы (минеральное сырье) концентрированных потоков энергии (высоких градиентов температур и давлений) в условиях лазерной, электронно-лучевой, электроискровой, экстремальных методов порошковой металлургии, а не пиро- и гидрометаллургические процессы
К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия	Развитие минерально-сырьевого комплекса как составной части процесса устойчивого развития при сохранении естественной биосферы Земли путем создания экогеотехнологий освоения недр на принципах поточности, малоотходности, ресурсосбережения, ресурсовоспроизведения, повышения контрастности свойств разделяемых компонентов с обеспечением экологической чистоты, аналогичной с функционированием биологических систем

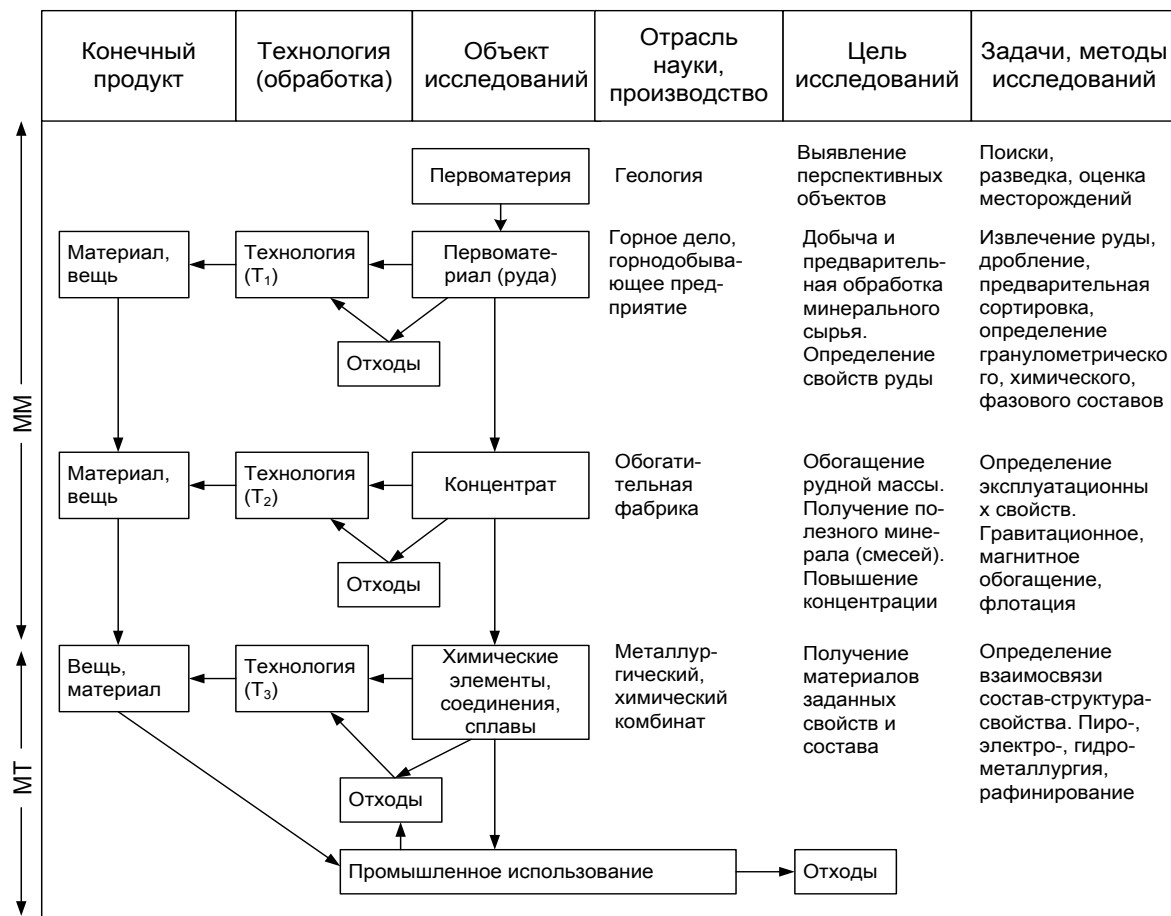


Рис. 2. Методологическая схема последовательных этапов получения материалов из минерального сырья

Главная позиция концепции – использование высоких технологий, обеспечивающих получение материалов и изделий на минипредприятиях непосредственно в районах добычи сырья. Такой подход мы назвали материалогическим, включающим комплекс вопросов из области геологии, горного дела и металлургии на примере решения триединой проблемы минералогической материалогии: перманентного обеспечения минеральным сырьем; материалами и изделиями; сохранения окружающей среды [2; 3; 4] (рис. 3).



Рис. 3. Схема решений триединой проблемы минералогической материалогии

Поставленные задачи могут быть решены с использованием передовых технологий: концентрированных потоков энергии и методов порошковой металлургии. В настоящее время наиболее перспективными являются методы и установки плазменной обработки и алюмотермии [9; 10].

В связи с этим особый интерес представляет разработка плазменного котла с замкнутым типом производством элементов и материалов, полным испарением минерального сырья и разделением его на элементы и соединения. Можно предложить ряд апробированных нами технологических решений для получения материалов и изделий в регионах добычи минерального сырья (рис. 4).

1. Создание плазменного котла с испарением минерального сырья, разделением его на элементы и соединения с последующей их конденсацией в условиях полностью безотходного производства и экологической безопасности [3].

2. Использование плазменной обработки для восстановления минерального сырья и получения материалов [10].

3. Использование установок и технологического процесса типа MACRO с применением металлотермии [9].

4. Применение электрошлакового переплава для получения легированных быстрорежущих сталей [2; 3].

5. Применение методов порошковой металлургии для получения изделий из используемого минерального сырья [3].

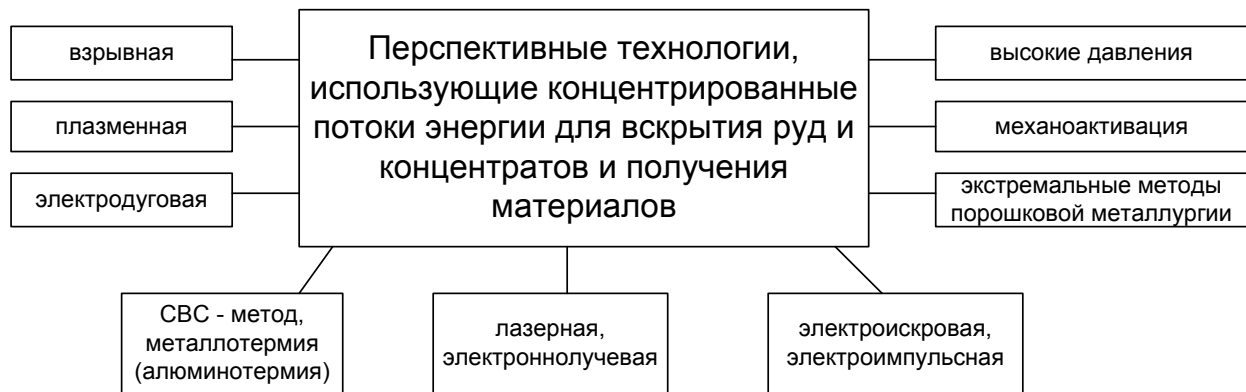


Рис. 4. Методы воздействия на руды и концентраты для комплексной рациональной их обработки с целью получения материалов и изделий

Экспериментальные исследования проводились методами алюмотермии, электрошлакового дугового переплава, спекания в вакуумных печах. В большинстве случаев в качестве минерального сырья использовался шеелитовый концентрат Лермонтовского горнообогатительного комбината (Приморье).

Материалогический подход не отрицает, а воспринимает и уточняет отдельные положения для диагностического [8] и промышленно-технологического [5] подходов к разработке стратегии устойчивого развития регионов. Цель материалогического подхода – способствовать развитию ресурсодобывающих регионов, поставлять на рынок не только сырье, но материалы, изделия и новые технологии.

В структуре диагностического подхода (см. рис. 1) нами предлагается дополнительный пятый горно-перерабатывающий блок. Применительно к «сырьевым» регионам в рекомендуемом блоке целесообразно расширить раздел «оценка состояния региона» следующими подразделами.

1. Состояние данной горнодобывающей (горнометаллургической) промышленности в России и в мире.
2. Состояние развития науки, техники и технологий в данной области в мире, России и в регионе.
3. Характеристика инноваций в горнодобывающей и в горнометаллургической промышленности в России, регионе.
4. Банки данных по количеству и качеству минерального сырья в регионе.
5. Уровень добычи сырья в мире, России, регионе.
6. Банк данных по горнодобывающим и перерабатывающим предприятиям в регионе и сопредельных районах.
7. Долгосрочные потребности в данном сырье, материалах, изделиях; цены на них.
8. Экологическая обстановка в регионе.
9. Программа. Распоряжения, указы, относящиеся к развитию данной отрасли промышленности.

Указанные сведения в целом будут способствовать разработке адекватной стратегии устойчивого развития ресурсодобывающих регионов. Хотя в отдельных случаях они могут потребовать уточнения и дополнений.

Применительно к рассмотренной выше стратегии промышленно-технологического подхода [5], кроме традиционно устойчивых направлений машиностроения (авиация, суда, строительство и пр.), необходимо развивать производство оборудования, обеспечивающего получение материалов и изделий из минерального сырья непосредственно в районах его добычи.

Возможности успешного получения материалов и изделий из минерального сырья (шеелитовый концентрат) в районах его добычи, как это показали результаты комплексных лабораторно-производственных работ, должны базироваться на основных положениях минералогической материаловедения [2, 3, 4, 11]. Получение материалов и изделий осуществлялось в Институте материаловедения ДВО РАН, Тихоокеанском государственном университете и Дальневосточном государственном университете путей сообщения. Здесь получены электродные материалы для электроискрового легирования, для электроэрозионной обработки, а также флюсы и электродные материалы для сварки, абразивные материалы, порошковые материалы, керамические материалы, конструкционные материалы, материалы для лазерной наплавки и легирования [3].

