

ҚАРАҒАНДЫ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ
ВЕСТНИК
КАРАГАНДИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

ISSN 0142-0843

ФИЗИКА сериясы
№ 4(72)/2013
Серия ФИЗИКА

Қазан–қараша–желтоқсан
26 желтоқсан 2013 ж.
1996 жылдан бастап шығады
Жылына 4 рет шығады
Октябрь–ноябрь–декабрь
26 декабрь 2013 г.
Издается с 1996 года
Выходит 4 раза в год

Собственник РГП

Қарагандинский государственный университет
имени академика Е.А.Букетова

Бас редакторы — Главный редактор

Е.К.КУБЕЕВ,

академик МАН ВШ, д-р юрид. наук, профессор

Зам. главного редактора

Х.Б.Омаров, д-р техн. наук

Ответственный секретарь

Г.Ю.Аманбаева, д-р филол. наук

Серияның редакция алқасы — Редакционная коллегия серии

К.К.Кусаинов,
Т.А.Кокетайтеги,
Н.Х.Ибраев,
А.О.Саулебеков,
К.М.Арынгазин,
И.В.Брейдо,
С.Д.Джуманов,
М.М.Кидибаев,
З.Ж.Жанабаев,
Г.В.Климушева,
С.А.Кумеков,
В.М.Лисицын,
И.А.Огородников,
Г.И.Пилипенко,
С.В.Плотников,
А.Ж.Турмухамбетов,
К.Ш.Шункеев,
Л.В.Чиркова,

редактор д-р техн. наук;
д-р физ.-мат. наук;
д-р физ.-мат. наук;
д-р физ.-мат. наук;
д-р пед. наук;
д-р техн. наук;
д-р физ.-мат. наук (Узбекистан);
д-р физ.-мат. наук (Кыргызстан);
д-р физ.-мат. наук;
д-р физ.-мат. наук (Украина);
д-р физ.-мат. наук;
д-р физ.-мат. наук (Россия);
д-р физ.-мат. наук (Россия);
д-р физ.-мат. наук (Россия);
д-р физ.-мат. наук;
д-р физ.-мат. наук;
д-р физ.-мат. наук;
ответственный секретарь
канд. техн. наук, доцент

Редактор *И.Д.Рожнова*
Редакторы *Ж.Т.Нұрмұханова*
Техн. редактор *В.В.Бутяйкин*

Издательство Карагандинского
государственного университета
им. Е.А.Букетова
100012, г. Караганда,
ул. Гоголя, 38,
тел., факс: (7212) 51-38-20
e-mail: izd_kargu@mail.ru

Басуға 24.12.2013 ж. қол қойылды.
Пішімі 60×84 1/8.
Офсеттік қағазы.
Көлемі 12,75 б.т.
Таралымы 300 дана.
Бағасы келісім бойынша.
Тапсырыс № 1015.

Подписано в печать 24.12.2013 г.
Формат 60×84 1/8.
Бумага офсетная.
Объем 12,75 п.л. Тираж 300 экз.
Цена договорная. Заказ № 1015.

Отпечатано в типографии
издательства КарГУ
им. Е.А.Букетова

Адрес редакции: 100028, г. Караганда, ул. Университетская, 28

Тел.: (7212) 77-03-69 (внутр. 1026); факс: (7212) 77-03-84.

E-mail: vestnick_kargu@ksu.kz. Сайт: <http://www.ksu.kz>

© Карагандинский государственный университет, 2013

Зарегистрирован Министерством культуры и информации Республики Казахстан.
Регистрационное свидетельство № 13111-Ж от 23.10.2012 г.

МАЗМҰНЫ

КОНДЕНСАЦИЯЛАНҒАН КҮЙДІҢ ФИЗИКАСЫ

<i>Барашков Н.Н., Сахно Т.В., Сычкова С.Т., Иргибайева И.С., Сахно Ю.Е.</i> Сутартқыштығын көтермелеу мақсатымен политетрафторэтилен (ПТЭФ) нанобөлшектер бетінің түрөзгертушілік әдістері.....	4
<i>Юров В.М., Лауринас В.Ч.</i> Жамылғыны жауып жатқан жылулық өріс	16
<i>Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Завацкая О.Н.</i> Көпфазалы ионды-плазмалы жабындының құрылымы және қасиеттері	23
<i>Максимкин О.П., Тақиева А.М., Налтаев А., Маженов Н., Бердалиев Д.Т., Рахашев Б.К.</i> Жылулық нейтрондармен сәулеленген реакторлық тоттанбайтын 12X18H10T болаттың шоғырланған деформациясының және физика-механикалық қасиеттерінің ерекшеліктері.....	34
<i>Русакова А.В., Ақылбеков А.Т.</i> Ауыр және жеңіл жоғарғы энергетикалық иондармен сәулеленген литий фторид кристалында бояу орталықтарының және агрегаттардың түзілуі.....	43
<i>Құсайынов Қ., Сақыпова С.Е., Нусупбеков Б.Р., Айтпаева З.К., Оспанова Д.А.</i> Құрамында металл бар техногенді шикізаттың физика-химиялық қасиеттеріне электр импульстік өңдеудің әсерін зерттеу.....	48

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ

<i>Құсайынов Қ., Қамбарова Ж.Т., Тұрғынов М.М., Омаров Н.Н., Ранова Г.А.</i> Беттік пішіні динамикалық өзгермелі қалақшалы жел турбинасы моделінің аэродинамикалық сипаттамаларын зерттеу	55
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ТЕХНИКАЛЫҚ ФИЗИКА

<i>Жәутіков Б.А., Айкеева А.А., Жәутіков Ф.Б., Мұхтарова П.А.</i> Электрмагниттік көтергіш қондырғысын жасау жолымен тау-кен массасын тасымалдау үшін энергия үнемдеу технологиясын енгізу.....	62
<i>Колесников В.А., Юров В.М., Байсағов Я.Ж.</i> Үдемелі өлшеудің теориялық жақтары	68
<i>Құсайынов Қ., Алтысова Г.К., Танашев Е.Т., Толынбеков А.Б., Танашева Н.К.</i> Көмір сулы отын қасиеттеріне пластификаторлардың әсерін зерттеу	75

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

<i>Barashkov N.N., Sakhno T.V., Sychkova S.T., Irgibayeva I.S., Sakhno Yu.E.</i> Methods of modification of the surface of PTFE nanoparticles with a purpose to increase their hydrophilic properties.....	4
<i>Jurov V.M., Laurinas V.Ch.</i> Thermal field of besieged coverings	16
<i>Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N.</i> Structure and properties of multiphase ionic-plasma coverings	23
<i>Максимкин О.П., Тақиева А.М., Налтаев А., Маженов Н., Бердалиев Д.Т., Рахашев Б.К.</i> Особенности локализованной деформации и физико-механические свойства реакторной нержавеющей стали 12X18H10T, облученной тепловыми нейтронами.....	34
<i>Русакова А.В., Акилбеков А.Т.</i> Образование центров окраски и агрегатов в кристаллах фторида лития, облученных высокоэнергетическими легкими и тяжелыми ионами	43
<i>Құсайынов Қ., Сақыпова С.Е., Нусупбеков Б.Р., Айтпаева З.К., Оспанова Д.А.</i> Исследование влияния электроимпульсной обработки на физико-химические свойства металлосодержащей руды	48

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

<i>Құсайынов Қ., Қамбарова Ж.Т., Тұрғынов М.М., Омаров Н.Н., Ранова Г.А.</i> Исследование аэродинамических характеристик модели ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей	55
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

<i>Жәутіков Б.А., Айкеева А.А., Жәутіков Ф.Б., Мұхтарова П.А.</i> Внедрение энергосберегающей технологии транспортировки горной массы путем создания электромагнитной подъемной установки.....	62
<i>Kolesnikov V.A., Jurov V.M., Bajragov J.Z.</i> Theoretical aspects dynamic weighings	68
<i>Құсайынов Қ.К., Алтысова Г.К., Танашев Е.Т., Толынбеков А.Б., Танашева Н.К.</i> Исследование воздействия пластификаторов на свойства водоугольного топлива	75

Құсайынов Қ.Қ., Жақатаев Т.А., Нүсіпбеков Б.Р., Ботпаев Н.К. Жел генераторының дөңгелек контурында магнит өрісін есептеу.... 80

ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

Омарқұлов К.А., Сақытова С.Е., Жұманова Р.И., Қамбарова Ж.Т. Геометриялық оптика тақырыбы бойынша компьютерлік зертханалық жұмыстарды өткізу әдістемесі 88

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР 96

2013 жылғы «Қарағанды университетінің хабаршысында» жарияланған мақалалардың көрсеткіші. «Физика» сериясы 98

Құсайынов К.К., Жақатаев Т.А., Нусупбеков Б.Р., Ботпаев Н.А. К расчету магнитных полей в замкнутых кольцевых контурах ветровых электрогенераторов 80

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

Омарқұлов К.А., Сақыпова С.Е., Жұманова Р.И., Камбарова Ж.Т. Методика проведения компьютерных лабораторных работ по геометрической оптике 88

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 96

Указатель статей, опубликованных в «Вестнике Карагандинского университета» в 2013 году. Серия «Физика» 98

КОНДЕНСАЦИЯ ЛАНҒАН КҮЙДІҢ ФИЗИКАСЫ ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

UDC 678.073:661.481

N.N.Barashkov¹, T.V.Sakhno², S.T.Sychkova², I.S.Irgibayeva³, Yu.E.Sakhno²

¹«Micro-Tracers» Inc., Department of R&D, San Francisco, CA, 94124, United States;

²Poltava University of Economics and Trade, Ukraine;

³L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana
(E-mail: sakhnoyura@alice.it)

Methods of modification of the surface of PTFE nanoparticles with a purpose to increase their hydrophilic properties

The paper considers with three methods of modification of the surface of PTFE nanoparticles with a purpose to increase their hydrophilic properties: adsorption of esters of p-hydroxybenzoic acid; adsorption of branched fluorocarbon surfactant polymers containing perfluoroundecanoyoxy groups; and adsorption of fluorinated homopolymers and block copolymer. All three methods were analyzed in terms of their potential efficacy to provide a stable dispersion of sample of PTFE nanoparticles in polar solvents, and a preliminary conclusion that the method based on adsorption of fluorinated block copolymers containing blocks of pentafluorostyrene and acrylic acid seems to be most suitable for required purpose has been made.

Key words: nanoparticles, surface modification, adsorption, solvent, copolymer.

Introduction

Polytetrafluoroethylene (technical name fluoroplastic4, F-4) is superior in the set of physicochemical and mechanical properties to all the known polymers. PTFE displays a high thermal stability, a high chemical resistance, a low friction coefficient, and a low surface energy. These properties, which are very important for some specific applications, together with the rubbing action, cause considerable disadvantages in applications in which adhesion-related problems are concerned. Since the materials with low surface energy can be used to prepare promising high-quality protective coatings, fluorocarbon in the molecular structure are characterized by several excellent properties. It is possible to use the polymers that contain fluorocarbon groups in the molecular structure to produce a surface to which some organisms could not adhere with tenacity, or from which the organisms could be removed easily. But the low surface energy of fluoropolymers and the difficulty in bonding them to the substrate make it necessary to utilize special adhesives or treatments in order to obtain the required adhesion to the substrate. Several techniques have been developed for modifying polymer surfaces to improve their dispersibility in solvent of paint and adhesion properties without altering their bulk properties.

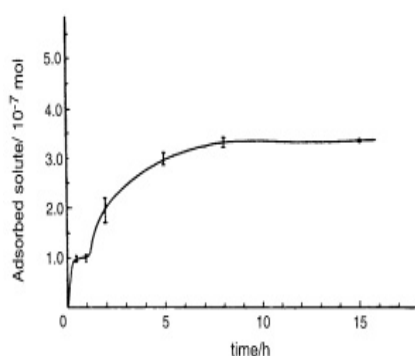
Analysis of the literature related to the surface treatment of PTFE with a purpose in increase polymer polarity which should provide the required increase in a dispersability of PTFE nanopowder shows the existence of several approaches. Most promising of them, in our opinion, are related to pure physical adsorption of one or several compounds on the surface of PTFE without chemical interaction of polymer chain with these compounds.

1. Physical adsorption of compounds on the surface of PTFE

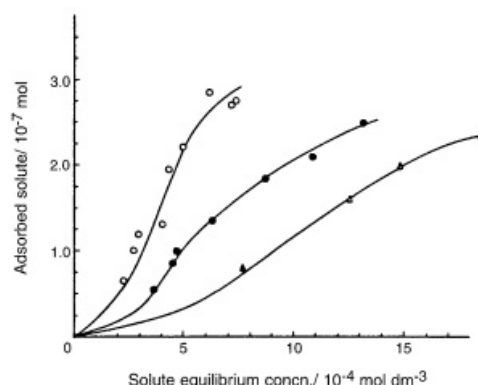
An important part of PTFE wide application arises from its stability and from being regarded as inert to adsorption [1]. Such properties can be attributed to the high stability of the C–F bond and to the display of both hydro- and oleophobicity by perfluorinated compounds [2, 3]. There have been, however, some reports

of sorption/adsorption on Teflon for compounds such as iron carbonyl, chloroform, acetic acid [4], ammonia [5] inorganic acids and bases [6], surfactants [7–11] and alkyl *p*-hydroxybenzoates [1]. In the case of amphiphilic molecules, contact angle measurements also revealed an increase in Teflon wettability due to the solute interaction with the polymer surface.

Adsorption of these relatively non-polar compounds, particularly *n*-propyl ester of *p*-hydroxybenzoic acid and several other esters on the surface of PTFE has been reported in paper [1]. The authors of paper [1] indicated that the most reproducible results were obtained when PTFE has been used not in form of powder, but in form of tubing. The time dependent extent of adsorption is shown in Fig. 1A for amyl ester of *p*-hydroxybenzoic acid (AEHBA).



A — Extent of solute removal as a function of contact time, for AEHBA in water at an initial concentration of 0.7 mM. Each point represents an average of, at least, two independent experiments



B — Adsorption isotherms for (Δ) propyl ester and (●) butyl ester of *p*-hydroxybenzoic acid and (o) AEHBA on the PTFE tubing, after 5 hours [1]

Figure 1

Figure 1A suggests that the process may be divided in two steps: the first, faster, occurring before 1 h of contact; and the second, slower, between 1 h and the plateau reached after 5 h. Keeping in mind that the size of the AEHBA molecule is 3.62 Å [12], and applying this data to the amount of solute removed at the first plateau of Fig. 1A, the area occupied by the solute molecules can be estimated as ca. 240 cm² which is close to the internal area provided by the tubing. On that account it is reasonable to suggest the picture of a flat solute adsorption onto the PTFE surface, leading to a monolayer, followed by a slower rearrangement. According to the data presented in Fig. 1A, the average area per solute molecule is reduced to a third after equilibration. Such a decrease might be caused by some solute clustering at the polymer surface or could be a reflection of some extent of solute penetration into the polymer.

Assuming the Einstein relation for molecular motion, and a diffusion coefficient around 10⁻⁸ cm² s⁻¹, the mean displacement of the solute molecules at 5 h would be near 0.02 cm. If a sorption process was occurring, one should expect much longer saturation times, as a reflection of larger mean displacements. Therefore, the authors [1] concluded that such a small displacement, together with a relatively short time for the attained saturation, suggests that the solute removal cannot be ascribed to a sorption process.

Figure 1B shows the isotherms for the adsorption process of three esters of *p*-hydroxybenzoic acid, obtained after 5 hours. These curves are upper-limited by the low solubility of the investigated compounds in water. For methyl and ethyl esters, the extent of adsorption was too small to be detected. The shape of the curves is consistent with the class of low affinity isotherms [13]. It might also suggest a cooperative nature for the process which could represent the solute reorientation on the polymer surface. The maximum amounts of removed solutes were small: 10, 5, and 3 %, for AEHBA, butyl ester and propyl ester of *p*-hydroxybenzoic acid, respectively [1].

Sorption processes are commonly observed in polymers and depend on the affinity between polymer and the solute. In the case of PTFE, it has been shown [14] that the swelling by organic solvents is related to their mutual affinity as described by the Hildebrand parameters, δ . Perfluorinated compounds have low δ values, around 12–13 [15]. According to [1] the esters of *p*-hydroxybenzoic acid are somehow similar to 4-methyl and 4-octylresorcinol, which have δ values of 28.4 and 25.4 [15]. The results summarized in

Fig. 2B reveal that, besides the substantial difference in δ values, the solute–polymer interaction cannot be disregarded.

The preliminary observation of increased wettability of PTFE powder upon adsorption of the esters of *p*-hydroxybenzoic acid upon adsorption reported in paper [1] suggests that, although some extent of solute incorporation might occur, a significant amount solute molecules should remain on the polymer surface. These molecules, probably oriented with their polar moieties toward the aqueous solution and the apolar ones in contact with PTFE, would cause a decrease in the interfacial tension between the polymer and water. Therefore, besides the hydrophobic effect of the removal of apolar solutes from water, represented by the increase of solute removal along the homologous series, such interaction also conveys some contribution due to the decrease of the interfacial energy between PTFE and the polar liquid. Authors of paper [1] indicated that although similar observations have been already reported for surfactants, their results point out that solute–PTFE interaction should be taken into account even when considering smaller, but still apolar molecules.

2. Adsorption of polar fluoropolymers, containing perfluoroundecanoyloxy groups on the surface of PTFE

This interesting type of the treatment of PTFE firstly has been investigated in papers [16–18]. The purpose of these studies consisted of making the PTFE surface more suitable for biomedical applications, like ability of modification with bioactive molecules. It was emphasized [16] that fluorinated copolymers containing side-chains of perfluoroundecanoyloxy groups can play the role of surfactant. Their adsorption can provide a well-defined surface modification that is nondestructive to the PTFE surface and easier to perform than high-energy reactions such as plasma or chemical etching using alkyl lithium or benzoin dianion.

One concern, as with any approach to surface modification that involves noncovalent interactions, is the adhesion stability of the surfactant on the solid substrate. Adhesion stability can be improved by increasing the molecular weight of the surfactant, such as moving from classical molecular diblock surfactant structure [19] to polymeric systems, decreasing the entropy of the surfactant by adopting a branch or comblike structure, or by increasing hydrophobic–hydrophilic balance [20,21].

According to [16], these options are also consistent with the results from Fler's self-consistent-field theory of polymer adsorption [22–24]. Some preliminary work [25, 26] has been performed on hydrophobic polymers like polyethylene and nonionic dextran surfactant polymers which demonstrated effective surface assembly at a solid/aqueous interface and useful interfacial properties, such as suppression of protein adsorption, which are highly beneficial for blood-contacting medical devices [27]. The polymer surfactants were composed of poly(vinylamine) with pendant dextran and alkanoyl groups. When adsorbed on a hydrophobic surface such as polyethylene, the alkanoyl side chains adhere to the hydrophobic substrate, while the dextran side chains are oriented into the aqueous environment to provide a biocompatible oligosaccharide interface.

However, it was shown that the existing surfactant polymers with hydrocarbon side chains readily adsorb on PTFE but do not show stable adhesion [16]. This observation suggests that favorable enthalpic, as well as entropic, changes may be important for achieving stable surfactant–PTFE adhesion. Accordingly, the authors [16–18] have designed surfactant polymers with fluorocarbon side chains, which would be expected to favor adsorption and strong adhesion on PTFE under aqueous solutions. They are more hydrophobic and have a larger molecular cross section than hydrocarbons [28, 29].

For instance, fluorocarbon surfactant polymers that adhere to PTFE surface under aqueous conditions and provide a stable oligosaccharide interface suitable for biomedical applications have been described [16]. The polymers, consisting of a poly(vinylamine) backbone with dextran and fluorocarbon side chains, were characterized by FT-IR, NMR, and XPS, with surface activity demonstrated by significant reductions in water surface tension at the air–water interface, and by XPS after modification and exposure to dynamic flow conditions over the shear stress range of 0–20 dyn/cm².

The general strategy for the synthesis is based on poly(vinylamine) (PVAm) chemistry. PVAm was obtained by method [25] from basic hydrolysis of poly(*N*-vinylformamide) (PNVF), which was prepared by free radical polymerization of *N*-vinylformamide in DMF with AIBN as the initiator. The molecular weight of PVAm ($M_n \sim 35\,000$, $M_w/M_n \sim 1.3$) was deduced from that of PNVF assuming 100 % hydrolysis and no loss in the purification process. PVAm can be easily modified with a variety of functional groups, such as carboxylic acid, lactone, isocyanate, or aldehyde. Dextran molecules were attached to PVAm by reacting the amino groups with dextran lactone. Fluorocarbon branches were attached to the backbone by reacting the amino groups with perfluorocarbon succinimide.

Graft polymers with either hydrophobic fluorocarbon branches or hydrophilic dextran branches were synthesized, as well the complete fluorocarbon surfactant polymer. PVAm-FC11 was prepared by reacting the amine groups of PVAm with *N*-(perfluoroundecanoyloxy)succinimide in methanol. The reaction of succinimide with amine is selective, so that hydroxyl groups on dextran do not need protection.

Unlike the synthesis of analogous hydrocarbon surfactant polymers, fluorocarbon surfactants cannot be synthesized by reacting PVAm with dextran lactone and succinimide simultaneously. Since the fluorosuccinimide reacts much faster with PVAm than does dextran lactone, the resulting PVAm-FC11 would precipitate, thus preventing further attachment of the hydrophilic dextran.

According to paper [16], while the dextran content is a constant for each surfactant polymer, the fluorocarbon branch density, determined by XPS analysis, increases from 15 to 45 mol % of reacted amines in the polymer backbone (Table 1). The structural information (*x*, *y*, and *z*) determined using XPS itself is in excellent agreement (± 2 mol %) with the data in Table 1 obtained using the combination of NMR and XPS. In addition, there are many unreacted amine groups along the polymer backbone. This is attributed to steric inhibition effects of the attached bulky dextran molecules. However, any remaining unreacted amine groups can be capped by reaction with smaller molecules such as glucolactone or acetic succinimide, as was demonstrated in a paper [25].

Table 1

Fluorocarbon Surfactant Composition [16]

Composition	PVAm(Dex:FC11) dextran:perfluoroundecanoyl ratio		
	1:0.5	1:1	1:2
Mol wt ^a (<i>M_n</i>)			
PVAm	35000	35000	35000
Surfactant	370000	397000	504000
Composition (mol %)			
Dextran ^b	22	22	22
Perfluoroundecanoyl ^c	15	21	45
Amine	63	57	33
Groups per surfactant			
Dextran	179	179	179
Perfluoroundecanoyl	122	171	366
Amine	512	464	269

Notes: ^a Based on GPC/light scattering of poly(*N*-vinylformamide) (*M_w*/*M_n* = 1.3). ^b Based on NMR data. ^c Based on XPS data.

The surface-active properties of fluorocarbon surfactants at the air/water interface were obtained from surface tension measurements. The surface tension data were plotted against the logarithm of concentration, as shown in Fig. 2. Surfactant efficiency, defined as $\log(1/C)_{\pi=20}$, where *C* is the bulk concentration in mol/L, measures the surfactant concentration needed to lower water surface tension by 20 dyn/cm. The efficiency for surfactants 1:0.5, 1:1, and 1:2 is estimated to be around 4.7, 4.8, and 5.2, respectively, as determined from the data in Fig. 2. The increased content of fluorocarbon branches in surfactant 1:2 provides a greater thermodynamic driving force for surfactant assembly at the air/water interface and thus is more efficient in reducing water surface tension. In terms of effectiveness, defined by the minimum surface tension, all three polymers are very similar up to the solubility limit. This suggests similar fluorocarbon coverage at the interface, since effectiveness depends on the van der Waals attractions of the hydrophobic groups in the surfactants [30]. No critical micelle phenomenon for all three surfactants was observed over the measured concentration range. This result is consistent with previous observations for hydrocarbon surfactant polymers [25].

The authors of paper [16] investigated the surface adsorption and adhesion on PTFE. In the presence of a solid surface, surfactants in water can minimize interfacial energy by forming micelles, assembling at air-water interface, and by adsorbing at the solid/water interface. XPS analysis (Fig. 3) shows surfactant adsorption on PTFE obtained under different shear stress conditions. For comparisons between each surfactant, the *N*_{1s} atomic percent is normalized against the value obtained for the respective bulk polymer. For surfactant polymer PVAm(Dex: FC11) with branch ratios ranging from 1:0.5 to 1:2, the nitrogen percentage at 0 dyn/cm² increases monotonically from 40 % to 90 %, indicating increasing amount of adsorbed surfactant.

This follows the same order as the results obtained for surface activity at the air/water interface. These findings also are consistent with theoretical considerations, which show adsorption increases with increased hydrophobic content [22–24]. Electrostatic interaction is not a significant factor in controlling surfactant adsorption, since zeta potentials for all three surfactants measured in PBS solution are close to 0 mV.

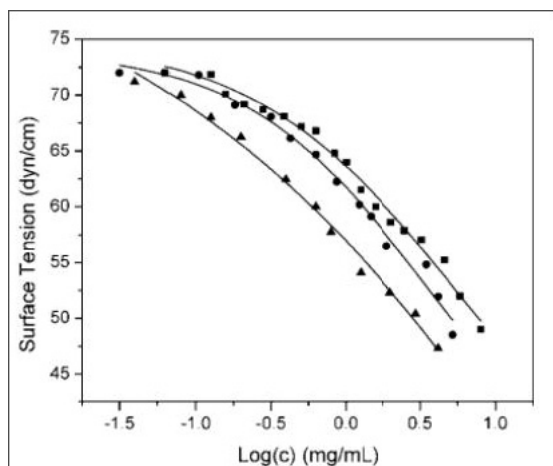


Figure 2. Surface tension of fluorocarbon surfactant polymers in aqueous solutions. The dextran to fluorocarbon branch ratio in PVAm(Dex:FC11) is held constant at three different values: 1:0.5 (■); 1:1 (●); 1:2 (▲) [16]

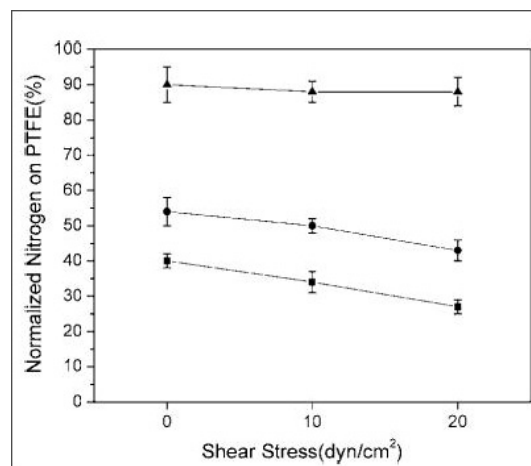


Figure 3. Normalized nitrogen percentage on PTFE as a function of shear stress experienced by the surfactant polymer. The dextran to fluorocarbon branch ratio in PVAm(Dex: FC11) is held constant at three different values: 1:0.5 (■), 1:1 (●), and 1:2 (▲) [16]

The adhesion of surfactants on PTFE was investigated by exposing surface adsorbed surfactant to different applied shear stress for 1 h. For the surfactant with a dextran:fluorocarbon branch ratio of 1:2, there is no significant change in the amount of adsorbed surfactant polymer after exposure to shear stress ranging from 0 to 20 dyn/cm^2 . This indicates that the adsorption was not kinetically reversible on the time scale of the measurements. In contrast, the amount of adsorbed surfactant decreases by 32 % and 20 % for surfactants with branch ratios of 1:0.5 and 1:1, respectively, over the same shear stress range. The results obtained under applied shear stress suggest that increasing the fluorocarbon branch density correlates with increasing surfactant adhesion on PTFE. Consequently, the fluorocarbon branch density appears to be an important factor in controlling surfactant polymer adsorption and adhesion on PTFE.

The stability of adsorbed comblike polymer surfactants on solid polymer substrates will depend on many factors, including polymer backbone molecular weight, the length and ratios of the hydrophobic and hydrophilic branches, and surfactant–surfactant and surfactant–substrate intermolecular interactions. The chemical similarity between the fluorocarbon branches and the PTFE is designed to improve the thermodynamic compatibility between the surfactant and the substrate compared with the hydrocarbon branches used previously. The fluorocarbon branch also possesses a symmetric cylindrical shape, which should match the geometry of surface fluorocarbon chains in PTFE and increase adhesive intermolecular contact [16].

We would like to point out that the synthesis of fluorinated copolymers containing side-chains of perfluoroundecanoyloxy groups described in [16] is rather complicated multistep procedure which can potentially limit its practical application. With this respect the approach investigated in PhD study [31] related to adsorption of less complex fluorinated homopolymers and, especially, block copolymers on the surface of PTFE (which will be considered in next section) could be more suitable for modification of PTFE nanoparticles with a purpose of improving their ability to be dispersed in polar media.

3. Adsorption of fluorinated homopolymers and block copolymers on the surface of PTFE

Adsorption of fluorinated homopolymers, such as poly(pentafluorostyrene) (PFS), poly(tetrafluoropropylmethacrylate) (PTFPMA) and poly(tetrafluoropropyl acrylate) (PTFPA) (Fig. 4) on the surface of PTFE films has been investigated [31]. Table 2 summarizes data related to molecular weight of investigated polymers and amount of fluorine atoms on the polymer chain which was calculated from the molecular mass of polymer and structure of repeating units.

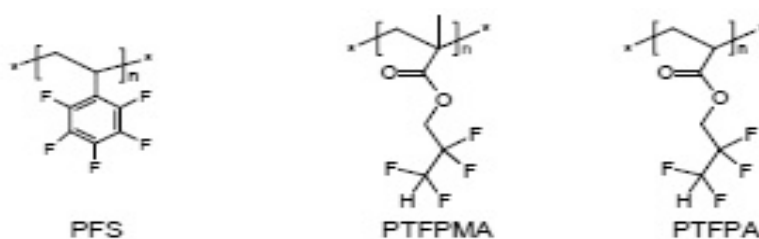


Figure 4. Chemical structure of fluorinated homopolymers used for modification of PTFE surface [31]

This study was carried out by soaking the PTFE films in 1mg/ml polymer solution in one of four solvents: dichloromethane (DCM), fluorobenzene (FB) and methylethyl ketone (MEK) and dimethylformamide (DMF) for about 16 hrs then washing three times with the same solvent used for soaking and then dried. The films were analyzed by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and contact angle measurements.

Table 2

Molecular weight of investigated polymers and amount of fluorine atoms on the polymer chain [31]

Sample	Polymer	M_n	n	PDI	No. F ^a
4B	PFS	27417	140	1.06	700
4C	PTFPMA	38951	193	1.13	773
4D	PTFPA	39959	213	1.06	853

Note. a — Number of fluorines on the polymer chain was calculated from the M_n and structure of repeating units.

According to the XPS survey spectra, the untreated PTFE (sample 4A, it is not shown in Table 2) and PFS-adsorbed (sample 4B, Table 2) show only presence of F and C, whereas a small amount of O was observed on the PTFPMA- and PTFPA-adsorbed PTFE films (samples 4C and 4D, respectively). This is in agreement with the chemical structures. The atomic concentrations of all samples are summarized in Table 3. The theoretical values of the F/C ratios of PTFE, PFS, PTFPMA and PTFPA are 2, 0.63, 0.57 and 0.67, respectively. Therefore adsorption of these polymers should decrease the F/C ratios. The untreated PTFE showed an F/C ratio of 2.2 which is slightly higher than the theoretical.

Adsorption of PFS reduced the F/C ratios to 1.2–1.5, depending on the solvent used. In the case of PTFPMA and PTFPA, the presence of O can also be used to identify polymer adsorption. Both polymers showed the appearance of O (1.1–1.3 %) when adsorbed in DCM with a concomitant reduction in F/C ratios to 1.2–1.3. When FB was used, there was also some O (0.7–0.8 %) seen as well as a reduction in the F/C ratios (1.5–1.6). But these changes were smaller than those obtained in DCM. In case of MEK, there was no O, and the F/C ratios were high (1.7–1.8).

The high resolution C1s XPS spectra were found to be useful for identifying the polymer adsorption. Figure 5 shows the high resolution C1s XPS spectra of untreated and PFS adsorbed PTFE films [31].

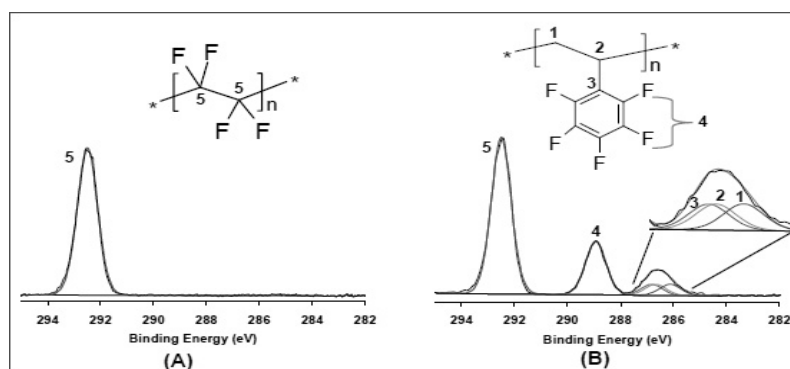


Figure 5. C1s narrow scans of PTFE films (A) untreated (sample 4A) and (B) PFS adsorbed (sample 4B₃)

The peak at 292.5 eV corresponds to the C–F₂ from PTFE. Untreated PTFE showed trace amounts of aliphatic carbons (0.7 %) at 285.3 eV, indicating the presence of a small hydrocarbon impurity. The C1s

spectrum of the PFS adsorbed PTFE surface can be curve-fitted using five peak components with binding energies at about 286.1, 286.7, 286.8, 288.9, and 292.5 eV. These are attributed to C*–H (peak 1), C*–C₆H₅ (peak 2), C*–CF (aromatic, peak 3), C*–F (aromatic, peak 4) and C*–F₂ (PTFE, peak 5) species, respectively [32, 33].

Three types of fluorinated homopolymers were tested for adsorption onto PTFE in different solvents (DCM, FB and MEK). PFS showed the greatest adsorption onto PTFE in all solvents. From XPS, the highest PFS adsorption was found when MEK was used as the solvent. For PTFPMA and PTFPA, some adsorption was observed only when DCM was used. Since these polymers had higher amounts of fluorine atoms in each polymer chain (773 and 853, respectively) compared to PFS (700), this would appear to indicate that the structure of the repeating unit affect the adsorption.

According to [31], there are two factors that need to be considered regarding the solvent: swelling of PTFE and solubility of the polymer (which affects both adsorption and desorption). Since the same solvent was used for adsorption and washing, a good solvent for polymer enhances the desorption during washing. A good swelling solvent for PTFE allows the fluoropolymers to entangle and anchor well. However, it is also possible that this solvent will remove adsorbed polymers in the washing step.

In paper [34] the swelling of PTFE film in different solvents has been investigated. The sorbed liquid was found to be 0.35 % for DCM, 0.15 % for methanol, and 0.23 % for benzene. Thus DCM was the best solvent. From this trend, it can be predicted that PTFE swelling is higher in DCM than in MEK. It is also possible that FB is a better swelling agent than benzene.