Выводы

1. Предложен новый подход к решению проблемы устойчивого развития ресурсодобывающих регионов – материалогический.
2. Сущность нового подхода – возможность получения материалов и изделий из минерального сырья в районах его добычи с использованием «высоких» технологий.
3. Научной базой нового подхода является минералогическая материалогия, которая, в свою очередь, основывается на изучении круговорота веществ в природе.
4. Проведенные экспериментальные исследования показали перспективность нового подхода к разработке стратегии устойчивого развития ресурсодобывающих регионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быстрицкий, С. П. Россия – Северо-Восточная Азия: Дальневосточный экономический мост на рубеже веков / С. П. Быстрицкий, В. К. Заусаев. – М.: ДВ НИИ рынка, 2007. – 295 с.
2. Верхотуров, А. Д. Минералогическое материаловедение как раздел науки о материалах / А. Д. Верхотуров // Химические технологии. – 2002. – № 7. – С. 2-8.
3. Верхотуров, А. Д. Некоторые вопросы современного состояния и перспективы развития материаловедения / А. Д. Верхотуров, В. С. Фадеев. – Владивосток: Дальнаука, 2004. – 320 с.
4. Верхотуров, А. Д. Введение в материалогию / А. Д. Верхотуров, А. М. Шпилев. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 780 с.
5. Ишаев, В. И. Россия в глобальном мире / В. И. Ишаев. – Хабаровск: ИЭИ ДВО РАН, 2003. – 364 с.
6. Устойчивое развитие цивилизации и место в ней России / В. А. Коптюг [и др.]. – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 84 с.
7. Ларичкин, А. В. Формирование концептуальной модели рационального недропользования / А. В. Ларичкин // Ресурсы, технология, экономика. – 2005. – № 3.
8. Новая парадигма развития России в XXI веке. Комплексные исследования проблем устойчивого развития: идеи и результаты / под ред. В. А. Коптюга, В. М. Матросова, В. К. Левашова. – М.: Academia, 2000. – 397 с.
9. Словарь-справочник по новой керамике. – Киев: Наукова думка, 1991. – 280 с.
10. Туманов, Ю. Н. Новые технологии для химико-металлургических процессов получения неорганических материалов / Ю. Н. Туманов // Вестник РАН. – Т. 79. – № 12. – С. 1082-1116.
11. О новых направлениях развития науки о материалах / А. Д. Верхотуров, А. М. Шпилев, А. И. Евстигнеев, В. М. Макиенко, Л. А. Коневцов // Ученые записки КнАГТУ. Науки о природе и технике. – 2012. – № II-1(10). – С. 65-77.

Верхотуров А. Д., Макиенко В. М., Бутуханов В. Л.
A. D. Verkhoturov, V. M. Makienko, V. L. Butukhanov

ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ВОЛЬФРАМОВОГО СЫРЬЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЯХ

ENVIRONMENTALLY SAFE PROCESSING OF TUNGSTEN MATERIALS



Верхотуров Анатолий Демьянович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем ДВО РАН (Россия, Хабаровск). E-mail: Verhoturov36@mail.ru.

Mr. Anatoly D. Verkhoturov – Doctor of Engineering, Professor, Senior Research Fellow, Institute of Water and Environmental Problems, the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: Verhoturov36@mail.ru.



Макиенко Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология металлов» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Россия, Хабаровск). E-mail: mvm_tm@festu.khv.ru.

Mr. Victor M. Makienko – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Materials Technology, the Far-Eastern State Transport University (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: mvm_tm@festu.khv.ru.



Бутуханов Владимир Лаврентьевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Естественнонаучные дисциплины» Хабаровской государственной академии экономики и права (Россия, Хабаровск). E-mail: aleshkov@inbox.ru.

Mr. Vladimir L. Butukhanov – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Natural Sciences, the Academy of Economics and Law (city of Khabarovsk, Russia). E-mail: aleshkov@inbox.ru.

Аннотация. В работе рассматриваются актуальные вопросы переработки минерального сырья. Показано, что применяемый в настоящее время пирометаллургический метод обходится весьма дорого и экологически не безопасен. Авторами предложен новый принцип создания новых материалов, заключающийся в получении карбидов из руд путем нагрева в графитовом тигле с пропуском водорода и выдержкой при температуре 1400 °С.

Summary. This paper deals with urgent issues concerning the processing of mineral raw materials. It is demonstrated that the currently widespread pyrometallurgical method is rather expensive and not safe for environment. We suggest a new method of materials creation, which implies producing carbides from ores by heating them in a graphite pot with passing through of hydrogen and annealing at 1400°C.

Ключевые слова: экология, минеральное сырье, вольфрам.

Key-words: environment, mineral materials, tungsten.

УДК 620.22

Обладая огромными природными запасами вольфрамового концентрата (второе место в стране по добыче), Дальний Восток остается прежде всего поставщиком этого важнейшего сырья для электротехнической, инструментальной и химической промышленности. Добываемый концентрат отправляется на гидрометаллургические комбинаты в Чирчик и Нальчик, затем получаемый там карбид вольфрама поступает на заводы твердых сплавов, находящиеся в основном также в западных регионах, и уже конечные продукты – вольфрамсодержащие материалы и изделия из них – доставляются на Дальний Восток. Перевозки на огромные расстояния значительно удорожают их, да и потребности дальневосточных предприятий в инструментах и материалах полностью не удовлетворяются.

В такой ситуации было бы экономически целесообразно организовать переработку вольфрамового сырья, а также производство вольфрамсодержащих инструментальных и наплавочных материалов на месте добычи. Естественно, что при организации производства необходимо выбрать наиболее эффективную и безопасную для окружающей среды технологию.

Современная технология переработки вольфрамовых концентратов

Металлический вольфрам из рудных концентратов извлекается в три этапа: 1) разложение концентратов для перевода соединений вольфрама в раствор с последующей очисткой от примесей; 2) выделение из раствора чистого триоксида вольфрама (вольфрамовой кислоты); 3) получение металлического вольфрама или карбида вольфрама.

Из всех теоретически возможных методов разложения вольфрамовых концентратов практическое применение нашли лишь те, где конечным продуктом разложения является раствор вольфрамата натрия. В основе этих методов лежат процессы разложения с использованием щелочных реагентов (Na_2CO_3 , NaOH и др.). После очистки от примесей из раствора осаждают малорастворимые соединения вольфрама (вольфрамовую кислоту H_2WO_4 , искусственный шеелит CaWO_4) или извлекают вольфрам известными методами экстракции и ионного обмена.

Наиболее широко распространены автоклавно-содовый способ, в основу которого положена обменная реакция $\text{CaWO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{CaCO}_3$, идущая при высоком давлении (в автоклавах) и $T = 250 - 300$ °С, и способ спекания концентратов с содой при $T = 800 - 1000$ °С.

Главным недостатком автоклавно-содового способа является большой расход соды (технология наиболее эффективна при избытке соды на 300...400 % от теоретически необходимого количества), значительная часть которой безвозвратно теряется со сбросами хлоридов, получающихся при нейтрализации щелочных растворов соляной кислотой, что представляет опасность для окружающей среды. При спекании концентрата извлечение вольфрама более полное, однако получение сплавов в больших масштабах затруднено из-за отсутствия надежного оборудования: щелочной сплав быстро разъедает футеровку печи. Главный же недостаток способа разложения вольфрамовых концентратов спеканием (сплавлением) с содой заключается в том, что содержащиеся в концентрате примеси переходят в раствор вместе с соединениями вольфрама, и возникает необходимость очистки от них по сложной многостадийной схеме. Кроме того, все производство, в основе которого лежат химико-металлургические процессы, многостадийные гидрометаллургические переделы, ведущиеся в громоздком, устаревшем оборудовании, резко ухудшают экологическую обстановку.

Следовательно, необходимо было искать новые технологические приемы и методы, позволяющие комплексно и эффективно извлекать из руд как ценные, так и сопутствующие компоненты.

Одна из таких перспективных технологий – получение электротермического вольфрамата натрия из шеелитовых концентратов – была разработана в Институте металлургии им. А.А. Байкова АН СССР [3; 9 – 11; 13].

**Электротермический способ разложения вольфрамовых концентратов**

Суть метода состоит в том, что при плавке шихты (смесь шеелитового концентрата, соды и кремнезема) продукты разделяются на два несмешивающихся слоя: верхний – силикатный шлак и нижний – вольфрамат натрия, которые сливают раздельно. Хорошее расслоение продуктов плавки и высокая степень превращения шеелита в вольфрамат натрия достигаются при расходе 160 – 165 % соды от теоретически необходимого количества и соотношении CaO/SiO_2 в шихте, равном 1,22 – 1,25. В силикатном шлаке содержится не более 2,5 % WO_3 . В шлак переходит 40 – 50 % S, 65 – 75 % P и 100 % Fe. Извлекается около 98 % WO_3 .

Раздельный слив вольфрамата натрия и силикатного шлака позволяет уже на стадии пирометаллургического передела освободиться от большинства примесей, что значительно упрощает гидрометаллургическую стадию передела. Преимущества этого способа – высокая производительность, меньший расход соды и кремнезема (по сравнению со способом спекания) и низкое содержание примесей в вольфрамате натрия.

Полученный электротермическим способом вольфрамат натрия подвергается дальнейшей переработке: из разбавленных растворов Na_2WO_4 электрохимическим путем получают вольфрамовую кислоту, из которой после прокаливания восстанавливают металлический вольфрам, либо в электродуговых печах методом восстановительной плавки Na_2WO_4 на «железный блок» получают ферровольфрам [12].