It was found that although both DCM and fluorobenzene swell PTFE, the results may indicate that interaction between the fluorinated solvent (i.e. FB) and the polymers (PTFPMA and PTFPA) are so strong, they prevent adsorption onto the PTFE [31, 33]. There was no adsorption of these polymers when MEK was used as the solvent, this is in agreement with the prediction that MEK is a low-swelling solvent for PTFE.

The contact angle measurements of sample 4C1 (PTFPMA adsorbed PTFE in DCM) was carried out. The advancing and receding angles were found to be 97 \pm 3° and 91 \pm 4°, respectively that were slightly lower than those of PTFE (~110°) (shown in Table 3).

Table 3

Advancing and receding water contact angles of polymer-adsorbed PTFE films [31]

Sample	Adsorbed Polymers	Deposition Solvent	Advancing Angle (°)	Receding Angle (°)	Hysteresis (°)
4A ^a	–	–	109 \pm 6	111 \pm 6	
4C ₁	PTFPMA	DCM	97 \pm 3	91 \pm 4	6 \pm 5
4F	P(FS ₁₀₁ -b- <i>t</i> BA ₂₃₇)	MEK	88 \pm 2	86 \pm 5	2 \pm 5
4G	P(FS ₁₀₁ -b- <i>t</i> BA ₁₄₁)	MEK	98 \pm 3	90 \pm 6	8 \pm 7
4H	P(FS ₁₀₁ -b-AA ₂₃₇)	DMF	91 \pm 6	31 \pm 3	60 \pm 7
4I ₁	P(FS ₁₀₁ -b-AA ₁₄₁)	DMF	88 \pm 5	28 \pm 3	60 \pm 6
4I ₂	P(FS ₁₀₁ -b-AA ₁₄₁)	MEK	101 \pm 4	49 \pm 3	52 \pm 5

The author of study [31] compared the contact angle of PTFPMA-adsorbed PTFE with contacted angle of poly (*tert*-butyl acrylate), *t*Ba. If only the fluorine atoms of the PTFPMA were adsorbed into the PTFE chains (Fig. 6A), the contact angle of this surface would be expected to be close to that of *t*Ba (88°), assuming uniform polymer coverage since XPS showed that the total atomic C% from the adsorbed polymer is over 10 %. The fact that the contact angle obtained was higher Θ_{adv} = 97°, could indicate that the whole PTFPMA chain is in fact entangled (Fig. 6B).

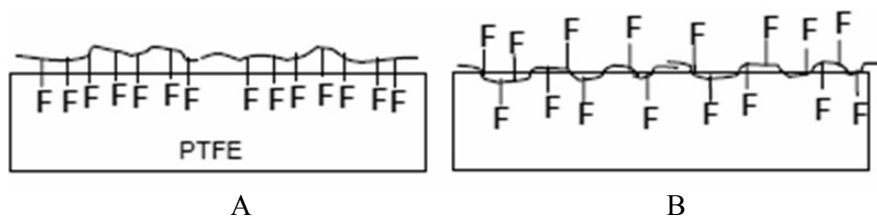


Figure 6. Schematic representation of fluoropolymer adsorption onto PTFE by (A) fluorine adsorption and (B) chain entanglement

In the case of PFS, the highest adsorption was observed when MEK was used. According to paper [35], the solubility of linear PFS can be dissolved in FB, MEK and DCM up to concentration 0.417, 0.143, and 0.009 g per gram of solvent at room temperature. This support the suggestion that in FB, PFS is well solvated and in a stretched conformation, whereas in DCM, the chains are more coiled. In MEK, although the chains are possibly only slightly coiled, the swelling of the PTFE film is less, therefore more chains are packed on the surface, compared to those adsorbed from DCM (Fig. 7).

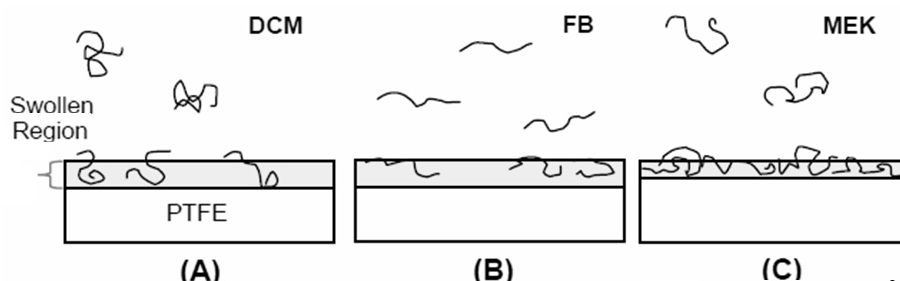


Figure 7. Possible adsorption behavior of PFS onto PTFE from different solvents

According to [31], the most important interactions for fluoropolymer adsorptions are hydrophobic and fluorine-fluorine interactions. PFS was the most hydrophobic polymer studied and it showed the best adsorption. It is also possible that in PFS, fluorine atoms are easier to polarize due to the presence of the aromatic ring when in close contact with the PTFE. Therefore, the fluorine-fluorine interaction between PFS and PTFE becomes stronger than for the other polymers. Since PTFPMA and PTFPA contain carbonyl groups (i.e. they are more hydrophilic), some repulsion between these polymers and highly hydrophobic PTFE may occur. This results in competition with the fluorine-fluorine interactions.

Block copolymers are known to exhibit similar behavior as surfactants. The adsorption of block copolymers onto substrates, including polymers, have been widely investigated [36]. The driving force for adsorption is dependent on the nature of the system. Surface micellisation and micelle adsorption of block copolymers onto hydrophilic and hydrophobic surfaces have been well studied [37]. Greater rates of adsorption for micellar solutions over non-micellar solution have been observed.

The micellisation of block copolymer of polystyrene and polyacrylic acid, P(S-b-AA) in DMF, which is a good solvent for both chains, and toluene, which is only good for PAA has been investigated [38]. It was found that the number-average hydrodynamic diameters (D_H) of P(S₁₅₃-b-AA₁₇₅) and P(S₁₅₃-b-AA₂₃₄) in DMF were 6.2 and 6.3 nm, respectively, whereas in toluene, they were 42.5 and 44.5.

In study [31] it was shown that the D_H of the P(FS-b-AA) block copolymers in DMF and MEK were between 21–30, indicating formation of some kind of aggregates. DMF is a good solvent only for the PAA segments, whereas MEK is good only for PFS segments. Therefore, it could be predicted that inverse-structures of aggregates in DMF and MEK occur with the outer layer PAA segments in DMF, and PFS segments in MEK.

Both P(FS-b-AA)-attached films prepared in DMF showed advancing angles of $\sim 90^\circ$ (Table 3). This suggests that the aggregates with PAA segments as the outer layer possibly reorganized when adsorbed and dried onto PTFE exposing the PFS segments on the surface in order to reduce surface tension (Fig. 8 and 9) [31].

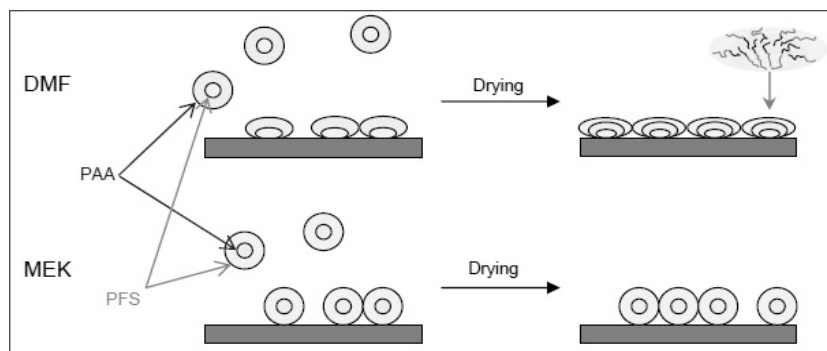


Figure 8. Aggregate adsorption onto PTFE surfaces in different solvents

Receding angles of these surfaces were $\sim 30^\circ$, indicating some reorganization of the polymer chains during the contact angle measurements (Table 3). After soaking these samples in water, the advancing angles reduced to 73° ($\sim 17^\circ$ decrease). This also suggests the existence of flexible polymer chains on the PTFE surfaces [31].

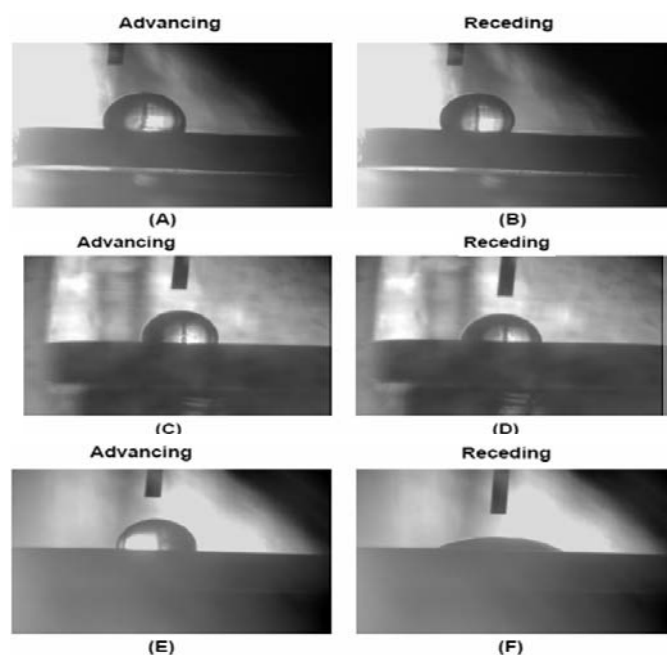


Figure 9. Water droplet profiles on the surfaces of untreated PTFE (Sample 4A, Table 2) (A) advancing and (B) receding. P(FS₁₀₁-b-tBA₁₄₁) adsorbed PTFE (sample 4G) (C) advancing and (D) receding, and P(FS₁₀₁-b-AA₁₄₁) adsorbed PTFE (Sample 4I₁) (E) advancing and (F) receding [31]

Copolymer P(FS₁₀₁-b-AA₁₄₁) adsorbed onto PTFE in MEK showed the highest advancing angle (101°). In MEK, aggregates with PFS segments in the outer layer possibly adsorbed onto PTFE without structural change. The receding angle was 50° , and did not change after soaking in water, which indicates that full rearrangement occurs during the contact angle measurement.

Hydrophilicity/hydrophobicity of the PFS containing amphiphilic block copolymers adsorbed PTFE is found to be reversibly tuneable depending on the environment (e.g. water vs air). The author of study [31] pointed out that since the carboxylic acid groups of these chains are free, it is suited for further modification of these group (neutralization with metal, for example).

4. Synthesis of fluorinated block copolymers and possibility of scaling up

According to [31] the best way to synthesize fluorinated block copolymers includes using the Reversible Addition Fragmentation Chain Transfer (RAFT). It is a radical polymerization which uses a thiocarbonylthio compound added which acts as a highly efficient RAFT agent [39]. This transfer of the S=C(Z)S-moiety between the active and dormant chains maintains the living characteristics of the polymerization.

The synthesis of PEPDTA can be performed following published procedure [40, 41]. Benzyl chloride (20 g) was added dropwise to a mixture of magnesium turnings (3.75 g) in dry diethyl ether (100 ml). Following the vigorous initial reaction, the solution was refluxed for 3 h to ensure complete reaction. The mixture was then chilled and carbon disulfide (12.0 g) was added dropwise over 30 min, and then the mixture stirred at 0°C for the following 2 h. The mixture was then poured onto ice-water (300 ml) and the aqueous portion collected following three washes with diethyl ether. A final layer of diethyl ether was added, and the mixture acidified using 30 % aqueous HCl. Phenylthioacetic acid (~ 7 g) was collected *via* rotary evaporation of the ether. The acid was then reacted with styrene (9.0 g), with a small amount of acid catalyst (toluene-*p*-sulfonic acid) in chloroform (10 g). The product was then precipitated in cold methanol and recrystallised from methanol as fine yellow crystals (3.2 g).

The homopolymerization of pentafluorostyrene (FS) was carried out in presens of PEPDTA and 1,1'-azobis(cyclohexanecarbonitrile) (ABCHC) at temperature 80°C and concentration of PEPDTA 28 mM and 56 mM. In both cases the ratio of concentration [PEPDTA]: [ABCHC] was equal to 10:1.

It was found [32] that most consistent results have been obtained when ethyl acetate has been used as the solvent for block copolymerization. GPC chromatograms of P(FS-*b*-*t*BA) obtained from polymers synthesized in ethyl acetate showed an unimodal distribution as well as the presence of RAFT end-groups over the whole PFS distribution.

Conclusions

Three methods of modification of the surface of PTFE nanoparticles with a purpose to increase their hydrophilic properties have been described:

- a) Adsorption of esters of *p*-hydroxybenzoic acid;
- b) Adsorption of branched fluorocarbon surfactant polymers containing perfluoroundecanoyloxy groups;
- c) Adsorption of fluorinated homopolymers and block copolymers.

The basics of all three approaches have been described and their potential advantages and disadvantages in terms of feasibility for creation of stable dispersions of PTFE nanoparticles in polar liquid media have been considered.

References

- 1 Loh W., Volpe P.L.O. Adsorption of Alkyl *p*-Hydroxybenzoates from Aqueous Solution onto Teflon // J. Colloid & Interface Sci. — 1996. — Vol. 179. — P. 322–357.
- 2 Aracil J., Rubio R.G., Caceres M., Pefia M.D., Renuncio J.A.R. Thermodynamics of Fluorocarbon-Hydrocarbon Mixtures The Systems formed by 2,2,4-Trimethylpentane with Hexafluorobenzene and with Hexafluorobenzene-Benzene // J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1. — 1988. — Vol. 84. — P. 539–545.
- 3 Lo Nostro P., Chen S-H. Aggregation of a semifluorinated n-alkane in perfluorooctane // J. Phys. Chem. — 1993. — Vol. 97, No. 24. — P. 6535–6540.
- 4 Galembeck F. // J. Poly. Sci. Polym. Lett. Ed. — 1978. — Vol. 16. — P. 1315; Galembeck F. Surface modification of teflon: Contact-angle measurements // Journal of Polymer Science: Polymer Letters Edition. — 1977. — Vol. 15, No. 2. — P. 107–109; De Paoli M.A., Tamashito I., Galembeck F. Photochemical reactions in polymeric matrices: The photopolymerization of vinylacetate in a polytetrafluoroethylene matrix // Journal of Polymer Science: Polymer Letters Edition. — 1979. — Vol. 17, Iss. 6. — P. 391–394.
- 5 Mukhtar S., Rose A., Capareda S., Boriack C., Lacey R., Shaw B., Parnell Jr.C. Assessment of Ammonia Adsorption onto Teflon and LDPE Tubing used in Pollutant Stream Conveyance // Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript BC 03 012. V.V. — December, 2003.
- 6 Jardim I.C.S.F., Sartoratto M., Saliba P.R., Archundia C., Collins K.E. Preparation of pure ⁵¹Cr(VI) and ⁵¹Cr(H₂O)₆³⁺: Problems with acid contaminated PTFE beakers // International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part A. Applied Radiation and Isotopes. — 1989. — Vol. 40, No. 7. — P. 643.
- 7 Yao J., Strauss G. Adsorption of quaternary ammonium surfactants on poly(tetrafluoroethylene) surfaces // Langmuir. — 1991. — Vol. 7, No. 10. — P.2353–2357.
- 8 Bee H.E., Ottewill R.H., Rance D.G., Richardson R.A. The absorption of surface active agents on polytetrafluoroethylene latex particle surface // Adsorption from Solution (R.H.Ottewil, C.H.Rochester, and in Fig. 2. These curves are upper-limited by the low solubility of the A.L.Smith, Eds.). — London: Academic Press, 1983. — P. 155.
- 9 Bargeman D., Vader F. van Voorst. Effect of surfactants on contact angles at nonpolar solids // J. Colloid Interface Sci. — 1973. — Vol. 42. — P. 467–472.
- 10 Ben Gu, Milton J Rosen. Surface concentrations and molecule interactions in cationic-anionic mixed monolayers at various interfaces // Journal of Colloid and Interface Science. — 1989. — Vol. 129, No. 2. — P. 537–553.
- 11 Huber K. Interactions in mixed interfaces of binary surfactant solutions // Journal of Colloid and Interface Science. — 1991. — Vol. 147, No. 2. — P. 321–332.
- 12 Loh W., Tonegutti C.A., Volpe P.L.O. Diffusion coefficients of aqueous phenols determined by the Taylor dispersion technique. Evidence for solute adsorption on the walls of Teflon tubing // J. Chem. Soc., Faraday Trans. — 1993. — Vol. 89. — P. 113–118.
- 13 Gregg S.J., Sing K.S.W. Adsorption, Surface Area and Porosity. — Chap. 5. — London, Academic Press, 1982.
- 14 Starkweather H.W. The Sorption of Chemicals by Perfluorocarbon Polymers // Macromolecules. — 1977. — Vol. 10, No. 5. — P. 1161–1163.
- 15 Barton A.F.M. Handbook of Solubility. — Boca Raton, CRC Press, 1985. — 1996–63+
- 16 Wang S., Marchant R.E. Fluorocarbon Surfactant Polymers: Effect of Perfluorocarbon Branch Density on Surface Active Properties // Macromolecules. — 2004. — Vol. 37. — P. 3353–3359. — 2004–87+
- 17 Larsen C.C., Kligman F., Kottke-Marchant K., Marchant R.E. The effect of RGD fluorosurfactant polymer modification of ePTFE on endothelial cell adhesion, growth, and function // Biomaterials. — 2006. — Vol. 27, No. 28. — P. 4846–4855.

- 18 *Larsen C.C., Kligman F., Tanga C., Kottke-Marchanta K., Marchanta R.E.* A biomimetic peptide fluorosurfactant polymer for endothelialization of ePTFE with limited platelet adhesion // *Biomaterials*. — 2007. — Vol. 28. — P. 3537–3548.
- 19 *Tianhong Zhang, Marchant R.E.* Novel Polysaccharide Surfactants: Synthesis of Model Compounds and Dextran-Based Surfactants // *Macromolecules*. — 1994. — Vol. 27. — P.7302–7308.
- 20 *Lee J.H., Kopecek J., Andrade J.D.* Protein-resistant surfaces prepared by PEO-containing block copolymer surfactants // *J. Biomed. Mater. Res.* — 1989. — Vol. 23, No. 3. — P. 351–368.
- 21 *Lee J.H., Kopeckova P., Kopecek J., Andrade J.D.* Surface properties of copolymers of alkyl methacrylates with methoxy (polyethylene oxide) methacrylates and their application as protein-resistant coatings // *Biomaterials*. — 1990. — Vol. 11, No. 7. — P. 455–464.
- 22 *Scheutjens J.M.H.M., Fleer G.J.* Statistical theory of the adsorption of interacting chain molecules. 1. Partition function, segment density distribution, and adsorption isotherms // *J. Phys. Chem.* — 1979. — Vol. 83, No. 12. — P. 1619–1635.
- 23 *Evers O.A., Scheutjens J.M.H.M., Fleer G.J.* Statistical thermodynamics of block copolymer adsorption. 1. Formulation of the model and results for the adsorbed layer structure // *Macromolecules*. — 1990. — Vol. 23. — P. 5221–5233.
- 24 *Van der Linden C.C., Leermakers F.A.M., Fleer G.J.* Adsorption of Comb Polymers // *Macromolecules*. — 1996. — Vol. 29. — P. 1000–1005.
- 25 *Qiu Y.X., Zhang T.H., Ruegsegger M., Marchant R.E.* Novel Nonionic Oligosaccharide Surfactant Polymers Derived from Poly(vinylamine) with Pendant Dextran and Hexanoyl Groups // *Macromolecules*. — 1998. — Vol. 31. — P. 165–171.
- 26 *Holland N.B., Qiu Y., Ruegsegger M., Marchant R.E.* Biomimetic engineering of non-adhesive glycocalyx-like surfaces using oligosaccharide surfactant polymers // *Nature (London)*. — 1998. — Vol. 392. — P. 799–801.
- 27 *Horbett T.A.* Principles underlying the role of adsorbed plasma proteins in blood interactions with foreign materials // *Cardiovasc. Pathol.* — 1993. — Vol. 2. — P. 137S–148S.
- 28 *Ishikawa Y., Kuwahara H., Kunitake T.* Self-assembly of bilayers from double-chain fluorocarbon amphiphiles in aprotic organic solvents: thermodynamic origin and generalization of the bilayer assembly // *J. Am. Chem. Soc.* — 1994. — Vol. 116. — P. 5579–5591.
- 29 *Javis N.L., Zisman W.A.* // *Kirk-Ohmer Encyclopedia of Chemical Engineering*, 2nd ed. / Ed. Standen A. — New York: Interscience Publishers, 1966. — Vol. 9. — P. 686–738.
- 30 *Rosen M.J.* The relationship of structure to properties in surfactants // *J. Am. Oil. Chem. Soc.* — 1972. — Vol. 49. — P. 293–297.
- 31 *Suzuki Sh.* In vitro mineralization of well-defined polymers and surfaces: PhD Thesis. — The Queensland University of Technology, 2007.
- 32 *Suzuki Sh., Ikada Y.* *Biomaterials for surgical operation*. — N.Y.: Humana Press, 2012. — 211 p.
- 33 *Fan Zhang, Xu F.J., Kang E.T., Neoh K.G.* Modification of Titanium via Surface-Initiated Atom Transfer Radical Polymerization (ATRP) // *Ind. Eng. Chem. Res.* — 2006. — Vol. 45, No. 9. — P. 3067–3073.
- 34 *Nasef M.M.* Effect of solvents on radiation-induced grafting of styrene onto fluorinated polymer films // *Polym. Int.* — 2001. — Vol. 50. — P. 338–346.
- 35 *Jankova K., Hvilsted S.* Preparation of poly(2,3,4,5,6-pentafluorostyrene) block copolymers with styrene by ATRP // *Macromolecules*. — 2003. — Vol. 36. — P. 1753–1758.
- 36 *Hamley I.* *Block copolymers in solution: fundamental and applications*. — Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2005.
- 37 *Sharma R.* *Surfactant adsorption and surface solubilization*. — Washington: ACS, 1995.
- 38 *John F. Quinn and Frank Caruso* Facile Tailoring of Film Morphology and Release Properties Using Layer-by-Layer Assembly of Thermoresponsive Materials // *Langmuir*. — 2004. — Vol. 20, No. 1. — P. 20–22.
- 39 *Moad G., Rizzardo E., Tang S.H.* Living Radical Polymerization by the RAFT Process // *Aust. J. Chem.* — 2005. — Vol. 58. — P. 379–410.
- 40 *Quin J.F., Rizzardo E., Davis T.P.* Ambient temperature reversible addition–fragmentation chain transfer polymerisation // *Chem. Commun.* — 2001. — P.1044–1045.
- 41 *Oae S., Yagihara T., Okabe T.* Reduction of semipolar sulphur linkages with carbodithioic acids and addition of carbodithioic acids to olefins // *Tetrahedron*. — 1972. — Vol. 28, No. 12. — P. 3203–3216.

Н.Н.Барашков, Т.В.Сахно, С.Т.Сычкова, И.С.Иргибаета, Ю.Е.Сахно

Сутартқыштығын көтермелеу мақсатымен политетрафторэтилен (ПТЭФ) нанобөлшек бетінің түрөзгертушілік әдістері

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) нанобөлшек гидрофилді қасиеттерін көтермелеу мақсатында оның бетінің түрөзгертушілігінің үш әдісі қарастырылған: *n*-гидроксibenзойлық қышқыл эфирінің адсорбциясы; беттік-белсенді перфтордекан окситоптарын, фтор гомополимерді қамтылған айыр фторкөміртегі полимердің адсорбциясы және блок-косополимерлер адсорбциясы. Барлық үш әдіс, оның әлеуетті тиімділігіне қарамастан, сараланған болатын, ПТФЭ ерігіш өрістерінде тұрақты нанобөлшектік дисперсиясымен қамтамасыз етуге пентафторстирол блоктарын құрайтын блок-косополимерлер адсорбциясында негізделген әдіс және акрилдық қышқылдары осы мақсаттар үшін лайықты болып көрінетіндігі жайлы қорытынды жасалған.

Н.Н.Барашков, Т.В.Сахно, С.Т.Сычкова, И.С.Иргибаева, Ю.Е.Сахно

**Методы модификации поверхности ПТФЭ наночастиц
с целью повышения их гидрофильности**

С целью повышения гидрофильных свойств наночастиц ПТФЭ рассмотрены три метода модификации их поверхности: адсорбция эфира *n*-гидроксibenзойной кислоты; адсорбция разветвленных фторуглеродных полимеров, содержащих поверхностно-активные перфтордеканоксигруппы, а также адсорбция фторсодержащих гомополимеров и блок-сополимеров. Все три метода были проанализированы с точки зрения их потенциальной эффективности, чтобы обеспечить стабильную дисперсию наночастиц ПТФЭ в полярных растворителях. Авторами сделан предварительный вывод о том, что метод, основанный на адсорбции фторсодержащих блок-сополимеров, содержащих блоки пentaфторстирола и акриловой кислоты, представляется наиболее подходящим для данных целей.

V.M.Jurov, V.Ch.Laurinas

*Ye.A.Buketov Karaganda State University
(E-mail: exciton@list.ru)***Thermal field of deposited coverings**

In work formation of ionic-plasma coverings when film growth is defined by conditions on mobile border of section of phases is considered. The analytical decision of the general problem with any boundary conditions is received. For homogeneous boundary conditions which are closest to technology of drawing of ionic-plasma coverings, the formula for a temperature field of deposited coverings is received. The carried out analysis has shown, that at formation of an ionic-plasma covering there is a wave structure. Comparison with results of measurement of microhardness of a covering along the sample has proved theoretical model. The received result can be used for perfection of technology of drawing of ionic-plasma coverings of a various functional purpose.

Key words: plasma, covering, thermal field, mobile border of section of phases, wave structure, microhardness.

Introduction

One of ways of improvement of properties of a surface of materials is drawing of composite coverings by a method of vacuum ionic-plasma sedimentation [1, 2]. Reception of nanocomposites by means of ionic-plasma methods demands sedimentation on a substrate of multicomponent streams. In most cases synthesis of coverings of difficult element structure is realised by level-by-level or simultaneous sedimentation on a substrate in atmosphere of reactionary gases of streams from two sources: ionic [3], magnetron [4], vacuum-arc [5] and their combinations [6].

Though ways of reception of nanostructural materials and coverings are various enough [7], but all of them are based on the mechanism intensive dissipation the energy generalised in three stages of formation. At the first stage there is a process of formation of germs which in the absence of corresponding thermodynamic conditions, does not pass in mass crystallisation. The second stage represents formation round nanocrystal germs of amorphous clusters which — at the third stage — unite in an intercrystal phase with formation of dissipation structures.

In the present work we will consider the third stage of formation of a covering when film growth is defined by conditions on mobile border of section of phases. Such problems have received the name — a Stefan's problem [8]. From the mathematical point of view regional problems of such type are essentially distinct from classical problems [8, 9]. Owing to dependence of the size of area of carrying over of a stream on time to this type of problems classical methods of division of variable and Furie's integrated transformations as, remaining within the limits of classical methods of mathematical physics, it is not possible to co-ordinate the decision of the equation with movement of border of section of phases are inapplicable. The review of modern achievements in the solution of Stefan's problem is given in the monography [10].

The general statement of a problem

We will consider a problem about crystallisation of a deposited covering on a round substrate, that is a problem about crystallisation of the final cylinder with mobile border of section of phases. The non-stationary equation of heat conductivity describing process of crystallisation in mobile cylindrical system of co-ordinates, moving under the law $\beta(t)$, looks like:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left[\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right], \quad (1)$$

where a — thermal conductivity.

Initial and boundary conditions we will choose in a general view:

$$T(r, z, t)|_{t=0} = \varphi(r, z), \quad (2)$$

$$T(r, z, t)|_{r=R} = \gamma(z, t), \quad (3)$$

$$T(r, z, t)|_{z=0} = \gamma_1(r, t), \quad (4)$$

$$T(r, z, t)|_{z=\beta(t)} = \gamma_2(r, t). \quad (5)$$

Functions $\beta(t)$, $\varphi(r, z)$, $\gamma(z, t)$, $\gamma_1(r, t)$ and $\gamma_2(r, t)$ we will consider continuous. For the problem solution we search in a kind:

$$T(r, z, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \bar{T}(z, t) I_0(\lambda_{0k} r), \quad (6)$$

where λ_{0k} — equation roots

$$I_0(\lambda_{0k} R) = 0 \quad (7)$$

and $I_0(\lambda_{0k} R)$ — Bessel's function of the zero order, satisfying to the equation:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[r \frac{dI(\lambda_{0k} r)}{dr} \right] + I_0(\lambda_{0k} r) = 0, \quad (8)$$

$$\bar{T}_k(z, t) = \int_0^R T_k(r, z, t) I_0(\lambda_{0k} r) r dr. \quad (9)$$

Applying transformation (9) and considering (6) and (7), the equation (1) we will lead to a kind:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial \bar{T}_k}{\partial t} = \frac{\partial^2 \bar{T}_k}{\partial z^2} + \bar{\Phi}_k(z, t) - \bar{T}_k(z, t). \quad (10)$$

Using replacement $\bar{T}_k = \tilde{T}_k e^{-at}$ and having transformed similarly boundary conditions, we will receive the following problem:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial \tilde{T}_k}{\partial t} = \frac{\partial^2 \tilde{T}_k}{\partial z^2} + \tilde{\Phi}_k(z, t), \quad (11)$$

$$\tilde{T}_k(z, t)|_{z=0} = \tilde{\varphi}(z), \quad (12)$$

$$\tilde{T}_k(z, t)|_{z=0} = \tilde{\gamma}_1(t), \quad (13)$$

$$\tilde{T}_k(z, t)|_{z=\beta(t)} = \tilde{\gamma}_2(t), \quad (14)$$

in area $D: (t > 0, 0 < z < \beta(t))$.

For the solution of a problem (11)–(14) we search in the form of the sum of potentials I and II sorts, and also two potentials of a double layer:

$$\begin{aligned} \tilde{T}_k(z, t) = & \frac{1}{2\sqrt{a}} \int_0^t \frac{\tilde{\varphi}(\xi)}{\sqrt{\pi t}} e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4at}} d\xi + \int_0^t d\tau \int_0^t \frac{\tilde{\Phi}_k(\xi, \tau)}{2\sqrt{\pi a(t-\tau)}} e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a(t-\tau)}} d\xi + \\ & + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{z^2}{4a(t-\tau)}} K_1(\tau) d\tau + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z-\beta(\tau)}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{[z-\beta(\tau)]^2}{4a(t-\tau)}} K_2(\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (15)$$

Using conditions (13), (14), we will receive system of the integrated equations:

$$\begin{aligned} \tilde{\gamma}'_1(t) = & \frac{K_1(t)}{2a} - \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\beta(\tau)}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{\beta^2(\tau)}{4a(t-\tau)}} K_2(\tau) d\tau, \\ \tilde{\gamma}'_2(t) = & \frac{K_2(t)}{2a} + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\beta(t)-\beta(\tau)}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{[\beta(t)-\beta(\tau)]^2}{4a(t-\tau)}} K_2(\tau) d\tau + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\beta(t)}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{\beta^2(t)}{4a(t-\tau)}} K_1(\tau) d\tau, \end{aligned} \quad (16)$$

where

$$\begin{aligned} \tilde{\gamma}'_1(t) = & \tilde{\gamma}_1(t) - \frac{1}{2} \int_0^t \frac{\tilde{\varphi}(\xi)}{\sqrt{\pi at}} e^{-\frac{\xi^2}{4at}} d\xi - \int_0^t d\tau \int_0^t \frac{\tilde{\Phi}_k(\xi, \tau)}{2\sqrt{\pi a(t-\tau)}} \cdot e^{-\frac{\xi^2}{4a(t-\tau)}} d\xi; \\ \tilde{\gamma}'_2(t) = & \tilde{\gamma}_2(t) - \frac{1}{2} \int_0^t \frac{\tilde{\varphi}(\xi)}{\sqrt{\pi at}} e^{-\frac{[\beta(t)-\xi]^2}{4at}} d\xi - \int_0^t d\tau \int_0^t \frac{\tilde{\Phi}_k(\xi, \tau)}{2\sqrt{\pi a(t-\tau)}} \cdot e^{-\frac{[\beta(t)-\xi]^2}{4a(t-\tau)}} d\xi. \end{aligned}$$

Excluding from the first equation of system (16) and substituting in a following equation $K_1(t)$, we have:

$$\begin{aligned} \tilde{\gamma}'_2(t) = & \frac{K_2(t)}{2a} + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\beta(t) - \beta(\tau)}{[a(t - \tau)]^{3/2}} e^{-\frac{[\beta(t) - \beta(\tau)]^2}{4a(t - \tau)}} K_2(\tau) d\tau + \frac{2a}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\beta(t)}{[a(t - \tau)]^{3/2}} e^{-\frac{\beta^2(t)}{4a(t - \tau)}} \tilde{\gamma}'_1(\tau) d\tau + \\ & + \frac{a}{8\pi} \int_0^t \frac{\beta(t)}{[a(t - \tau)]^{3/2}} e^{-\frac{\beta^2(t)}{4a(t - \tau)}} \left(\int_0^\tau \frac{\beta(\tau_1)}{a(t - \tau)^{3/2}} e^{-\frac{\beta^2(\tau_1)}{4a(t - \tau)}} K_2(\tau_1) d\tau_1 \right) d\tau. \end{aligned} \tag{17}$$

Entering a designation

$$q(t) = \tilde{\gamma}_2(t) - \frac{a}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\beta(t)}{[a(t - \tau)]^{3/2}} \tilde{\gamma}'_1(\tau) e^{-\frac{\beta^2(t)}{4a(t - \tau)}} d\tau, \tag{18}$$

and calculating integral in (17), we will receive

$$-\frac{K_2(t)}{2a} + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\beta(t) - \beta(\tau)}{[a(t - \tau)]^{3/2}} e^{-\frac{[\beta(t) - \beta(\tau)]^2}{4a(t - \tau)}} K_2(\tau) d\tau + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\beta(t)}{[a(t - \tau)]^{3/2}} e^{-\frac{\beta(t)^2}{4a(t - \tau)}} K_2(\tau) d\tau = q(t). \tag{19}$$

Designating,

$$\lambda = \frac{1}{2\sqrt{a}}, \quad f(t) = 2aq(t), \quad K(t, \tau) = \frac{\lambda}{\sqrt{\pi}} \frac{\beta(t) - \beta(\tau)}{(t - \tau)^{3/2}} e^{-\lambda^2 \frac{[\beta(t) - \beta(\tau)]^2}{(t - \tau)}} + \frac{\lambda}{\sqrt{\pi}} \frac{\beta(t)}{(t - \tau)^{3/2}} e^{-\lambda^2 \frac{\beta(t)^2}{(t - \tau)}}, \tag{20}$$

we receive the integrated equation

$$K_2(t) - \int_0^t K(t, \tau) K_2(\tau) d\tau = f(t) \tag{21}$$

The integrated equation (21) is Voltaire's equation in $C(0, \ell)$ in only case when, when:

$$\lim_{t \rightarrow 0} \int_0^t K(t, \tau) d\tau = 0.$$

Really, considering, that $e^{-z} < 1$ at, $z > 0$ it is easy to show, that the equality resulted above is carried out. Then for the equation (21) there is a unique solution which looks like:

$$\begin{aligned} K_2(t) &= \sum_{n=0}^{\infty} K_{2,n}(t), \\ K_{2,0}(t) &= f(t), \\ K_{2,1}(t) &= \int_0^t K(t, \tau) K_{2,0}(\tau) d\tau, \\ K_{2,2}(t) &= \int_0^t K(t, \tau) K_{2,1}(\tau) d\tau, \\ &\dots \dots \dots \\ K_{2,n}(t) &= \int_0^t K(t, \tau) K_{2,n-1}(\tau) d\tau \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \tag{22}$$

and a number (22) converges absolutely and in regular intervals in topology $C(0, \ell)$.