Возможности этого способа значительно шире проведенных его авторами исследований по переработке кондиционных шеелитовых концентратов (47,5 % WO_3), и, как показали последующие работы [1; 2; 6 – 8], он применим и к переработке нестандартных вольфрамовых концентратов для получения искусственного вольфрамового сырья.

Авторами разработан перспективный способ переработки вольфрамата натрия – высокотемпературное спекание его с углеродом (сахарозой) для получения карбида вольфрама (В.Л. Бутуханов, А.Д. Верхотуров, Н.В. Лебухова. Способ получения карбида вольфрама: положительное решение по заявке 4793065/ 26/149708 от 31.08.90).

Получение химически чистого карбида вольфрама путем спекания вольфрамата натрия с углеродом (сахарозой)

Процесс восстановления вольфрамата натрия был промоделирован авторами методом сравнения с процессом восстановления триоксида вольфрама, так как расчет термодинамических параметров процессов (изобарно-изотермических потенциалов) показал, что термодинамически реакции равновероятны:



Исследования по восстановлению Na_2WO_4 и WO_3 показали, что при карбидизации вначале образуется металлический вольфрам (при $T > 900$ °C), а затем – карбид вольфрама (при $T > 1050$ °C) (см. табл. 1).

Таблица 1

1-я стадия термообработки ($W_{\text{мет}}$)			2-я стадия термообработки (WC)		
T , °C	Время, ч	Выход, %	T , °C	Время, ч	Выход, %
950	3,25	80	1350	2,25	80
1000	3,25	98	1400	2,25	97
1050	3,25	98	1425	2,25	97
1100	3,25	98	1450	2,25	97
1050	2,5	85	1475	2,25	97
1050	3,5	98	1425	1,5	70
1050	4,0	98	1425	2,0	97
			1425	3,0	97

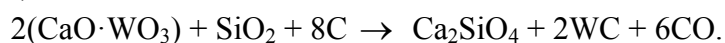
Шихта для получения ультрадисперсных порошков карбида вольфрама готовилась упариванием раствора вольфрамата натрия с сахарозой при 10%-м избытке углерода. Синтез проводили в печи с графитовыми нагревателями при вакууме 10^{-1} мм рт. ст. в интервале температур от 800 до 1400 °С. Время термообработки варьировалось от 1 до 5 ч.

Синтез карбида вольфрама в смеси вольфрамата натрия с сахарозой протекает гораздо легче, чем в смеси вольфрамата натрия с сажей, так как в сахарозе углерод находится в более активной форме.

Процесс синтеза осложняется разложением вольфрамата натрия на оксид натрия и триоксид вольфрама при $T = 1275$ °С, что приводит к почти полной возгонке продуктов разложения. Поэтому получение монокарбида вольфрама необходимо проводить последовательно в два этапа. Первые 3 ч шихта выдерживается при $T = 1050$ °С до образования металлического вольфрама, последующие 2 ч – при $T = 1400$ °С, что позволяет получить хороший выход (97 %) монокарбида вольфрама. Для более полной карбидизации необходим 10-15%-й избыток углерода.

Так как получение химически чистого карбида вольфрама пирометаллургическим методом обходится весьма дорого, а на практике часто не требуется химически чистый WC (например, при обработке стали вольфрамсодержащим инструментом на поверхности твердых сплавов образуются так называемые вторичные структуры с W_2C , Fe_2O_3 , W_6 , Fe_7 , WO_3 и др.), нами предложен новый принцип создания перспективных материалов с учетом образования этих структур. Он заключается в том, что состав и структура создаваемого материала должны соответствовать химическому составу «вторичной структуры».

Требуемый материал с заданными свойствами можно получить по известной технологии получения карбидов из руд, в частности карбида вольфрама из исходных компонентов $CaWO_4$, SiO_2 , C (сажа):



Реакция с оптимальным выходом WC идет при избытке углерода до 20 % от теоретически необходимого количества. Технология получения карбида вольфрама этим методом сравнительно проста – в планетарной мельнице смешиваются шеелит ($CaWO_4$), SiO_2 , C (сажа), затем смесь нагревается в графитовом тигле с пропусканием водорода и выдержкой при $T = 1400$ °С. Шлак отделяется растворением в концентрированной кислоте. Этим способом нами получены электродные материалы, в состав которых входят WC, CaO, Fe, что соответствует фазовому составу вторичной структуры.

Нами были проведены исследования по непосредственному карбидизированию вольфрамового шеелитового концентрата Лермонтовского месторождения. Практически 97 % шеелита подвергается восстановлению с последующей карбидизацией, причем состав полученного продукта неоднороден и карбид трудноотделим от остальной массы. Для выбора метода непосредственного карбидизирования руд существенное значение имеет форма нахождения вольфрама в минеральном сырье: так, прямая карбидизация вольфрамитовых концентратов менее сложна, чем шеелитовых.

Непосредственное использование минерального сырья для создания инструментальных и наплавочных материалов

Непосредственное использование минерального сырья возможно двумя путями – с существенным изменением агрегатного состояния минерального сырья и без его изменения.

В первом случае задача имеет общеметаллургическое значение. Для её решения необходимо создание специального реактора, в который будет непрерывно поступать минеральное сырье определенного состава. В реакторе возбуждается низкотемпературная плазма. Вещество в парообразном состоянии перемещается в другой реактор, где под действием магнитных и электрических полей происходят разделение составляющих и их конденсация. При этом процесс осуществляется в экологически безопасных условиях.

Во втором случае наиболее рационально получение новых композиционных материалов. Так как химический состав минерального сырья часто близок к составу стандартных флюсов, то возможно применение природного вольфрамового сырья для наплавки быстроизнашивающихся деталей. Испытания показали высокую износостойкость и коррозионную стойкость деталей с такими наплавками (более чем в шесть раз по сравнению с использованием стандартных флюсов) [5].

Один из путей реализации этих направлений – создание банка данных об известных материалах на основе WC и о химическом, фазовом составе вольфрамсодержащих концентратов. Машинный поиск аналогичных сочетаний позволит подобрать необходимые для тех или иных целей составы концентратов и пути их дальнейшей переработки.

Таким образом, переработка вольфрамового сырья возможна не только классическими (устаревшими и экологически опасными), но и новыми способами:

- путем электротермического получения из него вольфрамата натрия, который затем спекается в вакууме с сахарозой, в результате чего образуется карбид вольфрама – основа инструментальных материалов;
- производством порошковых композиций, сварочных флюсов и наплавочных материалов непосредственно из концентрата [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 829706 (СССР). Шихта для получения вольфрамата натрия / В. А. Резниченко, В. И. Соловьев, Н. И. Тахмуд. – Заявл. 24.05.79; опубл. 15.05.81. Б.И. № 18. – С. 120.
2. А.с. 954472 (СССР). Шихта для получения вольфрамата натрия / В. А. Резниченко, В. И. Соловьев, Н. И. Тахмуд. – Заявл. 29.12.80; опубл. 30.08.82. Б.И. № 32. – С. 81.
3. Бочков, Б. А. Исследование высокотемпературного процесса получения вольфрамата натрия / Б.А. Бочков: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1970. – 21 с.
4. Верхотуров, А. Д. Рациональные пути переработки вольфрамовых концентратов месторождений Дальнего Востока / А. Д. Верхотуров, В. Л. Бутуханов, Ю. Ф. Гладких // Управление свойствами и переработка дисперсных материалов Дальнего Востока. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – С. 63-77.
5. Верхотуров, А. Д. Использование природного минерального сырья в качестве наплавочных флюсов / А. Д. Верхотуров, Ю. Ф. Гладких, Н. С. Ткачук // Сварочное пр-во. – 1989. – № 8. – С. 21-22.
6. Получение вольфрамсодержащих продуктов из низкосортных гюбнеритовых концентратов методом ликвационной плавки с содой / Е. В. Золтоев [и др.] // Комплексное использование минерального сырья. – 1983. – № 11. – С. 40-42.
7. Золтоев, Е. В. Ликвационная плавка гюбнеритовых промпродуктов с содой / Е. В. Золтоев, К. А. Никифоров, М. В. Мохосоев // Технологические основы комплексной переработки металлургического сырья: тез. докл. II Всесоюз. конф. по комплексному использованию руд и концентратов. Ч. 3. – М., 1983. – С. 64.
8. Комбинированная технологическая схема переработки бедных гюбнеритовых руд / К. А. Никифоров [и др.] // Химия и технология молибдена и вольфрама. Ч. 2. – Улан-Удэ, 1983. – С. 90.
9. Научные основы комплексного использования сырья в металлургии тугоплавких металлов / В. А. Резниченко [и др.] // И. П. Бардин и отечественная металлургия. – М.: Металлургия, 1983. – С.99-106.
10. Резниченко, В. А. Исследование электротермического процесса получения вольфрамата натрия / В. А. Резниченко, В. И. Соловьев, Б. А. Бочков // Металлургия вольфрама, молибдена и ниобия. – М.: Наука, 1967. – С.61-65.
11. Резниченко, В. А. Электрохимия вольфрамовых концентратов / В. А. Резниченко, В. И. Соловьев, Б. А. Бочков // Процессы получения и рафинирования тугоплавких металлов. – М.: Наука, 1975. – С. 63-74.
12. Шонгин, В. И. Извлечение вольфрама из отвальных продуктов / В. И. Шонгин, А. Б. Ежков // Химия и технология молибдена и вольфрама. Ч. 2. – Улан-Удэ, 1983. – С. 130.
13. О новых направлениях развития науки о материалах / А. Д. Верхотуров, А. М. Шпилев, А. И. Евстигнеев, В. М. Макиенко, Л. А. Коневцов // Ученые записки КНАГТУ. Науки о природе и технике. – 2012. – № II-1(10). – С. 65-77.

Сысоев О. Е.
O. E. Sysoyev

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING THE LIMIT STATES OF THE STRUCTURE OF BUILDINGS AND INSTALLATIONS

Сысоев Олег Евгеньевич – кандидат технических наук, профессор, декан факультета кадастра и строительства Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; 8 (4217) 241141. E-mail: fks@knastu.ru.