Then

$$K_1(t) = 2a\tilde{\gamma}_1(t) + \frac{a}{2\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\beta(t)}{[a(t - \tau)]^{3/2}} e^{-\frac{\beta^2(t)}{4a(t - \tau)}} \sum_{n=0}^{\infty} K_{2,n}(\tau) d\tau. \tag{23}$$

Carrying out return transformation, it is definitively had:

$$T(r, z, t) = \sum_{\kappa=0}^{\infty} J_0(\lambda_{\kappa} r) \left\{ e^{-at} \left[\frac{1}{2a\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{\frac{(z-\xi)^2}{4a\tau}} dt \left(\int_0^{\ell} \varphi(r, \xi) I_0(\lambda_{\kappa} r) r dr \right) d\xi + \frac{RI_1(\lambda_{\kappa} R)}{2\sqrt{\pi}a} \int_0^t d\tau \int_0^{\ell} \frac{\gamma(\xi, \tau)}{\sqrt{t-\tau}} e^{-at} e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a(t-\tau)}} d\xi + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{z^2}{4a(t-\tau)}} K_1(\tau) d\tau + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z-\beta(\tau)}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{[z-\beta(\tau)]^2}{4a(t-\tau)}} K_2(\tau) d\tau \right] \right\}. \quad (24)$$

Thus, the analytical solution of a problem on crystallisation of the cylinder of the final sizes is received. The equation (24) gives in to the numerical solution under the set initial and boundary conditions (2)–(5).

Homogeneous boundary conditions

Sedimentation of ionic-plasma coverings carry out, as a rule, at constant temperature of a substrate. In this case directed by a problem it is possible to use homogeneous boundary conditions. Then the problem (1)–(5) registers in the following formulation:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left[\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right] \quad (25)$$

$$\left. \begin{aligned} T(r, z, t)|_{t=0} &= 0; \\ T(r, z, t)|_{r=R} &= T_0 = \text{const}; \\ T(r, z, t)|_{z=0} &= T_0 = \text{const}; \\ T(r, z, t)|_{z=\beta(t)} &= T_0 = \text{const} \end{aligned} \right\}, \quad (26)$$

where T_0 — value of temperature on a surface of the cylinder and on mobile border of section of environments.

Then the common solution of a problem (24) will become:

$$T(r, z, t) = \sum_{\kappa=0}^{\infty} I_0(\lambda_{\kappa} r) \left\{ e^{-at} \left[\frac{RI_1(\lambda_{\kappa} R)}{2\sqrt{\pi}a} \int_0^t d\tau \int_0^H \frac{T_0}{\sqrt{t-\tau}} e^{-at} e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a(t-\tau)}} d\xi + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{z^2}{4a(t-\tau)}} K_1(\tau) d\tau + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{z-\beta(\tau)}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{[z-\beta(\tau)]^2}{4a(t-\tau)}} K_2(\tau) d\tau \right] \right\}. \quad (27)$$

We need to calculate integrals:

$$I_1 = \int_0^t d\tau \int_0^H \frac{T_0}{\sqrt{t-\tau}} e^{-at} e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a(t-\tau)}} d\xi, \quad (28)$$

$$I_2 = \int_0^t \frac{z}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{z^2}{4a(t-\tau)}} K_1(\tau) d\tau, \quad (29)$$

$$I_3 = \int_0^t \frac{z-\beta(\tau)}{[a(t-\tau)]^{3/2}} e^{-\frac{[z-\beta(\tau)]^2}{4a(t-\tau)}} K_2(\tau) d\tau. \quad (30)$$

At big times of sedimentation of a covering t integrals I_2 also I_3 are very small and $e^{-at} \rightarrow 1$. Then the problem is reduced to integral calculation I_1 :

$$I_1 = \int_0^t d\tau \int_0^H \frac{\gamma(\xi, \tau)}{\sqrt{t-\tau}} e^{-at} e^{-\frac{(z-\xi)^2}{4a(t-\tau)}} d\xi = T_0 \int_0^t \frac{e^{-at}}{\sqrt{t-\tau}} I_1'(\tau) d\tau. \quad (31)$$

To calculate $I_1'(\tau)$ in (31) we will make replacement of variables $y = \frac{z-\xi}{\sqrt{4a(t-\tau)}}$ then we will receive:

$$I'_1(\tau) = \sqrt{4a(t-\tau)} \left[\int_0^{z_2} e^{-y^2} dy - \int_0^{z_1} e^{-y^2} dy \right], \tag{32}$$

where $z_1 = \frac{z}{\sqrt{4a(t-\tau)}}$, $z_2 = \frac{z-H}{\sqrt{4a(t-\tau)}}$.

Integrals in square brackets represent function:

$$erfz = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2} dy. \tag{33}$$

Using the formula (33) and its decomposition abreast, after simple calculations we will receive:

$$I'_1(\tau) = \left[ze^{\frac{z^2}{4a(t-\tau)}} - (z-H)e^{\frac{(z-H)^2}{4a(t-\tau)}} \right]. \tag{34}$$

Substituting (34) in (31), and calculating, we will receive:

$$I_1 = \frac{2\sqrt{a}}{z-H} \cdot T_0. \tag{35}$$

Being limited to the first member in the sum (27), for stationary temperature it is had following expression:

$$T(r, z) = \frac{T_0 R}{\sqrt{\pi}(z-H)} I_0\left(\frac{2r}{R}\right) + C_1 + C_2. \tag{36}$$

Here C_1, C_2 — integration constants. At reception (36) we have considered, that from the equation $I_0(\lambda_{ок}r) = 0$ follows $\lambda_0 = 2r/R$ and $I_1(2) = 1$.

Comparison with experiment

For the qualitative analysis of the received results and their comparison with experimental data, we will be limited to consideration of the equation (36), lowering integration constants. For quantitative calculations, it is necessary to use all members of some (27) taking into account boundary conditions (26). Also we will consider only radial working out the equations (36), considering a small thickness of a covering. Thus, we will consider function:

$$T(r) = \frac{T_0 R}{\sqrt{\pi}h} I_0\left(\frac{2r}{R}\right). \tag{37}$$

The schedule of function (37) is resulted in all textbooks on special functions and represents a fading wave. After crystallisation on a surface of the sample the wavy structure should be formed. Experimentally formation of such structure can be checked up, measuring microhardness up and down the sample as distribution of temperature along a surface of the sample leads to distribution of thermal pressure.

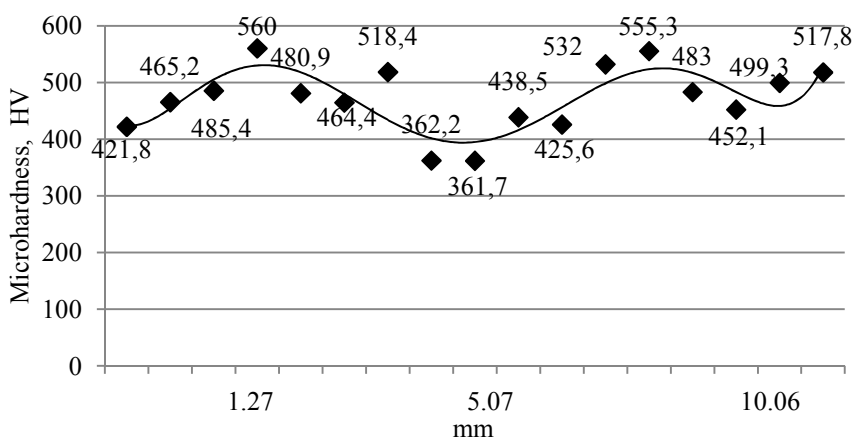


Figure. Microhardness of a covering 12X18H10T + Ti in nitrogen along the sample

The experimental data received by us are shown in Figure. Microhardness measurements were spent at loading of 0,1 kg that corresponds 0,989 N, and time of endurance of loading 15 seconds. Similar results are received for the big number of various coverings. The wavy structure is always formed. Measurements were spent concerning the sample without a covering to exclude influence of an initial roughness.

Results of experiment confirm the basic conclusion of the offered theoretical model about formation of wavy structure of an ionic-plasma covering. What practical conclusions it is possible to make of the offered model?

First, formation of wavy structure at covering sedimentation leads to increase in an initial roughness of the sample. It is the fact at drawing of coverings by an ionic-plasma method it is known for a long time already [1]. In this case the big role is played by temperature of sample T_0 at which covering drawing is made. From the equation (37) follows, that the temperature of the sample is necessary for supporting as it is possible more low. However at ionic-plasma drawing of coverings of it to reach not always it is possible. The low temperature of the sample can be supported at magnetron or chemical ways of drawing of coverings. In case of drawing of frictional coverings with the big factor of a friction, formation of wavy structure of a covering is a positive effect.

Secondly, with increase in the size of sample R function $I_0(2r/R)$ decreases more slowly, than increases $T(r)$ at the expense of linear dependence on the size of the sample. The optimum size of the sample is reached under a condition — $I_0(2r/R) = 1/R$.

The conclusion

In case of ionic-plasma coverings process of their formation in a mode of real time is not observed yet owing to specificity of technological process. Therefore the basic information turns out at a variation, both structure of a deposited material, and technological parameters of sedimentation. In this connection the role as computer [11, 12], and analytical models sharply increases.

Numerical methods have received wide application in connection with occurrence of new generation of the computer. These methods are based on replacement of any differential equations with corresponding approximations in final differences. The basic lack of these methods is absence of the approached analytical form of the solution which are often more convenient, than tables and schedules. Besides, presence of the big number of characteristic parameters of a problem and a wide range of their change do results of numerical calculations beloved and inconvenient for their interpretation and practical use.

Despite lacks, numerical methods now play defining role in development of scientific and technical progress, being the device of research of the technical and economic problems connected first of all with planning, optimisation, management and designing of devices and technological processes.

The important advantage of analytical methods is possibility of reception of result of research in the form of the formula allowing simply and visually to track dependence of any property from entry conditions, external influences, parameters of system and its structure.

The problem of analytical research of formation of ionic-plasma coverings is rather difficult at their full description and can be finished only in the elementary cases. Therefore at an analytical method of its solution at once aspire to limit to studying of whenever possible simplified models of system. One of such analytical models also has been considered in the present work.

Work is executed under the program of the Ministry of science and education of Republic Kazakhstan 055 «Scientific and/or scientific and technical activity», the subroutine 101 «Grant financing of scientific researches».

References

- 1 Кривобоков В.П., Сочугов Н.С., Соловьев А.А. Плазменные покрытия (свойства и применение). — Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. — 137 с.
- 2 Берлин Е.В., Коваль Н.Н., Шейдман Л.А. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей. — М.: Техносфера, 2012. — 640 с.
- 3 Watanabe H., Sato Y., Nie C. et al. The mechanical properties and microstructure of Ti–Si–N nanocomposite films by ion plating // Surf. and Coat. Technol. — 2003. — Vol. 169–170. — P. 452–455.
- 4 Carvalho S., Ribeiro E., Rebouta L. et al. Effect of morphology and structure on the elastic behavior of (Ti, Si, Al)N nanocomposites // Surf. and Coat. Technol. — 2003. — Vol. 174–175. — P. 984–991.
- 5 Flink A., Larson T., Sjolen J. et al. Influence of Si on the microstructure of arc evaporated (Ti, Si)N thin films; evidence for cubic solid solutions and their thermal stability // Surf. and Coat. Technol. — 2005. — Vol. 200. — P. 1535–1542.

- 6 Li Z.G., Mori M., Miyake S. et al. Structure and properties of Ti–Si–N films prepared by ISP assisted magnetron sputtering // *Surf. and Coat. Technol.* — 2005. — Vol. 193. — P. 345–349.
- 7 Псахье С.Г., Зольников К.П., Коноваленко И.С. Синтез и свойства нанокристаллических и субструктурных материалов. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 2007. — 264 с.
- 8 Любов Б.Я. Теория кристаллизации в больших объемах. — М.: Наука, 1975. — 256 с.
- 9 Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. — М.: Высш. шк., 1985. — 480 с.
- 10 Gupta S.C. *The Classical Stefan Problem: Basic Concepts, Modeling and Analysis.* — Amsterdam: Elsevier, 2003. — 385 p.
- 11 Панин В.Е., Макаров П.В., Псахье С.Г. и др. Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов: В 2 т. — Новосибирск: Наука, 1995. — Т. 2. — 320 с.
- 12 Усанов Д.А., Скрипаль Ал.В., Скрипаль Ан.В., Абрамов А.В. Компьютерное моделирование микро- и наноструктур. — Саратов, 2008. — 100 с.

В.М.Юров, В.Ч.Лауринас

Жамылғыны жауып жатқан жылулық өріс

Мақалада иондық-плазмалы жабындының құрылымы қарастырылған, қабыршықтардың өсу шарттары фаза тарауының қозғалғыш шекарасында анықталды. Ортақ мақсаттың талдағыш шешімі өндіргіштік шекаралық шарттармен алынған. Бірыңғай иондық-плазмалы жабындының технологиясына деген ең жақын шекаралық шарттар үшін, жауып жатқан жабындының температуралық өрісі үшін формула алынған. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, иондық-плазмалы жабындының құрылымында толқындық құрылым туады. Жабындының микроқаттылықты өлшеу нәтижелерімен салыстырғандағы үлгі қағидалы қалыптың дұрыстығын растады. Алынған қорытынды әр түрлі функциялық мақсатта иондық-плазмалы жабындының технологиясын жетілдіру үшін пайдаланылуы мүмкін.

В.М.Юров, В.Ч.Лауринас

Тепловое поле осаждаемых покрытий

В работе рассмотрено формирование ионно-плазменных покрытий, когда рост пленки определяется условиями на подвижной границе раздела фаз. Получено аналитическое решение общей задачи с произвольными граничными условиями. Для однородных граничных условий, которые наиболее близки к технологии нанесения ионно-плазменных покрытий, получена формула для температурного поля осаждаемых покрытий. Проведенный анализ показал, что при формировании ионно-плазменного покрытия возникает волновая структура. Сравнение с результатами измерения микротвердости покрытия вдоль образца подтвердило правильность теоретической модели. Полученный результат может быть использован для совершенствования технологии нанесения ионно-плазменных покрытий различного функционального назначения.

References

- 1 Krivobokov V.P, Sochugov N.S., Solovov A.A. *Plasma coverings (properties and application)*, Tomsk: Tomsk polytechnical University Publ., 2011, 137 p.
- 2 Berlin E.V., Koval N.N., Scheidman L.A. *Plasma chemical-thermal processing of a surface of steel details*, Moscow: Technosphere, 2012, 640 p.
- 3 Watanabe H., Sato Y., Nie C. et al. *Surf. and Coat. Technol.*, 2003, 169–170, p. 452–455.
- 4 Carvalho S., Ribeiro E., Rebouta L. et al. *Surf. and Coat. Technol.*, 2003, 174–175, p. 984–991.
- 5 Flink A., Larson T., Sjolen J. et al. *Surf. and Coat. Technol.*, 2005, 200, p. 1535–1542.
- 6 Li Z.G., Mori M., Miyake S. et al. *Surf. and Coat. Technol.*, 2005, 193, p. 345–349.
- 7 Psachye S.G., Zolnikov K.P., Konovalenko I.S. *Synthesis and properties of nanocrystals and substructural materials*, Tomsk: Tomsk University Publ., 2007, 264 p.
- 8 Ljubov B.Ya. *The crystallisation theory in great volumes*, Moscow: Nauka, 1975, 256 p.
- 9 Kartashov E.M. *Analytical methods in the theory of heat conductivity of firm bodies*, M.: Vysshaya shkola, 1985, 480 p.
- 10 Gupta S.C. *The Classical Stefan Problem: Basic Concepts, Modelling and Analysis*, Amsterdam: Elsevier, 2003, 385 p.
- 11 Panin V.E., Makarov P.V., Psachye S.G. et al. *The physical mesomechanics and computer designing of materials*, Novosibirsk: Nauka, 1995, 2, 320 p.
- 12 Usanov D.A., Skripal Al.V., Skripal An.V., Abramov A.V. *Computer modeling micro and nanostructures*, Saratov, 2008, 100 p.

V.Ch.Laurinas, S.A.Guchenko, O.N.Zavatskaya

*Ye.A.Buketov Karaganda State University
(E-mail: vitas-laurinas@rambler.ru)*

Structure and properties of multiphase ionic-plasma coverings

In work results of research of process of formation of ionic-plasma multiphase coverings are discussed. It is shown, that types of structures arising thus are not so diverse, as, for example, at crystallisation of alloys. Basically the globular structure and, less often, not closed and cellular structures is observed. It is shown, that physical properties can essentially differ depending on element structure of coverings. Properties of coverings Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al +Ti, received in the environment of argon and nitrogen, after a laser irradiation change in the various image. It is connected with features of behaviour of nitrides of the titan and chrome at influence of laser radiation. Properties of coverings Fe–Al after a laser irradiation practically do not change. It is connected with features of structure of these coverings which represents not closed structure.

Key words: plasma, a covering, microhardness, a friction, a microstructure, ionic irradiation, a laser irradiation.

Introduction

The first cutting plates with a covering have appeared in the foreign market in 1968 when the Swedish firm «Sandvik Koromant» had been developed and introduced in manufacture a method of sedimentation of carbide of the titan on the tool from firm alloys. In 1971 (USA) have been received by firm Teledyne Firth Sterlig of a covering from nitride of the titan. At the Moscow institute of a steel and alloys in 1971 the method of sedimentation of a covering from niobium carbide has been developed. The next years researchers of many countries (the USA, France, Japan, the Great Britain, Germany, etc.) were developed technologies of drawing of various coverings of various appointment. There was a big number of the works devoted to various aspects of technology of drawing of coverings [1–11].

It has appeared, that properties of coverings are influenced by a considerable quantity of factors: structure of sprayed cathodes and their physical and chemical properties; properties of a substrate on which there is a material sedimentation; technology factors — an arch current, pressure of reactionary gas, substrate temperature, size of basic pressure etc. [1, 12–15].

A variety of influencing factors has generated a considerable quantity of processing methods of formation of coverings [16–19]. Last years the greatest popularity was received by methods of sedimentation of multiphase materials with high entropy [20].

In the present work generalisation of the experimental results received by us is spent, the part from which is published in works [21–30].

Role of a superficial tension in formation of ionic-plasma coverings

Experimental definition of a superficial tension of solid states is complicated by that their molecules (atoms) are deprived possibility freely to move. The exception makes a plastic current of metals at the temperatures close to a melting point when mobility of atoms on a surface becomes appreciable.

In works [31–32] new methods of experimental definition of a superficial tension of solid states are offered. These methods are based on measurement of the dimensional effects connected with change of some physical properties of a small particle or a thin film at reduction of their size. Methods of definition of a superficial tension of the besieged coverings are based on dimensional effects, offered by us in work [33] also.

In works [26–28, 34–38] we in detail consider results of measurement of a superficial tension of nitrides of various metals, composite coverings. Here we will stop for roles of a superficial tension in formation of structure of ionic-plasma coverings.

This role is especially visually shown at formation of coverings in multiphase streams. In drawings 1 and 2 it is shown, how the covering structure changes at simultaneous dispersion of the multiphase cathode and the titan in the environment of nitrogen.

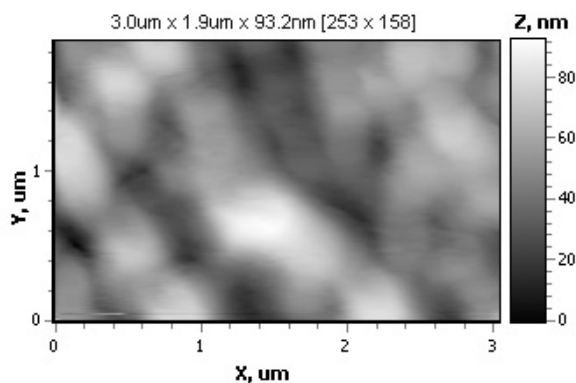


Figure 1. The image of globular structures of covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al, received on a nuclear power microscope

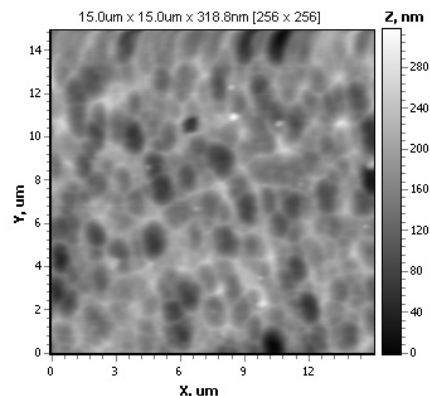


Figure 2. The image of cellular structure of a covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti in the environment of the nitrogen, received on a nuclear power microscope

Influence of technological parametres on structure of ionic-plasma coverings

Direct influence on structure and physical properties of the coverings received by a method of ionic-plasma sedimentation, render following parametres: pressure of reactionary gas in the working chamber; basis potential; a current of the category of an arch; properties of a material of the cathode; substrate temperature. In figures 3, as an example, electron-microscopic images of composite coverings are shown at temperatures of a substrate 350 and 450 °C. From figure 3 it is visible, that at temperature 450 °C there is a coagulation of a zinc phase in larger fragments, and other (most part) becomes more uniform.

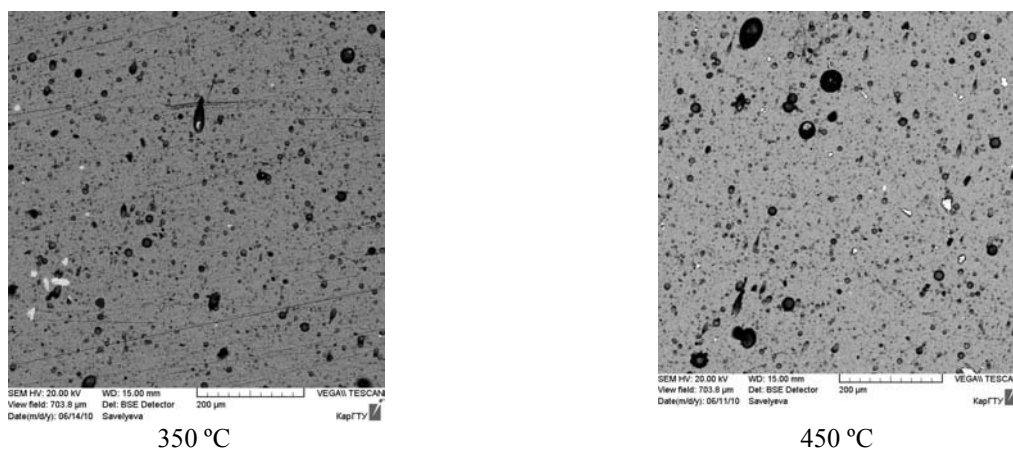


Figure 3. Electron-microscopic image of a covering Zn–Al

The optimum temperature of a substrate for all composite coverings has appeared equal nearby 400 °C.

The increase in a current of the category of an arch leads to increase in a thickness of a covering, however at current increase from above 130 A perfection of structure decreases and sharply the quantity of a drop phase which is the reason of decrease in durability of coupling of a substrate with a covering raises. At low power of the category (an arch current <20–30 A) because of reduction of factor of ionisation of plasma in a film neutral particles of reactionary gas and the cathode «are immured», that promotes increase of concentration of defects of a covering.

We had been investigated dependence of properties of composite coverings on pressure of nitrogen in the working chamber; thus force of a current, basic pressure, a material of the cathode, a fastening and heat-conducting path condition, time of processes of clearing and a dusting remained constants. In table 1 results on microhardness are presented.

Table 1

Dependence of microhardness of a covering on pressure of gas in the chamber

Residual pressure of gas in the chamber	Viker's microhardness, HV			
	Al-Fe	Zn-Cu-Al	Zn-Al	Al-Fe
10^{-8}	0,662			0509
10^{-7}	0,66			0,512
10^{-6}	0,60	0,573	0,569	0,514
10^{-5}	0,61	0,600	0,520	0,470

At pressure of nitrogen $P = 0,058-0,81$ Pa the small dense structure close to стехиометрическому to structure which is characterised optimum, from the point of view of metal properties, is formed by a parity of metal and ionic components of communication. Thus the maintenance of a drop phase decreases, and the quantity of defects increases. At the further increase of pressure the big number of free ions leads sharp defects.

Having analysed results of research, it is possible to draw a conclusion that the samples received at pressure of nitrogen $P = 0,081-0,81$ Pa, have in regular most intervals distributed small dense structure, the minimum maintenance of a drop phase and the greatest values of microhardness.

Influence of an ionic irradiation on structure and property of multiphase coverings

The basic influence of ionic bombardment on properties of coverings is carried out at a stage of their origin owing to a relaxation of pressure in the field of ionic blow and reorganisation of crystal structure. Thus on a surface dot defects which are the active centres of adsorption are formed. The important role also plays, mobility of atoms on a surface (superficial diffusion) which amplifies at low-energy bombardment of a growing film by ions of inert gas. To increase quantity of formed dot defects it is possible or increase in energy of a stream of ions, or increase in density of a current of ions. Simultaneously with formation of defects there is also their return process of recombination which reduces concentration of defects. As a result of these two processes the equilibrium quantity of the centres of formation of germs which it is possible to influence is established, changing parametres of an ionic irradiation.

In figure 4–9 are shown AFM images of a surface of composite coverings before and after an irradiation by argon ions.

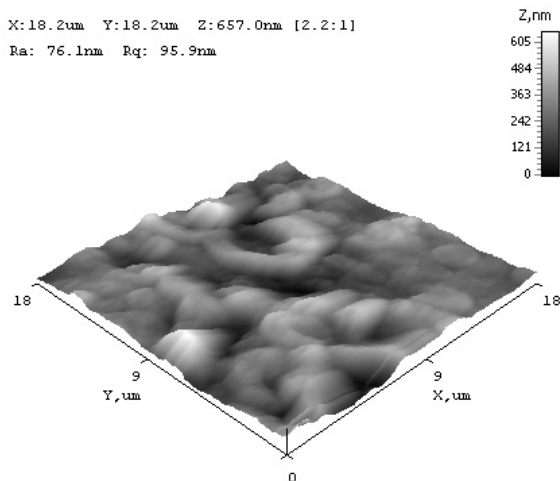


Figure 4. AFM the image of a surface of covering Fe-Al (to an irradiation)

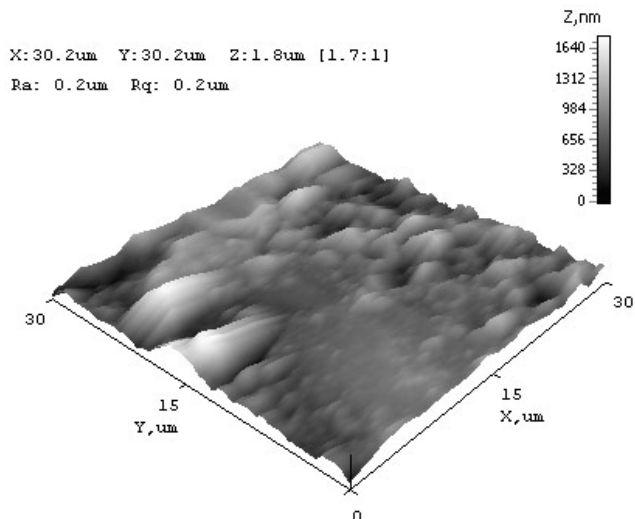


Figure 5. AFM the image of a surface of covering Fe-Al (after an irradiation)

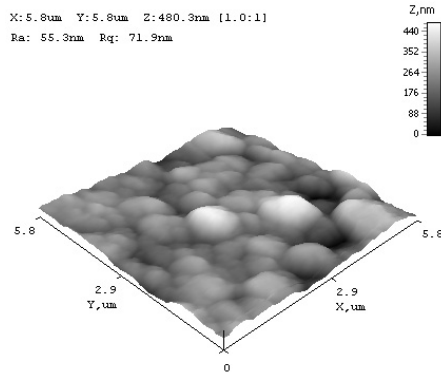


Figure 6. AFM the image of a surface of covering Zn–Al (to an irradiation)

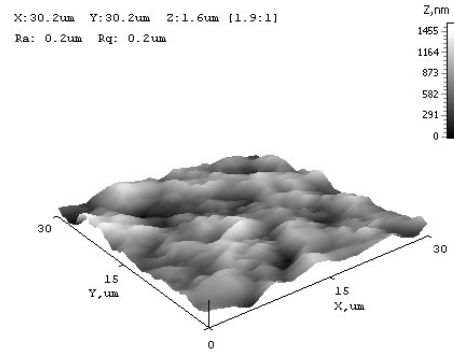


Figure 7. AFM the image of a surface of covering Zn–Al (after an irradiation)

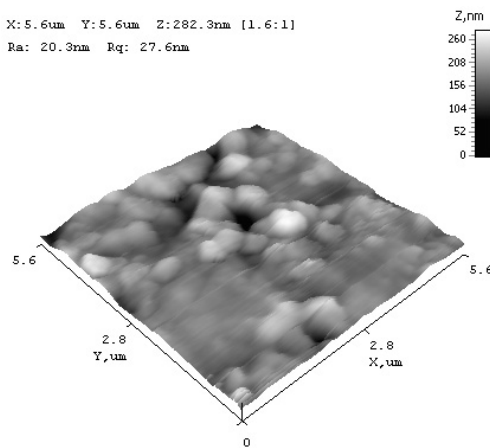


Figure 8. AFM the image of a surface of covering Mn–Fe–Cu–Al (to an irradiation)

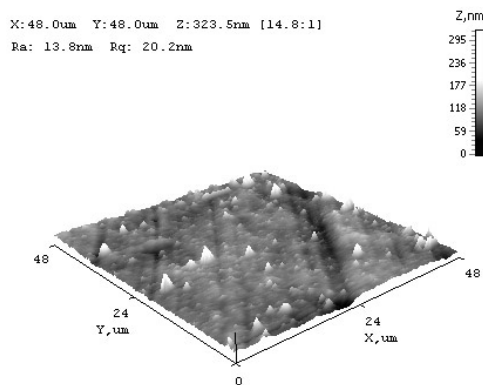


Figure 9. AFM the image of a surface of covering Mn–Fe–Cu–Al (after an irradiation)

From figures 4–9 follows, that the ionic irradiation influences structure of coverings. The exception makes covering Zn–Al which has appeared proof to an irradiation. With the received result correlates also value of the Jung’s module measured before and after an irradiation. Such behaviour of covering Zn–Al communicates us with its strongly pronounced of globular structure. Presence of such system of «spheres» leads to elastic dispersion of ions of argon so local deformation appears insignificant. It finds the reflexion in behaviour of the Jung’s module whom (tab. 2) and parametre of a roughness (tab. 3) does not change in the course of an irradiation The structure of covering Fe–Al sharply differs from structure of covering Zn–Al. In this case we observe not closed structures (fig. 4). The roughness of this covering after an irradiation increases almost three times while the Jung’s module decreases in as much time. The same behaviour of the Jung’s module is observed and for covering Mn–Fe–Cu–Al.

Table 2

Value of the Jung’s module

Covering	After an irradiation	To an irradiation
	E , GPa	E , GPa
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al	1,0	0,5
Zn–Al	0,6	0,6
Mn–Fe–Cu–Al	0,1	0,3
Fe–Al	0,2	0,7

Table 3

The Roughness of covering R_a

Covering	After an irradiation	To an irradiation
	R_a , nm	R_a , nm
Cr-Mn-Si-Cu-Fe-Al	22,26	13,34
Zn-Al	76,39	78,0
Mn-Fe-Cu-Al	23,08	29,89
Fe-Al	147,06	56,14

Properties of coverings at simultaneous dispersion of various cathodes

The basic idea used in the present work consists in the following: for generation of multicomponent streams of ions of the various metals besieged on a substrate, we use the multiphase composite cathode on one gun of vacuum installation and the single-phase cathode from the titan on other gun. In the course of simultaneous dispersion of various cathodes ions of metals mix up in plasma and, after sedimentation, form a covering. Such approach is «compelled» as reception of multiphase composite cathodes with the set number the component represents a challenge connected with reception of multicomponent alloys, thermodynamic properties which component can differ considerably. Results of measurements of microhardness of composite coverings are presented to tab. 4.

Table 4

Microhardness of samples with the coverings in argon and nitrogen

Covering	Quantity of tests	Microhardness, HRC		
		The sample № 1 (15 min) in nitrogen	The sample № 2 (30 min) in nitrogen	The sample № 2 (30 min) in argon
Zn-Al + Ti	1	216,2	305,3	217,5
	2	232,0	361,7	226,8
	3	224,1	251,4	211,8
	4	285,9	206,0	211,6
	5	226,3	235,6	217,8
	Average value	236,9	272,0	217,1
Fe-Al + Ti	1	185,7	264,1	331,8
	2	206,2	257,2	334,7
	3	208,5	263,9	339,2
	4	226,6	278,4	355,9
	5	200,5	286,5	319,7
	Average value	205,5	270,0	336,2
Zn-Cu-Al + Ti	1	279,0	248,6	222,0
	2	207,6	252,3	217,7
	3	291,2	243,2	221,2
	4	185,7	252,5	221,8
	5	191,1	249,3	222,0
	Average value	230,9	249,2	220,9
Cr-Mn-Si- Cu-Fe-Al + Ti	1	298,4	257,8	227,8
	2	266,0	244,6	225,7
	3	286,4	246,0	229,6
	4	270,8	244,3	220,2
	5	249,6	253,6	232,4
	Average value	274,2	247,2	227,1

As microhardness in the environment of nitrogen more than in the inert environment of argon at the expense of formation of a phase of nitride of the titan follows from tables 4, in all cases.

For a long time it is known, that iron impurity make the big impact on quality of received aluminium, that is with increase in the maintenance of these impurity corrosion firmness worsens, plasticity decreases, durability of aluminium raises.