Mr. Oleg E. Sysoyev – PhD in Engineering, Professor, Dean of the Faculty of Civil Engineering and Cadastre, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, 27 Lenin Str., Komsomolsk-on-Amur, 681013, phone: +7 (4217) 241-141. E-mail: fks@knastu.ru

Аннотация: В статье рассматривается автоматизированная комплексная система мониторинга предельных состояний строительных конструкций, которая позволит гарантировано предотвратить внезапные разрушения зданий и сооружений.

Summary. The paper considers an automated integrated system for monitoring limit states of civil engineering structures that will reliably prevent simultaneous failures of buildings and installations.

Ключевые слова: предельные состояния конструкций, акустическая эмиссия, циклические нагрузки, автоматизированная система мониторинга.

Key-words: limit states of structures, acoustic emission, cyclic loading, automated monitoring system.

УДК 539.3:354.2

Анализируя ряд аварий зданий и сооружений, произошедших в последние годы в России и за рубежом, мы можем констатировать, что все они являются следствием воздействия в большей мере циклических (снеговые, ветровые, движение людских потоков, воздействие оборудования и перемещение материалов) и в меньшей – квазистатических (собственная масса конструкций) нагрузок. Но несмотря на полтора века систематических широкомасштабных исследований циклической усталости конструкций, и сегодня с пугающей частотой происходят обрушения отнюдь не ветхих зданий и сооружений, которые возведены не более 30 лет назад. Яркие примеры катастроф: обрушение покрытий – купола крытого аквапарка «Трансвааль-парк» в г. Москва (2004 г.), Басманного рынка в г. Москва (2006 г.), оптового рынка в г. Калининград (2010 г.), спорткомплекса им. В. А. Алексеева в г. Санкт-Петербург (2011 г.), обрушение моста «Bridge 9340» через р. Миссисипи (2007 г.), моста через р. И провинции Хэнань КНР (2010 г.), разрушение части путепровода на федеральной трассе М-4 «Дон» РФ (2010 г.), обрушение кровли металлического ангара на авиабазе США в Афганистане (2013 г.) и др. Причины катастроф: ошибки при проектировании, отступление от проекта при проведении строительных и ремонтных работ, некорректная замена материалов и изделий, нарушения технологии строительных работ, ненадлежащая эксплуатация, а также износ и усталость материала в конструкции. Во многих случаях истинную причину трудно выявить, т.к. с обрушением связано несколько причин, и какая из них стала последней каплей, трудно определить. Внезапные разрушения происходят по совокупности нескольких причин, наслоившихся друг на друга, а катализатором может стать несущественная мелочь, но после разрушения эта мелочь представляется как главная причина обрушения.

Все здания и сооружения рассчитываются с учетом климатического района строительства и условий работы. Однако существующие методы расчета не обеспечивают дли-

тельную прочность работы конструкции, т.к. не учитывают изменение микроструктуры конструкционного материала от воздействия циклических нагрузок, которое происходит неравномерно и скачкообразно.

Процессы эволюции микроструктуры материала нужно отслеживать путем организации мониторинга предельных состояний конструкций для предотвращения катастроф зданий и сооружений. Требования к мониторингу предельных состояний конструкционных материалов и конструкции уникальных зданий и сооружений [1] предусматривают создание автоматизированных стационарных систем (станций), которые должны:

- проводить комплексную обработку результатов проводимых измерений, анализ изменений параметров строительных конструкций;
- выявлять на ранней стадии тенденции негативного изменения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций, приводящего к аварийной ситуации.

Из известных методов для неразрушающего контроля предельных состояний конструкции, учитывающих образование диссипативных субструктур при деградации микроструктуры материала от воздействия циклических нагрузок в режиме реального времени, хорошо подходит метод акустической эмиссии (АЭ). Сигналы АЭ возникают в материале конструкций от перестроения микроструктуры материала и при образовании и развитии микро- и макротрещин под воздействием как динамических, так и квазистатических нагрузок [2; 3], т.е. все изменения микроструктуры материала наблюдаются в динамике процесса нагружения. Вместе с тем метод АЭ обладает высокой чувствительностью и может регистрировать сигналы АЭ, возникающие от электромагнитных, вибрационных и других воздействий, не связанных с изменением микроструктуры материала, и эта особенность метода АЭ вынуждает организовывать параллельный контроль. Учитывая, что большинство строительных конструкций находится в труднодоступных для визуального наблюдения местах, для дублирующей системы подойдет система видеонаблюдения. Работа комплексной системы мониторинга, основанная на методе регистрации сигналов АЭ с одновременным видеонаблюдением [4], решит проблему безопасной эксплуатации зданий и сооружений.

Для реализации автоматической системы мониторинга и регистрации сигналов АЭ в наиболее ответственных узлах несущих строительных конструкций размещаются пьезоэлектрические датчики. Сигналы АЭ обладают большой информативностью о происходящих процессах в материале и, как следствие, некоторой хаотичностью. При этом регистрация записи и обработки информации сигналов АЭ вызывает определенные трудности. Для обработки такого объема информации требуется длительное время. Даже самая современная вычислительная техника не в состоянии обработать весь объем информации сигналов АЭ в *on-line* режиме, поэтому нужно выделить те параметры сигналов АЭ, которые наиболее четко идентифицируют вхождение конструкционного материала в предельное состояние. Разработанное в КнАГТУ специальное компьютерное обеспечение [5] позволяет устанавливать порог для посторонних шумов и регистрировать непосредственно сигналы, отражающие изменение структуры материала, которая, в свою очередь, характеризует изменения прочностных характеристик конструкции.

Также для уменьшения объема обрабатываемой информации можно сузить спектр частот регистрируемых и подлежащих обработке сигналов. Наиболее информативным является участок от 100 до 400 кГц (см. рис. 1). Сигналы АЭ на этих частотах возникают от процессов формирования микротрещин и их слияния в макротрещину, что является глобально опасным фактором для несущих конструкций [6]. Это позволит уменьшить объем обрабатываемой информации без потери качества результатов.

Регистрируемые сигналы АЭ соответствуют проявлению дефектов структуры материала, а энергия сигналов является отражением степени опасности дефектов, поэтому функция $\Phi(t)$ линии тренда энергии сигналов АЭ (см. рис. 2) является показателем деградации структуры материала конструкции во времени.

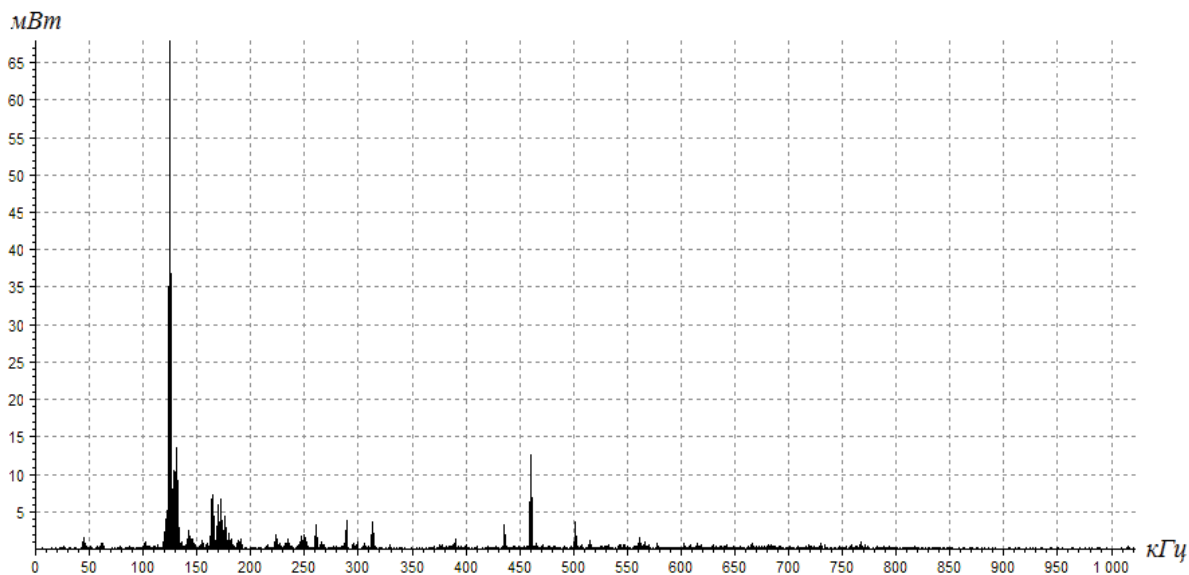


Рис. 1. Диаграмма частотных характеристик сигналов АЭ при циклическом нагружении образца из сплава алюминия Д20

Всплеск АЭ происходит вначале нагружения, затем сигналы АЭ стабилизируются – их энергия становится минимальной. При этом можно заметить минимальную скорость накопления дефектов структурой материала, что является признаком стабильности структуры в этот период времени (примерно с 5-го по 13400-й цикл нагружения на рис. 2).