Clearing of aluminium of iron filtering and in other ways is labour-consuming and expensive procedure. Therefore as an alternative variant of use of technical aluminium with the raised maintenance of iron drawing of coverings from it is at simultaneous introduction of the titan in the environment of nitrogen. Thus negative influence of iron sharply decreases for properties of aluminium.

Advantage of the offered approach is that high adaptability to manufacture of process which is difficult for carrying out traditional methods is thus reached, at good technical and consumer properties of coverings.

Influence of laser radiation on properties of multiphase coverings

Laser radiation possesses high energy, monochromaticity and a narrow orientation. It allows to concentrate energy with density of capacity from extremely small to 10^{18} W/cm². Laser radiation at influence on a surface of a processed material allows quickly and is dosed out to transfer this energy. Possibility of such intensive supply of energy to a material causes locality of other physical processes thermal and connected with them. Updating of properties of materials by laser radiation on a physical essence is reduced to local thermal influence. Therefore it is defined thermal by material parametres, density of capacity and time of influence of radiation, as a whole quantity of the specific energy absorbed by a material, and speed of its dispersion. The structure of the layer strengthened by laser radiation, is characterised by the big hardness lowered by chemical activity, mechanical characteristics, thermal stability, size and character of distribution of residual pressure [39–42] vary.

On figures 10–11 the microstructure of coverings before laser processing is shown.

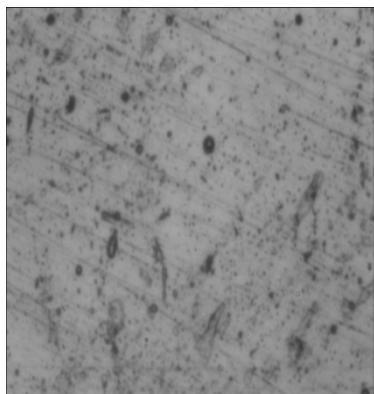


Figure 10. Covering microstructure Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al +Ti in the gas environment argon to a laser irradiation

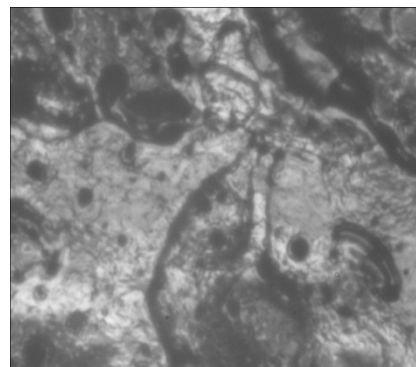


Figure 11. Covering microstructure Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al +Ti in gas to the environment of argon after a laser irradiation

In table 5 factors of a friction of samples Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti in the environment of argon without laser processing and after laser processing are resulted. Definition of factors of a friction was made in steam: a covering — a covering; a covering — aluminium; a covering — copper.

Table 5

Factors of a friction of covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti, received in the environment of argon

The sample	Factors of a friction		
	a covering — a covering	a covering — aluminium	a covering — copper
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti to a laser irradiation	0,413	0,302	0,269
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti after a laser irradiation	0,274	0,265	0,264

In table 6 values of microhardness on Vickers (HV) samples Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti in the environment of argon without laser processing and after laser processing are resulted.

Table 6

Microhardness of covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti, received in the environment of argon

The sample	Test loading, kg	Microhardness, HV
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti to a laser irradiation	0,01	190,5
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti after a laser irradiation	0,01	328,0

On figures 12–13 the microstructure of covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti, the nitrogen received in atmosphere is shown.

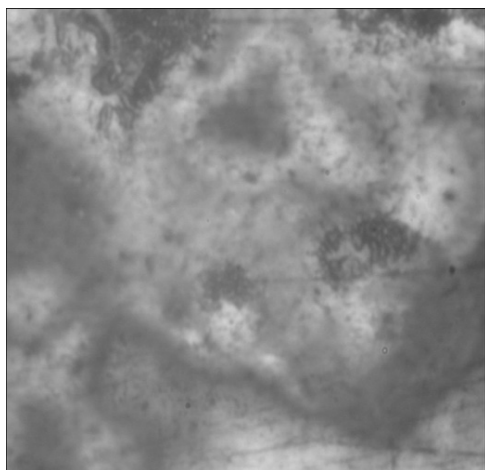


Figure 12. The microstructure of covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti in the gas environment of nitrogen to a laser irradiation

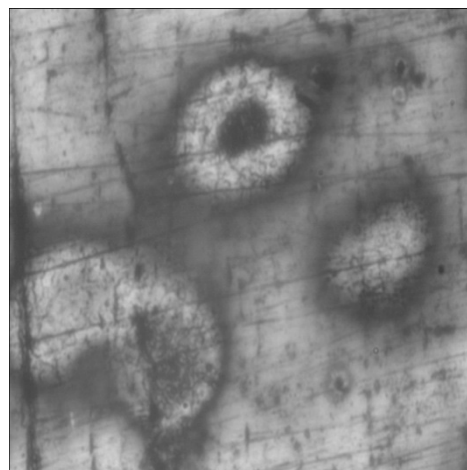


Figure 13. The microstructure of covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti in the gas environment of nitrogen after a laser irradiation

In table 7 factors of a friction of samples Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti in the environment of argon without laser processing and after laser processing are resulted.

Table 7

Factors of a friction of covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti, received in the environment of nitrogen

The sample	Factors of a friction		
	a covering — a covering		a covering — a covering
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti to a laser irradiation	0,243	0,304	0,431
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti after a laser irradiation	0,229	0,370	0,320

In table 8 values of microhardness on Vickers (HV) samples Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti in the environment of argon without laser processing and after laser processing

Table 8

Microhardness of covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti, received in the environment of nitrogen

The sample	Test loading, kg	Microhardness, HV
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti to a laser irradiation	0,025	804,4
Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti after a laser irradiation	0,025	365,5

As follows from tables 5 and 6 for covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti in the environment of argon the factor of a friction after laser processing decreases, and microhardness increases. We connect the first effect with reduction of a roughness of a covering at its fusion by a laser beam. The second effect is caused by formation of structure of a covering with dispositions at sharp heating-cooling that is clearly visible from comparison figures 10 and 11.

At drawing of coverings Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti in the environment of nitrogen in the last the areas containing nitrides of the titan and chrome, and the maintenance both component approximately equally are formed. The size of particles of nitride of the titan and chrome according to electronic microscopy makes 100–150 nanometers. Microcrystals of nitrides of the titan and chrome have primary orientation (presumably in a direction (200)), that is distinct from spherical symmetry of microcrystals of the pure titan. All it, along with cellular structure of a covering, leads to its high microhardness (table 8). After laser processing of covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti, received in the environment of nitrogen, the friction factor changes slightly, and microhardness decreases more than in 2 times (tab. 8). It means, that in this case we deal not about covering hardening, and with its holiday as it is observed in the tempered steels at heats. However the mechanism of loss of hardening in our case is distinct from the mechanism of holiday of a steel where last is caused by phase transition. One of the probable reasons of loss of hardening of covering Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti, received in the environment of nitrogen, is formation of a congestion of microcrystals of the titan and the chrome, clearly visible on fig. 11 both 13 and occurring at cooling of the fused covering after a laser irradiation.

The conclusion

The results of research of process of formation of ionic-plasma multiphase coverings resulted in the present work show, that types of structures arising thus are not so diverse, as, for example, at crystallisation of alloys. Basically the structure and, less often, globular, not closed and cellular structures is observed. However, physical properties can essentially differ depending on element structure of coverings. As the size of a superficial tension (superficial energy) in most cases is size additive each element which is a part of a covering, brings the contribution to the general superficial energy. In case of simultaneous dispersion of multiphase cathodes coverings with the high entropy, possessing the ordered structure and the raised mechanical properties are formed. Thus, some overall picture appears: For reception of the superfirm structured coverings it is necessary to use multiphase (multielement) cathodes, it is desirable at their simultaneous dispersion. Certainly, it is impossible to forget and about optimisation technological parametres of process of sedimentation of coverings.

Work is executed under the program of the Ministry of science and education of Republic Kazakhstan 055 «Scientific and/or scientific and technical activity», the subroutine 101 «Grant financing of scientific researches».

References

- 1 Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. — М.: Машиностроение, 1990. — 384 с.
- 2 Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Ионно-плазменные вакуумные покрытия — основа широкого повышения качества изделий машиностроения // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. тр. — Донецк: ДонНТУ, 2004. — Вып. 28. — С. 108–115.
- 3 Берлин Е., Двинин С., Сейдман Л. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. — М.: Техносфера, 2007. — 472 с.
- 4 Реуцетняк Е.Н., Стрельницкий В.Е. Синтез упрочняющих наноструктурных покрытий // Вопросы атомной науки и техники. — 2008. — № 2. — С. 119–130.
- 5 Palumbo G., Erb U., Aust K. Triple line dislocation effect on the mechanical behavior of materials // Scripta Metallurgica et Materialia. — 1990. — Vol. 24. — P. 1347–1350.
- 6 Veprek S., Veprek-Heijman M., Karvankova P. et al. Different approaches to superhard coatings and nanocomposites // Thin Solid Films. — 2005. — Vol. 476. — P. 1–29.
- 7 Zwang R.F., Veprek S. Crystalline-to-amorphous transition in $Ti_{1-x}Si_xN$ solid solution and the stability of fee SiN studied by combined ab initio density functional theory and thermodynamic calculation // Physical review. — 2007. — Vol. 76. — P. 174–185.
- 8 Watanabe H., Sato Y., Nie C. et al. The mechanical properties and microstructure of Ti–Si–N nanocomposite films by ion plating // Surf. and Coat. Technol. — 2003. — Vol. 169–170. — P. 452–455.
- 9 Carvalho S., Ribeiro E., Rebouta L. et al. Effect of morphology and structure on the elastic behavior of (Ti, Si, Al)N nanocomposites // Surf. and Coat. Technol. — 2003. — Vol. 174–175. — P. 984–991.
- 10 Flink A., Larson T., Sjolen J. et al. Influence of Si on the microstructure of are evaporated (Ti, Si)N thin films; evidence for cubic solid solutions and their thermal stability // Surf. and Coat. Technol. — 2005. — Vol. 200. — P. 1535–1542.
- 11 Li Z.G., Mori M., Miyake S. et al. Structure and properties of Ti–Si–N films prepared by ISP assisted magnetron sputtering // Surf. and Coat. Technol. — 2005. — Vol. 193. — P. 345–349.
- 12 Юров В.М., Гученко С.А., Ибраев Н.Х. Влияние технологических параметров на свойства ионно-плазменных композиционных покрытий // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Физика. — 2010. — № 4(60). — С. 28–38.

- 13 *Кривобоков В.П., Сочугов Н.С., Соловьев А.А.* Плазменные покрытия (свойства и применение). — Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. — 137 с.
- 14 *Соколов И.В.* Закономерности формирования структуры в поверхностном слое деталей из конструкционных металлических материалов в процессе вакуумной ионно-плазменной обработки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2009. — 23 с.
- 15 *Гасанов И.С.* Плазменная и пучковая технология. — Баку: Элм, 2007. — 175 с.
- 16 *Thornton J.A.* Structure and topography of sputtering coatings // *Ann. Rev. Material Sci.* — 1977. — Vol. 7. — P. 239–260.
- 17 *Barna P.B., Adamik M.* Formation and Characterization of the structure of surface coating // *Protective Coatings and Thin Films* / Edited Pflau Y., Barna P.B. — Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, 1977. — P. 279–297.
- 18 *Vlasek J.* Magnetron sputtering of hard nanocomposite coatings and their properties // *J. Surf. Coat. Technol.* — 2001. — Vol. 142–144. — P. 557–566.
- 19 *Псахье С.Г., Зольников К.П., Коноваленко И.С.* Синтез и свойства нанокристаллических и субструктурных материалов. — Томск: Изд-во Томск. ун-та. — 2007. — 264 с.
- 20 *Соболь О.В., Андреев А.А., Горбань В.Ф. и др.* О воспроизводимости однофазного структурного состояния многоэлементной высокоэнтропийной системы Ti–V–Zr–Nb–Hf и высокопрочных нитридов на ее основе при их формировании вакуумно-дуговым методом // *Письма в ЖТФ.* — 2012. — Т. 38, Вып. 13. — С. 40–47.
- 21 *Jurov V.M., Vertjagina E.H., Guchenko S.A.* Influence of an ionic irradiation on structure and property of composite coverings // *Вестник Караганд. ун-та. Сер. Физика.* — 2011. — № 2(62). — С. 39–48.
- 22 *Jurov V.M., Guchenko S.A., Ibraev N.H.* The nanostructured composite coverings and their properties // *Perspective technologies, the equipment and analytical systems for materials technology and nanomaterials: Works of VIII international scientific conference.* — Almaty, 2011. — Part 1. — P. 168–175.
- 23 *Jurov V.M., Ibraev N.H., Guchenko S.A.* Nanostructural coverings on the basis of binary alloys of aluminium // *Вестник КазНУ им. аль-Фараби. Сер. Физика.* — 2011. — № 2(37). — С. 38–44.
- 24 *Jurov V.M., Vertjagina E.N., Guchenko S.A. et al.* Influence of an ionic irradiation on properties of nanostructural coverings Zn-Al and Fe-Al // *Modern high technologies.* — 2011. — № 5. — P. 63–68.
- 25 *Jurov V.M., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N.* Structure and superficial tension of composite coverings // *Вестник Караганд. ун-та. Сер. Физика.* — 2012. — № 1(65). — С. 45–53.
- 26 *Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N.* Dimensional effects and superficial tension of pure metals // *Successes of modern natural sciences.* — 2012. — № 7. — P. 88–93.
- 27 *Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N.* Influence of technological parameters of sedimentation on a superficial tension of composite coverings // *The International magazine applied and basic researches.* — 2012. — № 5. — P. 55–58.
- 28 *Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N.* Superficial tension of ionic-plasma coverings // *Вестник Караганд. ун-та. Сер. Физика.* — 2012. — № 2(66). — С. 13–21.
- 29 *Jurov V.M.* Energy storage in insulators at an irradiation ionising radiation // *Вестник Караганд. ун-та. Сер. Физика.* — 2008. — № 3(51). — С. 35–43.
- 30 *Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Zavatskaya O.N.* Dimensional effects and homogeneous origin of crystals of pure metals // *Chaos and structures in nonlinear systems. The theory and experiment: Works of the VIII International scientific conference.* — Karaganda: KarSU Publ., 2012. — P. 282–287.
- 31 *Jurov V.M., Eshchanov A.N., Kuketaev A.T.* Way of measurement of a superficial tension of firm bodies // *Patent RK № 57691. Publ. 15.12.2008. The Bulletin № 12.*
- 32 *Jurov V.M., Portnov V.S., Puzeeva M.P.* A way of measurement of a superficial tension and density of superficial conditions of insulators // *Patent RK № 58155. Publ. 15.12.2008. The Bulletin № 12.*
- 33 *Jurov V.M., Guchenko S.A., Ibraev N.H.* Way of measurement of a superficial tension of besieged coverings // *Patent PK № 66095. Publ. 15.11.2010. The Bulletin № 11.*
- 34 *Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N.* Superficial tension of nitrides of metals // *Modern high technologies.* — 2012. — № 3. — P. 36–41.
- 35 *Jurov V.M.* Some questions of physics of a surface of solid states // *Вестник Караганд. ун-та. Сер. Физика.* — 2009. — № 1(53). — С. 45–54.
- 36 *Laurinas V.Ch., Jurov V.M., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N.* Influence of a laser irradiation on properties of multiphase coverings // *News of National academy RK.* — 2013. — № 2. — P. 155–159.
- 37 *Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A. et al.* Structure and properties of multiphase ionic-plasma coverings. — Karaganda: Kazakhstan-Russian University Publ., 2013. — 150 p.
- 38 *Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N.* Formation of cellular nanostructure at formation of ionic-plasma coverings // *Chaos and structures in nonlinear systems. The theory and experiment: Works of the VIII International scientific conference.* — Karaganda: KarSU Publ., 2012. — P. 288–294.
- 39 *Kalinichenko A.S., Bergman G.V.* The operated directed hardening and laser processing: the theory and practice. — Minsk: Technoprint, 2001. — 367 p.
- 40 *Grigorjants A.G., Shiganov I.N., Misjurov A.I.* Technological processes of laser processing. — Moscow: MGTU Publishing house, 2006. — 664 p.
- 41 *Veiko V.P., Petrov A.A.* Introduction in laser technologies. — Spb.: St. Petersburg State University ITMO, 2009. — 143 p.
- 42 *Losev V.F., Morozova E.J., Zipilev V.P.* Physical bases of laser processing of materials. — Tomsk: TPU, 2011. — 199 p.

В.Ч.Лауринас, С.А.Гученко, О.Н.Завацкая

Көпфазалық ионды-плазмалы жабындының құрылымы және қасиеттері

Мақалада ионды-плазмалық жабулардың микроқатандығын зерттеу нәтижелері талданды. Жабуларды жасау үшін бір және көп камералы плазмалық ағындар қолданылды. Жабуларды жасағанда аргон және азот атмосферасы пайдаланылып, әр түрлі өзгеріске ұшырайтыны байқалған. Эксперименттік мәліметтер бойынша, жабулардың микроқатандығы үлгі бетінде квазипериодты өзгеретіні көрінеді. Жабулардың периодтық құрылымын қалыптастыруға арналған модель ұсынылды. Модель теориясының негізі, жабуларды қалыптастырған кезде буландырылатын ағындар компоненттерінің концентрациялық градиенті есебінен пайда болатын автотербелістік қозғалыстардың тууына негізделген.