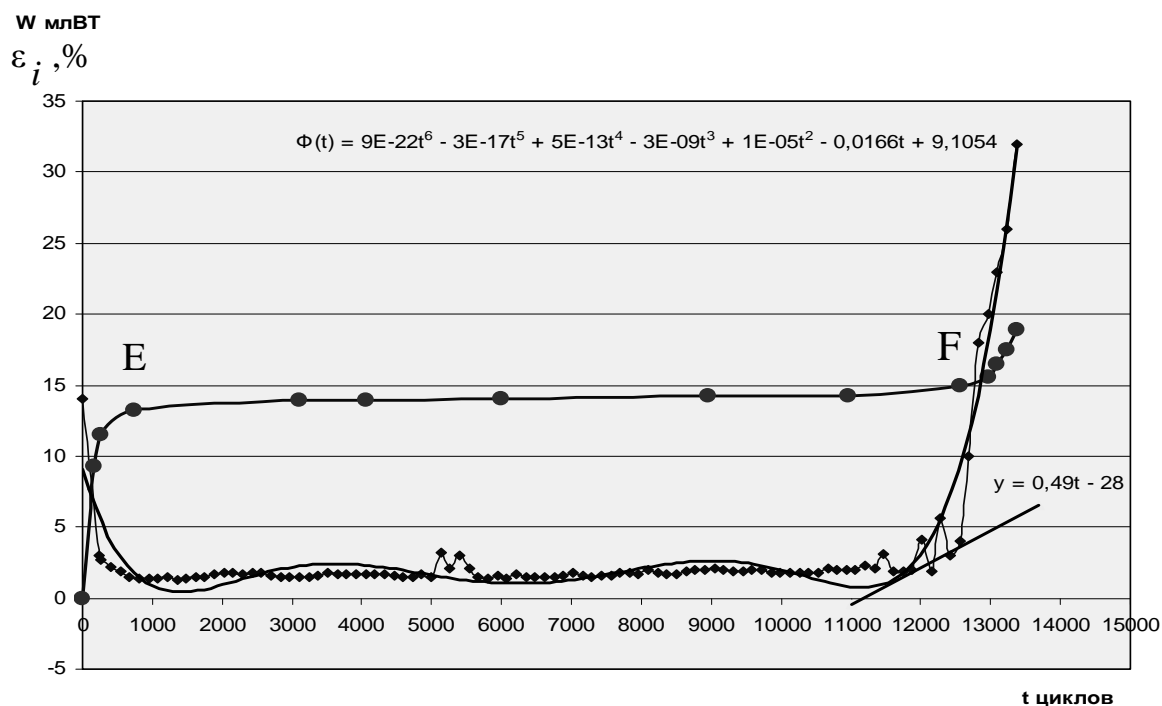


Рис. 2. Совмещенная диаграмма циклической ползучести образца из стали 40Х при $\omega = 0, \sigma_i = 800 \text{ МПа}$ и энергии АЭ за цикл нагружения и аппроксимирующей линии тренда $\Phi(t)$

С накоплением усталостных повреждений материала резко увеличивается количество и энергия сигналов АЭ, что соответствует увеличению скорости накопления дефектов струк-

турой материала (на рис. 2 примерно с 13400-го цикла), и материал конструкции приближается к разрушению. Определить этот момент можно, если построить касательную $y = at + c$ к линии тренда $\Phi(t)$ в точке увеличения количества и энергии акустических сигналов за цикл нагружения.

Современная вычислительная техника позволяет выполнять эту операцию в режиме реального времени. На рис. 2 касательная $y = at + c$ в точке увеличения АЭ получена, при этом значение $a = 0,49$ (скорость накопления дефектов) значительно выше, чем на предыдущем участке. То есть определен момент, когда структура материала больше не может стабильно работать и начинает разрушаться, следовательно, должно выполняться условие

$$\begin{cases} \dot{\hat{O}}(t) \leq a = 0,5 \{t_{n-300}; t_n\}, \\ W_n \leq \tilde{N} \cdot W_1 \end{cases}$$

где $\Phi(t)$ – функция, аппроксимирующая энергию АЭ; a – скорость накопления дефектов; W_n – энергия сигналов АЭ в n -м цикле нагружения; C – коэффициент, зависящий от материала; W_1 – энергия сигналов АЭ в первом цикле нагружения.

Условие $W_n \leq C \cdot W$ принимается из необходимости учитывать случайные перегрузки и может служить критерием при работе ответственных конструкций с небольшим ресурсом.

Критерий минимальной скорости накопления дефектов структурой материала $\dot{\hat{O}}(t) \leq a = 0,5$ может служить для определения предельных состояний строительных конструкций с длительным сроком эксплуатации, при этом автоматическая обработка параметров сигналов АЭ ведется в интервале $\{t_{n-300}; t_n\}$ циклов нагружения [5]. На этом принципе разработана комплексная система безопасности несущих конструкций зданий и сооружений (см. рис. 3) [7].

Установка видеокамер позволит отслеживать деформации конструкции с параллельным отслеживанием и обработкой параметров акустических сигналов, с использованием программного обеспечения [4]. Одновременно происходит анализ данных, полученных с камер видеонаблюдения. Изменения геометрических размеров конструкции будут зафиксированы на видеосъемке. Превышение деформации в элементе конструкции сверх расчетной приводит к наступлению второго предельного состояния строительных конструкций и, как следствие, к разрушению.

Устройство системы мониторинга состоит (см. рис. 3 и 4) из пьезоэлектрических датчиков 1, крепящихся к металлической конструкции 10, которые считывают сигналы АЭ, возникшие от действия сосредоточенной нагрузки, распределенной нагрузки или от реакции опор. Далее данные посредством усилителей акустических сигналов 2 отправляются на устройство приема передачи 3. Затем информация поступает в ПЭВМ 4, с помощью программного обеспечения 5 происходит анализ данных [5]. В случае возникновения критического состояния в структуре материала происходит вывод сигнала на панель оператора 6 со звуковым и световым сопровождением об осмотре или эвакуации.

Видеоблок системы состоит из видеокамер 7, расположенных в зонах, наиболее подверженных геометрическим изменениям конструкций. Информация поступает в усилитель видеосигнала 8, после чего отправляется в ПЭВМ 4. С помощью программного обеспечения 9 производится осмотр критических точек в прямом эфире с последующим выводом на панель оператора 6 [4].

При возникновении критически опасной ситуации данная система обеспечит своевременную реакцию на возникшую чрезвычайную ситуацию и эвакуацию людей.

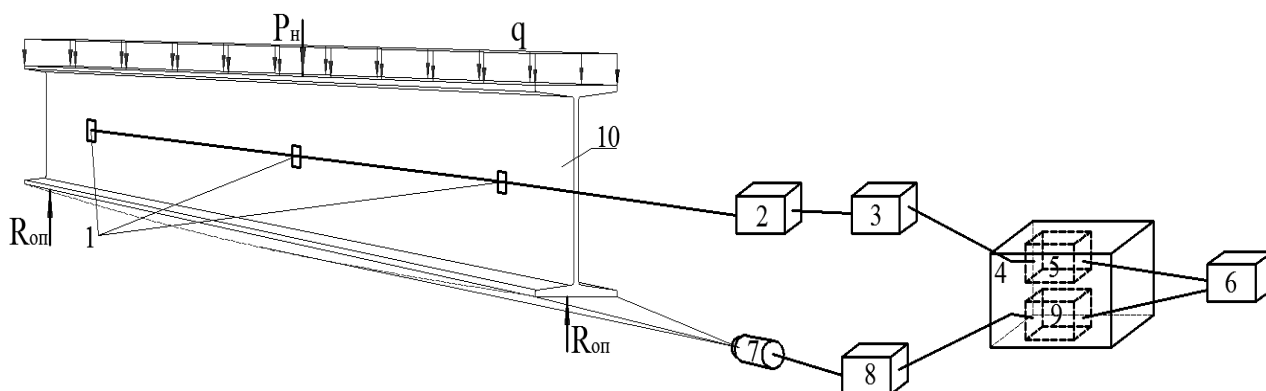


Рис. 3. Принципиальная схема работы комплексной системы:

- 1 – пьезоэлектрические датчики; 2 – усилитель акустических сигналов; 3 – устройство приема передачи; 4 – ПЭВМ; 5 – программное обеспечение для регистрации и обработки сигналов АЭ [5]; 6 – панель оператора; 7 – видеокамера; 8 – усилитель видеосигнала; 9 – программное обеспечение для дистанционного измерения перемещений [4]; 10 – металлическая конструкция; P_n – сосредоточенная нагрузка; $R_{оп}$ – опорная реакция, q – распределенная нагрузка

Предлагаемая система контроля позволит:

- заблаговременно выявить предельные состояния конструкции материала по параметрам АЭ;
- с помощью видеонаблюдения классифицировать степень опасного состояния в труднодоступных местах;
- установить, превысят ли фактические деформации конструкций предельно допустимые по нормативным документам;
- принять решение о дальнейшей эксплуатации, усилении или демонтаже несущих конструкций зданий и сооружений.

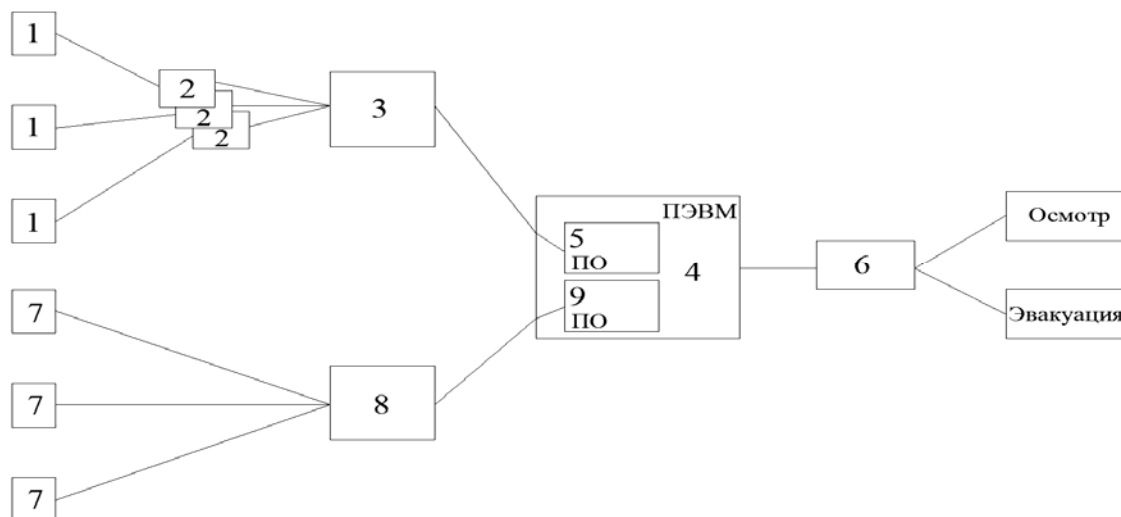


Рис. 4. Блок-схема комплексной системы контроля предельных состояний строительных конструкций

Применение системы комплексной безопасности позволит прогнозировать и надежно предотвращать внезапные разрушения зданий и сооружений.



ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 53778-2010. НСРФ. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2010. – 66 с.
2. Диагностика объектов транспорта методом акустической эмиссии / А. Н. Серьёзов, Л. Н. Степанова, В. В. Муравьев и др.; под ред. Л. Н. Степановой, В. В. Муравьева. – М.: Машиностроение, 2004. – 368 с.
3. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении / Н. А. Семашко, В. И. Шпорт, Б. Н. Марьин и др.; под общ. ред. Н. А. Семашко. – М.: Машиностроение, 2002. – 240 с.
4. Программное обеспечение для дистанционного измерения перемещений «Photodim 2D v1.0» (ПО «Photodim 2D v1.0») / В. А. Дзюба, О. Е. Сысоев, А. В. Меньков, А. Л. Ковалёв // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2011617204 2011 г.
5. Сысоев, О. Е. Определение предельного состояния конструкционных материалов on-line (ОПСКМ-2012) / О. Е. Сысоев, А. В. Меньков, Е. А. Кузнецов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2012613409 2012 г.
6. Сысоев, О. Е. Новые критерии предельных состояний конструкционных материалов, определяемые по параметрам акустической эмиссии // Кузнечно-штамповое производство. Обработка материалов давлением. – 2011. – № 9. – С. 43-47.
7. Решение о выдаче патента на полезную модель ФС по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) от 19.09.2012 № 2012129793/28(046830) / Сысоев О. Е., Квачан Е. Е., Марьин Б. Н. Система комплексной безопасности эксплуатации конструкций зданий и сооружений; заяв. 13.07.2012.

Костиков С. А., Гринкруг Н. В.
S. A. Kostikov, N. V. Grinkrug

РАЗВИТИЕ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА ИЛИ ЕЩЕ ОДИН НЕНУЖНЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ ГОРОДА КОМСОМОЛЬСКА-НА-АМУРЕ?

DEVELOPING CULTURE AND SPORTS IN THE CITY OF KOMSOMOLSK-ON-AMUR VS BUIDLING ANOTHER UNWANTED CIVIL ENGINEERING PROJECT?



Костиков Сергей Александрович – магистр по направлению подготовки «Строительство» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: 300gloof@mail.ru.

Mr. Sergey A. Kostikov – MA in Civil Engineering, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: 300gloof@mail.ru.



Гринкруг Наталья Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры управления недвижимостью и кадастры Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kkg@knastu.ru.

Ms. Natalia V. Grinkrug – PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of Property Management and Cadastre, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kkg@knastu.ru

Аннотация. Анализируя местоположение земельного участка, свободного от застройки, авторы статьи приходят к выводу о том, что предлагаемый генеральным планом города объект застройки не является наилучшим и наиболее эффективным использованием рассматриваемого земельного участка. В качестве альтернативы авторы статьи предлагают свой вариант застройки участка, приводя краткий анализ информации и факторы, которые повлияли на выбор авторов.

Summary. By analyzing the location of a land site free from buildings, the authors of the paper come to a conclusion that the real estate development project proposed by the city's Master Pan is not the best and the most efficient use of the land under consideration. As an alternative, the authors put forward their own version of the site development, proceeding from a brief analysis of the relevant data and factors.

Ключевые слова: анализ местоположения, спортивный комплекс, развитие культуры и спорта, скейтпарк.

Key-words: location analysis, a sports centre, development of culture and sports, skate-park.

УДК 349.417.418

В наше время увидеть на улицах города скейтбордиста, bmx-ера – не редкость. Но встречаемся мы с ними, в основном, именно на улицах, когда они покоряют с доской или велосипедом перила, а также различные возвышенности. Наверно, у каждого из таких ребят есть мечта о райском для них месте, где была бы возможность совершенствовать свое умение. Чудеса все же могут свершиться.

В городе Комсомольск-на-Амуре, на пересечении улиц Вокзальная и Гамарника располагается пустырь площадью около 120 000 м² (см. рис. 1). Этот земельный участок

находится вне зон охраны памятников культуры и природы, свободен от застройки и зеленых насаждений. Номер кадастрового квартала: 27:22:031001. Данный участок относится к территориальной зоне города ОД-3 – для обслуживания объектов, необходимых для осуществления производственной и предпринимательской деятельности. Правовой статус земельного участка – земли поселений [1, 29].



Рис. 1. Рассматриваемый земельный участок. Вид со спутника «Google»

Описание объектов, граничащих с пустырем (см. рис. 2):

- у северной границы участка расположен панельный десятиэтажный жилой дом;
- с юга – жилая застройка;
- с востока – территория горно-металлургического техникума;
- с западной стороны к участку прилегает территория средней образовательной школы № 31 и жилой панельный девятиэтажный жилой дом.

В шаговой доступности от участка расположены остановочные пункты автобусных маршрутов 3, 9, 17, 21, 22, 26, 33, 37, которые позволяют добраться до любого района города. Временные затраты на передвижения до центра города составляют 25 мин; на передвижения до ближайшей промышленной зоны – 10 мин; на передвижения до самой крайне расположенной промышленной зоны – 45 мин.

Рассматриваемый земельный участок расположен практически в центре большого спального района с объектами жилой застройки и инфраструктуры: около 120 многоэтажных домов, преимущественно 9-этажные панельные дома; 8 детских садов, 5 школ, 3 отдельно стоящих магазина, горно-металлургический техникум, детская поликлиника. Численность населения, проживающего в районе, составляет около 50 000 человек (см. рис. 3).



Рис. 2. Предварительное месторасположение многоуровневой автостоянки или скейтпарка на план-схеме

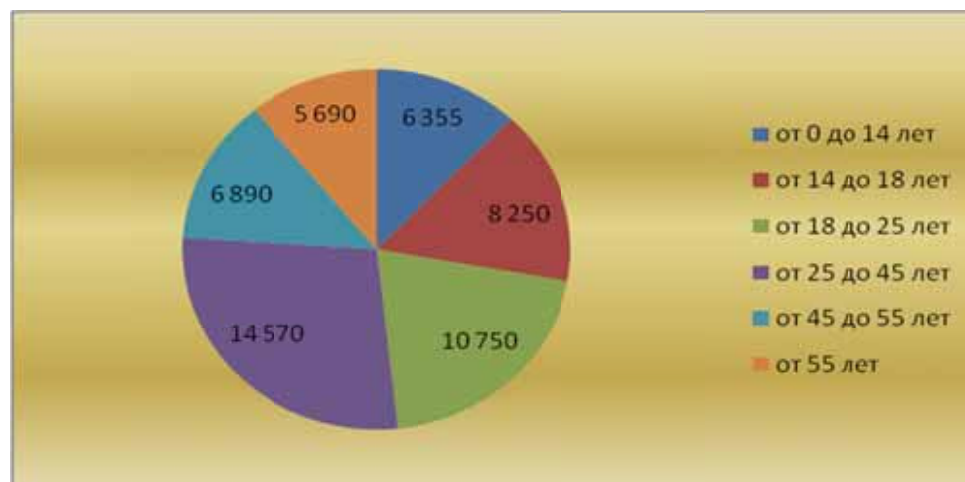


Рис. 3. Диаграмма ранжирования граждан по возрастному критерию, проживающих в районе размещения спорткомплекса

Генеральным планом города предлагается на этом пересечении улиц выделить земельный участок под строительство многоуровневой стоянки на 420 парковочных мест (см. рис. 4). Необходимый размер земельного участка составляет 8 000 м². Стоянка подразумевает под собой шесть уровней: четыре над и два под уровнем земли. На каждом уровне по 70 парковочных мест. Стоянка оборудована всеми возможными системами охраны. Предполагаемая цена за одно парковочное место около 250 тыс. р. год или около 700 р. в день.



Рис. 4. Многоуровневая стоянка

Мы предлагаем разместить на рассматриваемом пересечении улиц спортивный комплекс, который будет объединять в себе две зоны (см. рис. 5 – 6). Первая зона – зона для катания на скейтбордах (см. рис. 7), вторая зона – зона для катания на роликовых коньках. Общая площадь зала составляет 2558 м². Данное расположение фигур позволяет проводить соревнования регионального уровня. Для более массовых мероприятий, предполагается увеличение площади зоны под фигуры. Главный фасад обращен на проезжую часть улицы Вокзальной, а дворовый фасад – на улицу Новая Ленина (см. рис. 2). Фасады выполнены из сэндвич-панелей, в оранжево-фиолетовой гамме.



Рис. 5. Фасады скейтпарка:
а – фасад А – И; б – фасад И – А

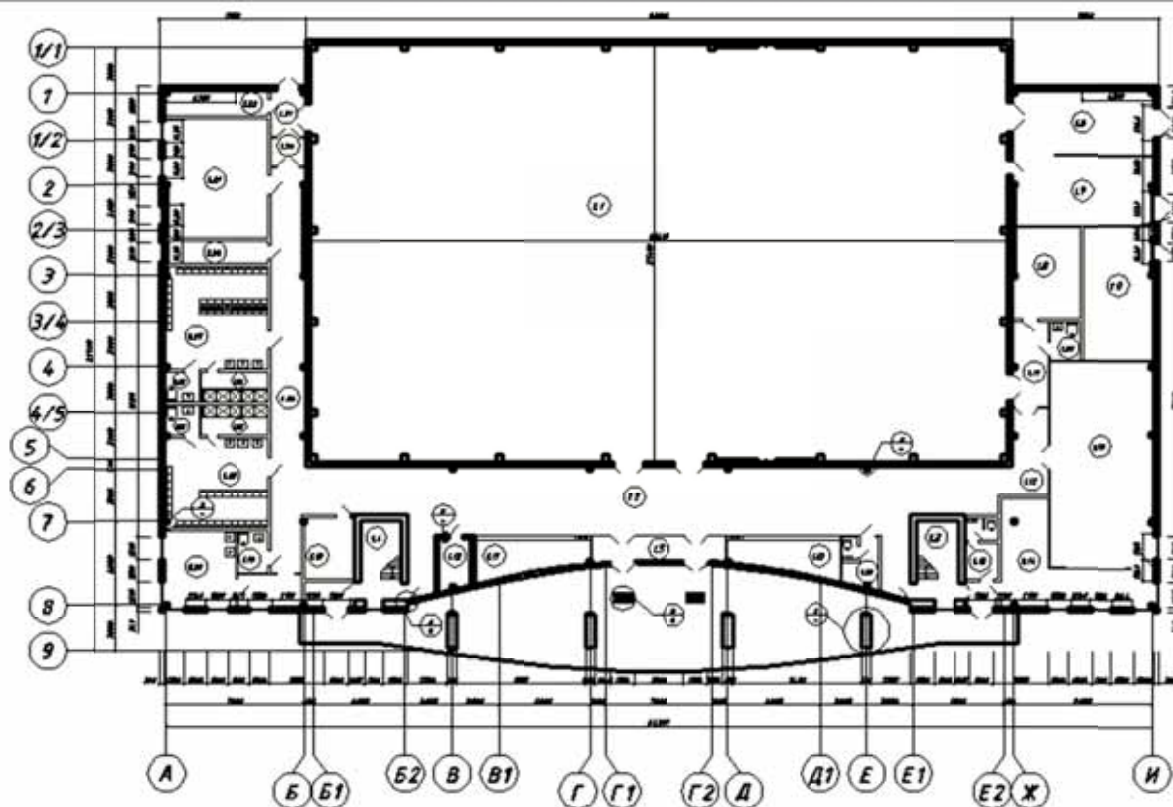


Рис. 6. План этажа скейтпарка на отметке +0,000

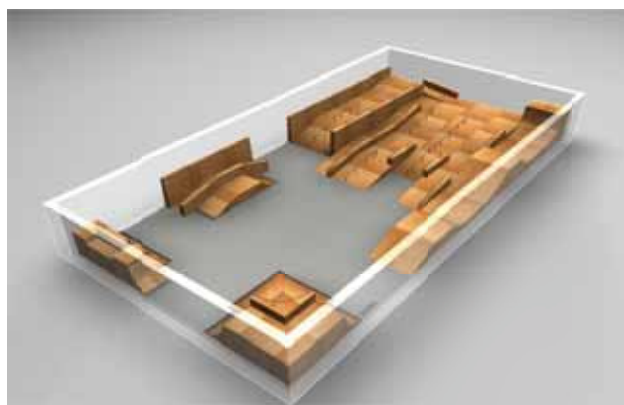
Цветовая гамма была подобрана исходя из психологии самого цвета:

а) оранжевый цвет – цвет теплоты, блаженства, накала, но в то же время – мягкого блеска заходящего солнца. Он всегда радует глаз и способствует хорошему настроению;

б) фиолетовый цвет – в психологии считается примиряющим, объединяющим противоположности. Таким образом, люди, предпочитающие данный необычный цвет, весьма творчески подходят к жизни и способны на невероятные свершения путем объединения, казалось бы, несовместимых вещей.

Такое исполнение фасадов скейтпарка поможет разбавить серость как квартала, в котором он расположен, так и серость города в целом.

Предлагая альтернативное решение, авторы исходили из следующих соображений. На сегодняшний момент в рассматриваемом спальном районе, который расположен в Центральном округе города Комсомольск-на-Амуре, отсутствует проблема дефицита суточных и охраняемых парковочных мест. В летний период начинают открываться открытые охраняемые автостоянки, которые могут располагаться на любых свободных земельных участках, расположенных не менее 30-40 м до жилой застройки. Вместимость таких автостоянок в среднем от 40 до 50 машин. У большинства таких стоянок режим работы с 20:00 по 9:00. Некоторые работают посуточно. Всего подобных автостоянок на территории района расположено 12 штук, из которых 7 – постоянных, 5 – сезонные. В зимний период работает всего 7 открытых стоянок.



Не каждый автовладелец желает оставлять свой автомобиль в 35-градусный суровый мороз на улице. Именно поэтому ажиотаж по заполнению крытых парковочных мест начинается в зимний период, в Комсомольске-на-Амуре он продолжается 7 месяцев. В северной части района располагаются гаражные кооперативы, где располагается не менее 1300 капитальных гаражей. В среднем обслуживание и содержание гаража в кооперативе составляет до 45 000 р. в год. Сегодня экономическая ситуация как города Комсомольска-на-Амуре, так и Хабаровского края в целом такова, что сумма в 250 000 р. позволительна даже не для каждого четвертого жителя города. Еще одной проблемой для возведения многоуровневой стоянки являются нормы СанПин, в которых прописано, что подобные объекты должны располагаться не менее чем в 50 м до школьных и дошкольных учреждений.

Более острым и важным является вопрос развития спорта в Комсомольске-на-Амуре, в частности вопрос развития экстремальных видов спорта и культуры, таких как: скейбординг и катание на роликовых коньках. Все больше и больше молодое поколение внедряется в этот вид спорта и его культуру, но в городе данные виды развиваются в «кустарных» условиях, что порой может привести к печальным итогам [2, 5-25].

Сегодня на территории России расположено около 25 крытых скейтпарков, в таких городах, как Москва, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Мурманск, Красноярск, Владивосток, Самара, Казань, Чебоксары. Как можно заметить, скейтпарки расположены в городах, где численность населения больше 500 тыс. человек и большая из них часть сосредоточена в западной и центральной части России (см. рис. 8 – 9). Многие крытые скейтпарки появились после реконструкции промышленных цехов и складов. Такая ситуация складывалась из-за увеличения городских территорий, в центре города оказывались складские помещения различного предназначения, которые в соответствии с Градостроительным кодексом должны быть расположены по окраинам города в строго отведенных для этого местах.

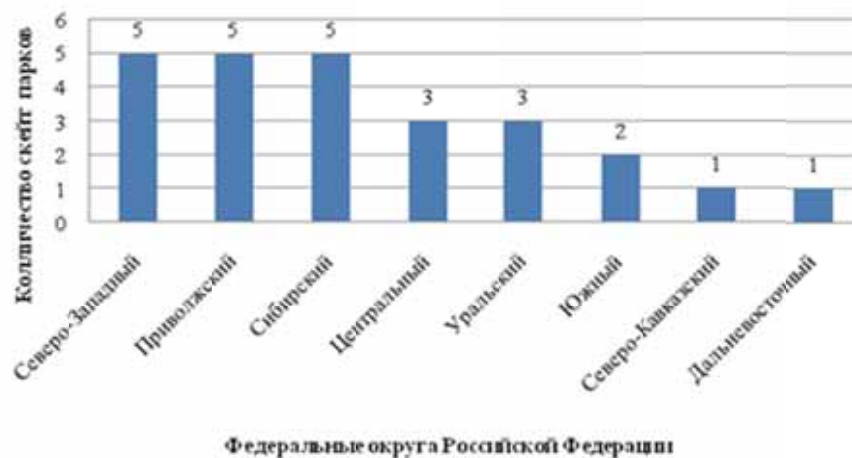


Рис. 8. Диаграмма, показывающая количество крытых скейтпарков, ранжированных по Федеральным округам Российской Федерации

Чаще всего крытые скейтпарки расположены на территориях промышленных зон, которые пришли в упадок, где простаивают огромные крытые площади и для получения хоть какой-то прибыли промышленные цеха переоборудуются под скейтпарки. Это во многом способствует подчеркиванию культуры скейтеров – культура «Андеграунд», которой характерны разрыв с господствующей идеологией, игнорирование стилистических и языковых ограничений, отказ от общепринятых ценностей, норм, от социальных и художественных традиций, нередко эпатаж публики, бунтарство. Изношенный вид стен и прочих конструкций с рисунками граффити более предают спортивной площадке уличный вид.

На Дальнем Востоке расположен всего один подобный объект, что говорит о развитии, но не на достаточном уровне, на фоне страны, данного спорта и культуры в целом. В

нашем городе скейтбординг как вид спорта и как разновидность субкультуры находится на начальном уровне развития.

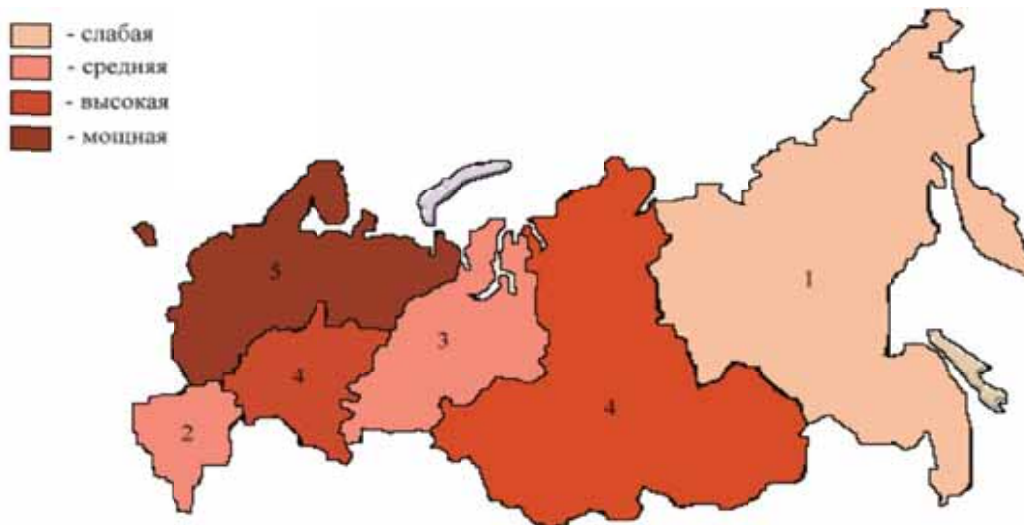


Рис. 9. Состояние технической оснастки скейтпарков и состояние развития культуры «скейтбординг» по 5-балльной шкале (см. прим. 1)

Все больше и больше молодежь пытается вникать в нее, но при этом, к сожалению, на данный момент времени развитие личных навыков происходит на улице, часто без специальной подготовки и без присмотра опытных спортсменов, где под специализированные препятствия и рампы используются малые архитектурные формы: лестницы, бордюры, карнизы, поручни.

Такое катание может привести к непредвиденным последствиям: от переломов конечностей и вплоть до летального исхода. Именно поэтому в нашем городе необходимо строительство крытого скейтпарка, чтобы решить ряд немаловажных задач:

- поддержка и развитие в городе «молодых» видов спорта;
- агитация и побуждение граждан к ведению здорового образа жизни;
- досуговая занятость молодежи;
- разработка тренировочных программ по видам спорта, культивируемым в спорткомплексе;
- обучение детей, новичков и «продвинутых» спортсменов;
- разработка план-графиков городских соревнований, увязка графиков с областными и международными соревнованиями.

Основными посетителями спортивного центра будут школьники и студенты. По данным за 2011 г. в общеобразовательных школах и университетах нашего города учатся около 23 тыс. человек (см. прим. 2). Всех их можно разделить на три группы: активные, пассивные и незаинтересованные посетители, и на рис. 10 приведены данные по количеству участников в каждой группе.

Несмотря на всю свою травмоопасность, при профессиональном подходе, с соблюдением техники безопасности, он несёт в себе огромную пользу для физического и морального развития, укрепляет душу и тело, благотворительно влияет на сердечно-сосудистую систему, развивает координацию, улучшает работу вестибулярного аппарата, улучшает реакцию.

Соревнования и различные мероприятия выглядят невероятно и зрелищно для простых обывателей города, что позволит собирать полный зал зрителей и болельщиков. Стоит упомянуть, что в спорткомплексе предусматривается кафе, которое будет специализироваться на «здоровом» питании и его пропускная способность будет составлять до 60-70 человек в день.

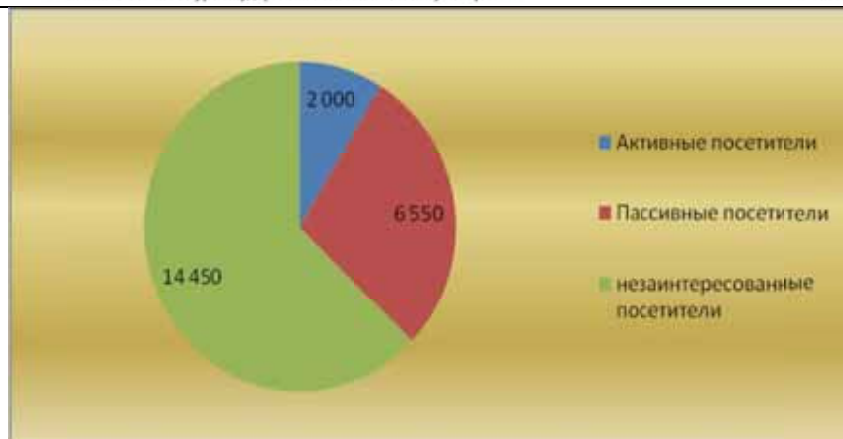


Рис. 10. Количество посетителей, которые ранжированы по группам посетителей

Проведение соревнований поможет привлекать в наш город высококвалифицированных спортсменов, которые будут преподавать мастер-классы как для начинающих, так и для продвинутых пользователей. Будут проводиться постоянно показательные выступления для привлечения молодежи к спорту и здоровому образу жизни. В европейских странах давно уже в данный вид спорта вкладывают большие инвестиции, на которые создаются спортивные команды на базе компаний, производящих спортивную одежду и инвентарь, и организуются всемирные соревнования в различных дисциплинах. При этом компании получают огромные прибыли от продаж своего товара, который хорошо был прорекламирован именитым скейтером или скейтерской командой, ибо реклама – двигатель прогресса. У нас в России, в центральной ее части, такая тенденция только в зачаточном состоянии. Чтобы вся эта система заработала как у западных аналогов, необходимо развить саму культуру в целом, а этому способствует строительство скейтпарков, как открытых, так и закрытых, проведение соревнований и других различных мероприятий в разных городах России, создавать скейтерские шоу-туры по всей стране. Дальний Восток сильно отстает в этом плане по развитию. Это способствует оттоку молодых людей в западные регионы нашей страны, оставляя свой родной регион. И такие случаи все больше и больше учащаются. В нашем городе многие молодые спортсмены давно дошли до потолка в своем развитии. И для его преодоления, ему, молодому спортсмену, поможет строительство крытого скейтпарка в нашем городе.

Много молодежи увлечено сейчас катанием на скейте и роликах. И очень бы хотелось, чтобы подобный парк был и у нас в городе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила землепользования и застройки городского округа «Город Комсомольск-на-Амуре»: [утверждены решением городской Думы от 14.10.2009 № 72]. – 2009. – 29 с.
2. Попеско, А. И. Управление недвижимостью спортивных комплексов на региональном уровне : моногр. / А. И. Попеско, В. В. Литовченко, А. В. Синяков. – М.: Изд-во Дальневосточного ун-та, 2004. – 5-25 с.

ПРИМЕЧАНИЯ

1. Всё о Развитии скейтбординга в России и Мире: места катания. – Режим доступа: <http://skater.ru/mesta/>
2. Официальный сайт органов самоуправления города Комсомольск-на-Амуре: инвестиционный паспорт города. – Режим доступа: <http://www.kmscity.ru/city/invest>

ХРОНИКА НАУЧНОЙ ЖИЗНИ CHRONICLE OF SCIENTIFIC LIFE

Павленко А.А.
A. A. Pavlenko

КОНГРЕСС ИНЖЕНЕРОВ

THE KONGRESS OF THE ENGINEERS

Павленко Анна Александровна - аспирант кафедры «Философия, социология и связь с общественностью», Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет (Россия, г. Комсомольск-на-Амуре). E-mail: annashmidt@inbox.ru. Тел.: +7-960-263-50-67

Pavlenko Anna A. – graduate student of the Department of Philosophy, Sociology and Public Relationships, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, 27, Lenin Avenue, Komsomolsk-on-Amur, 681013; E-mail: annashmidt@inbox.ru. Phone: +7-960-263-50-67.

В Комсомольске-на-Амуре прошёл первый Дальневосточный конгресс инженеров «Наука-Инженер-Промышленность». Наш город был выбран не случайно, ведь именно он считается промышленным центром Дальнего Востока.

В Конгрессе приняло участие большое количество гостей не только с ДФО, но и из других регионов России. Магаданская область, Приморский край, Республика Саха (Якутия), Республика Бурятия, Омская и Астраханская области направили своих делегатов для участия этом мероприятии. Также, в Конгрессе принимали участие представители Японии, Малайзии, США, Белоруссии.

Участники конгресса посетили экскурсию по предприятиям города, присутствовали на пленарных заседаниях, посетили промышленную выставку, и приняли участие в работе тематических «круглых столов».

Первое пленарное заседание конгресса открыл врио губернатора Хабаровского края Вячеслав Шпорт. Помимо главы региона с докладами выступили: начальник департамента управления президента РФ по научно-образовательной политике Анна Деревнина, академик РАН Павел Минакир, проректор Московского государственного технологического университета «СТАНКИН» Андрей Кутин, представители делегаций субъектов РФ, руководители промышленных предприятий. На выставке были представлены экспозиции тринадцати предприятий Дальнего Востока, а также трёх ВУЗов Хабаровского края, в числе которых был и наш Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. На нашем стенде были представлены инновационные разработки университета: керамические нагревательные элементы (разработчик — доцент кафедры «Технология самолетостроения» С.В. Белых); акустико-эмиссионный измерительный комплекс (разработчик — начальник ЦКП О.В. Башков, разработка коммерциализирована, создано инновационное предприятие ООО «Эско»); установки для газотермического напыления металлов (разработчик — начальник лаборатории А.В. Усатый, разработка коммерциализирована, создано инновационное предприятие ООО «Композит-ДВ»);

Так же представлена новая разработка малого инновационного предприятия «Синтек» (партнера Технопарка КнАГТУ) антикоррозионная и противопожарная краска. На разработку получен сертификат морского регистра.

На трех дискуссионных площадках в формате «круглых столов» участники обсудили роль инженерного образования в инновационной экономике, развитие науки и инновационной деятельности, вопросы внедрения кластерного подхода как основного механизма развития промышленности. На базе КнАГТУ прошёл круглый стол на тему «Роль инженерного образования в инновационной экономике».



Сформированные предложения участников конгресса в виде итоговой резолюции будут направлены в федеральные органы исполнительной власти, Совет Федерации РФ и Государственную думу.

В документе акцентируется необходимость разработки региональных комплексных программ модернизации инженерно-технического образования, а также перспективного прогноза потребности экономики в инженерно-технических кадрах, передает пресс-служба губернатора и правительства Хабаровского края.

«Модель инженерного образования, ориентированная на подготовку специалистов, обладающих инновационным мышлением, способных сочетать исследовательскую, проектную и предпринимательскую деятельность, может быть реализована только при объединении усилий педагогической и научной общественности, органов власти, производственного сектора экономики», — подчеркивают авторы итогового документа.