В.Ч.Лауринас, С.А.Гученко, О.Н.Завацкая

Структура и свойства многофазных ионно-плазменных покрытий

В работе обсуждаются результаты исследования процесса формирования ионно-плазменных многофазных покрытий. Показано, что типы возникающих при этом структур не столь многообразны, как, например, при кристаллизации сплавов. В основном наблюдается глобулярная структура и, реже, незамкнутые диссипативные и ячеистые структуры. Показано, что физические свойства могут существенно отличаться в зависимости от элементного состава покрытий. Авторами отмечено, что свойства покрытий Cr–Mn–Si–Cu–Fe–Al + Ti, полученные в среде аргона и азота, после лазерного облучения изменяются различным образом. Это связано с особенностями поведения нитридной фазы при воздействии лазерного излучения. Определено, что свойства покрытий Fe–Al после лазерного облучения практически не изменяются. Это связано с особенностями структуры этих покрытий, которая представляет собой незамкнутую структуру.

Ключевые слова: плазма, покрытие, микротвердость, трение, микроструктура, ионное облучение, лазерное облучение.

References

- 1 Barvinok V.A. *Management of an intense condition and properties of plasma coverings*, Moscow: Mashinostroyeniye, 1990, 384 p.
- 2 Mihajlov A.N., Mihajlov V.A., Mihajlova E.A. *Progressive technologies and mechanical engineering systems*: International Proc., Donetsk: DNTU, 2004, 28, p. 108–115.
- 3 Berlin E., Dvinin S., Seidman L. *Vacuum technology and the equipment for drawing and etching of thin films*, Moscow: Tekhnosfera, 2007. — 472 p.
- 4 Reshetnjak E.N., Strelnitsky V.E. *Questions of a nuclear science and technics*, 2008, 2, p. 119–130.
- 5 Palumbo G., Erb U., Aust K. *Scripta Metallurgica et Materialia*, 1990, 24, p. 1347–1350.
- 6 Veprek S., Veprek-Heijman M., Karvankova P. et al. *Thin Solid Films*, 2005, 476, p. 1–29.
- 7 Zwang R.F., Veprek S. *Physical review*, 2007, 76, p. 174–185.
- 8 Watanabe H., Sato Y., Nie C. et al. *Surf. and Coat. Technol.*, 2003, 169–170, p. 452–455.
- 9 Carvalho S., Ribeiro E., Rebouta L. et al. *Surf. and Coat. Technol.*, 2003, 174–175, p. 984–991.
- 10 Flink A., Larson T., Sjolen J. et al. *Surf. and Coat. Technol.*, 2005, 200, p. 1535–1542.
- 11 Li Z.G., Mori M., Miyake S. et al. *Surf. and Coat. Technol.*, 2005, 193, p. 345–349.
- 12 Jurov V.M., Guchenko S.A., Ibraev N.H. *Bulletin of Karaganda University, Physics Series*, 2010, 4(60), p. 28–38.
- 13 Krivobokov V.P., Sochugov N.S., Solovev A.A. *Plasma coverings (properties and application)*, Tomsk: Tomsk Polytechnical University Publ., 2011, 137 p.
- 14 Sokolov I.V. *Laws of formation of structure in a blanket of details from constructional metal materials in the course of vacuum ionic-plasma processing*: Dis. abstract, Moscow, 2009, 23 p.
- 15 Gasanov I.S. *Plasma and beam technology*, Baku: Elm, 2007, 175 p.
- 16 Thornton J.A. *Ann. Rev. Material Sci.*, 1977, 7, p. 239–260.
- 17 Barna P.B., Adamik M. *Protective Coatings and Thin Films*, Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, 1977, p. 279–297.
- 18 Vlasek J. *Surf. Coat. Technol.*, 2001, 142–144, p. 557–566.
- 19 Psachye S.G., Zolnikov K.P., Konovalenko I.S. *Synthesis and properties of nanocrystals and substructural materials*, Tomsk: Tomsk University Publ., 2007, 264 p.
- 20 Sobol O.V., Andreev A.A., Gorban V.F. et al. *Letters in JTF*, 2012, 38(13), p. 40–47.

- 21 Jurov V.M., Vertjagina E.H., Guchenko S.A. *Bulletin of Karaganda University, Physics Series*, 2011, 2(62), p. 39–48.
- 22 Jurov V.M., Guchenko S.A., Ibraev N.H. *Perspective technologies, the equipment and analytical systems for materials technology and nanomaterials: Works of VIII international scientific conference*, Almaty, 2011, 1, p. 168–175.
- 23 Jurov V.M., Ibraev N.H., Guchenko S.A. *Al-Farabi KazNU Bulletin, Ser. Physics*, 2011, 2(37), p. 38–44.
- 24 Jurov V.M., Vertjagina E.N., Guchenko S.A. et al. *Modern high technologies*, 2011, 5, p. 63–68.
- 25 Jurov V.M., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *Bulletin of Karaganda University, Physics Series*, 2012, 1(65), p. 45–53.
- 26 Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *Successes of modern natural sciences*, 2012, 7, p. 88–93.
- 27 Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *The International magazine applied and basic researches*, 2012, 5, p. 55–58.
- 28 Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *Bulletin of Karaganda University, Physics Series*, 2012, 2(66), p. 13–21.
- 29 Jurov V.M. *Bulletin of Karaganda University, Physics Series*, 2008, № 3 (51). — P.35–43.
- 30 Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Zavatskaya O.N. *Chaos and structures in nonlinear systems. The theory and experiment: Works of VIIIth International scientific conference*. Karaganda: KarSU Publ., 2012. p. 282–287.
- 31 Jurov V.M., Eshchanov A.N., Kuketaev A.T. *Way of measurement of a superficial tension of firm bodies: Patent RK № 57691*, Publ. 15.12.2008, the Bulletin № 12.
- 32 Jurov V.M., Portnov V.S., Puzeeva M.P. *A way of measurement of a superficial tension and density of superficial conditions of insulators: Patent RK № 58155*, Publ. 15.12.2008, the Bulletin № 12.
- 33 Jurov V.M., Guchenko S.A., Ibraev N.H. *Way of measurement of a superficial tension of besieged coverings: Patent PK № 66095*, Publ. 15.11.2010, the Bulletin № 11.
- 34 Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *Modern high technologies*, 2012, 3, p. 36–41.
- 35 Jurov V.M. *Bulletin of Karaganda University, Physics Series*, 2009, 1(53), p. 45–54.
- 36 Laurinas V.Ch., Jurov V.M., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *News of National Academy of RK*, 2013, 2, p. 155–159.
- 37 Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A. et al. *Structure and properties of multiphase ionic-plasma coverings*, Karaganda: Kazakhstan-Russian University Publ., 2013, 150 p.
- 38 Jurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. *Chaos and structures in nonlinear systems. The theory and experiment: Works of the VIII International scientific conf.*, Karaganda: KarSU Publ., 2012, p. 288–294.
- 39 Kalinichenko A.S., Bergman G.V. *The operated directed hardening and laser processing: the theory and practice*, Minsk: Technoprint, 2001, 367 p.
- 40 Grigorjants A.G., Shiganov I.N., Misjurov A.I. *Technological processes of laser processing*, Moscow: MGTU Publ., 2006. — 664 p.
- 41 Vejko V.P., Petrov A.A. *Introduction in laser technologies*, St. Petersburg: St. Petersburg State University ITMO, 2009, 143 p.
- 42 Losev V.F., Morozova E.J., Zipilev V.P. *Physical bases of laser processing of materials*, Tomsk: TPU Publ., 2011, 199 p.

О.П.Максимкин¹, А.М.Такиева¹, А.Налтаев², Н.Маженов³, Д.Т.Бердалиев⁴, Б.К.Рахашев⁴

¹Институт ядерной физики РК, Алматы;

²Южно-Казахстанский государственный университет им. М.О.Ауэзова, Шымкент;

³Карагандинский государственный технический университет;

⁴Южно-Казахстанский государственный педагогический институт, Шымкент

(E-mail: mazhenov@mail.ru)

Особенности локализованной деформации и физико-механические свойства реакторной нержавеющей стали 12X18H10T, облученной тепловыми нейтронами

Надежность конструкционных материалов определяется процессами радиационного облучения. Облучение приводит к изменению равномерной деформации материалов. В работе установлены причины возникновения локализованной деформации облученных материалов. Приведены исследования закономерностей изменения геометрических размеров. Исследованы изменения магнитных свойств нержавеющей стали, облученной нейтронами. Разработаны бесконтактный метод наблюдения пластической деформации, методика изменения с использованием оптико-электронного экстензометра. Определены значения коэффициентов локализации деформации для стальных образцов.

Ключевые слова: нейтроны, облучение, конструкционные материалы, деформация, пластичность, прочность, намагниченность.

Введение

Надежность работы атомных реакторов во многом зависит от радиационной стойкости конструкционных материалов тепловыделяющих сборок, которая в условиях эксплуатации быстрых реакторов определяется, в основном, процессами радиационного распухания, ползучести и охрупчивания. Так, известно, что облучение нержавеющей сталей и сплавов большими флюенсами нейтронов сопровождается явлением сосредоточения пластической деформации и перерождения равномерной деформации в локализованную, что во многих случаях приводит к охрупчиванию и разрушению реакторных материалов [1, 2]. Известно также, что холодная деформация облученных металлических материалов, как правило, неоднородна не только на макро-, но и на микроуровне. Эта особенность в сильной степени влияет на формирование механических свойств и делает актуальными исследования неоднородностей пластического течения, проявляющихся в виде деформационных полос или стационарных шеек в деформируемых пробах [3, 4]. Анализ литературы показывает, что такие исследования выполняются, в основном, на необлученных материалах [5, 6], тогда как вопросы, связанные с установлением причин закономерностей развития сосредоточенной деформации в материалах, подверженных радиационному воздействию, освещены недостаточно [7].

К настоящему времени разработаны и применяются различные методы исследования микронеднородного деформирования. Так, широко распространены классические методы определения сосредоточенной местной пластической деформации, которые в большинстве случаев связаны с нанесением на поверхность исследуемого образца реперных точек и различного рода делительных сеток [8, 9]. При этом известны методы механического нанесения сеток, фотосеток, напылённых и накатанных сеток. Используют также непрерывное фотографирование экспериментального образца в процессе деформирования [2].

К основным недостаткам перечисленных методов можно отнести следующие: возможные повреждения поверхности исследуемого объекта, невысокая точность измерений, технологические сложности, неуниверсальность для разных типоразмеров образцов, а также трудоёмкость обработки экспериментальных данных. Наряду с этим основной причиной их ограниченной применимости для исследования облученных металлов и сплавов явилось то, что практически все эти методы требуют непосредственного контакта экспериментатора с образцом в течение продолжительного времени, что недопустимо при работе с материалами, характеризующимися высокой наведённой радиоактивностью. В связи с этим для исследования широко распространенных в реакторостроении аустенитных нержавеющей хромоникелевых сталей нами был применен бесконтактный метод наблюдения и

оценки неоднородностей пластической деформации, основанный на измерениях с помощью разработанного оптико-электронного экстензометра [10].

В настоящей работе приведены результаты исследований закономерностей и особенностей деформационного изменения геометрических размеров, а также характеристик прочности, пластичности и намагниченности образцов аустенитной нержавеющей стали, облученной нейтронами.

Методики экспериментов

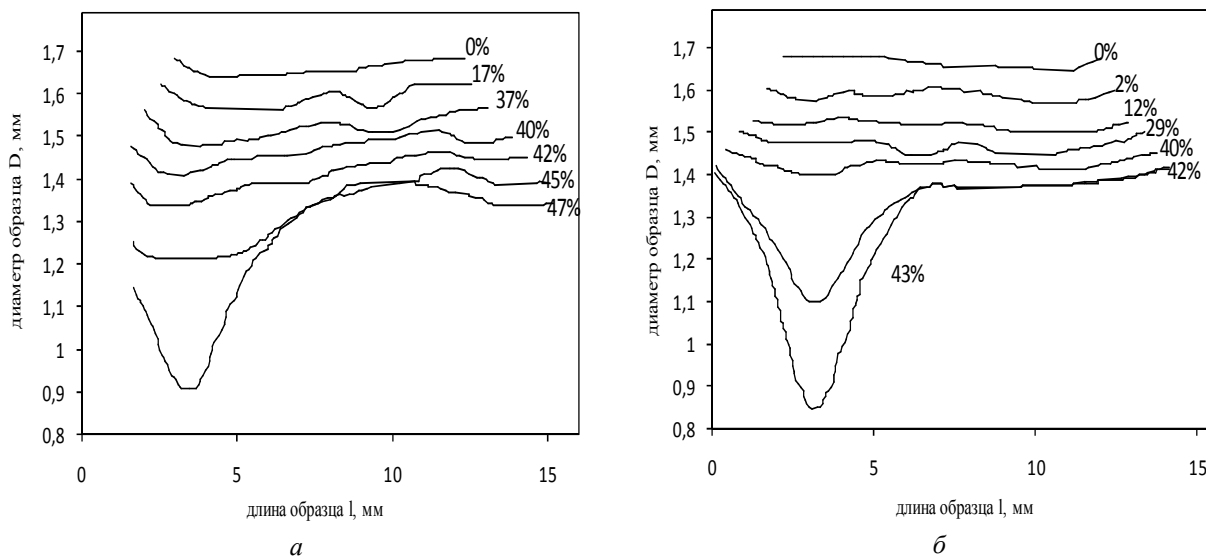
Исследовали аустенитную нержавеющую сталь 12X18H10T следующего химического состава: Fe — основа; С — 0,1; Cr — 17,0; Ni — 10,66; Ti — 0,5; Mn — 1,67; P — 0,032, Si — 0,8; S — 0,0032. Образцы гантелеобразной формы с длиной рабочей части 10 мм и диаметром 1,7 мм подвергали термообработке при 1150 °С в течение 60 мин, а затем облучали в активной зоне реактора ВВР-К до максимального флюенса нейтронов $2 \cdot 10^{20}$ н/см² при температуре ≤ 80 °С.

Механические испытания необлученных и облученных нейтронами стальных образцов на растяжение со скоростью 0,5 мм/мин проводили при комнатной температуре на универсальной испытательной машине «Инстрон-1195». В ходе испытаний с помощью феррозонда Ферстера 1,053 измеряли количество ферромагнитной α' -фазы, индуцируемой холодной деформацией в твердом растворе аустенита (γ) [11]. Для выявления корреляции между процессами локализации деформации и мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения использованы результаты непрерывного фазового картографирования необлученных и облученных образцов, проводимого с помощью феррозонда в процессе растяжения. Для слежения за изменением формы и размеров образцов в ходе деформации был разработан и изготовлен оптико-электронный экстензометр (ОЭЭ) [10]. Составными его элементами являются промышленная телекамера, видеомагнитофон, монитор и электронный блок обработки видеосигнала. В основу измерений положен принцип анализа телевизионного изображения исследуемого объекта с помощью считывающей строки, сканирующей вдоль оси изображения образца. Сигнал, пропорциональный диаметру (длине) образца, подается с блока обработки на двухкоординатный самописец или на ПК, что позволяет более детально анализировать получаемые результаты и уменьшает ошибку измерений. Специальные эксперименты показали, что данные, полученные с использованием ОЭЭ, с точностью до 1 % совпадают с замерами диаметра (D), выполненными на измерительном микроскопе. Ошибка измерения диаметра образца не превышает 2,5 мкм. Данная система позволяет работать с цилиндрическими образцами диаметром от 1 до 10 мм и длиной рабочей части до 50 мм.

К достоинствам оптико-электронного экстензометра следует также отнести возможность проведения экспериментов в широком температурном интервале — от 173 до 1273 К. Недостатком измерительной системы является низкая частота сканирования считывающей строки, что накладывает ограничение на скорость деформирования образца. В нашем случае максимальная скорость растяжения, при которой возможно детальное измерение профиля образца с помощью ОЭЭ, составила 5 мм/мин. Типичный набор экстензограмм, зарегистрированных в процессе деформирования и соответствующих некоторым моментам времени растяжения, представлен на рисунке 1. Графическая разность двух соседних экстензограмм позволяет проследить за динамикой сужения выбранного участка образца за время $\Delta t = t_n - t_{n+1}$ и, кроме того, определять распределение «истинных» напряжений течения по рабочей длине исследуемого объекта.

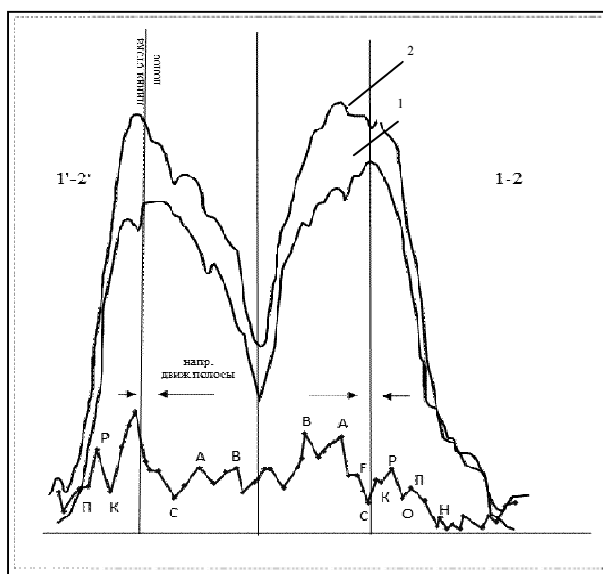
Таким образом, использование оптико-электронного экстензометра при механических испытаниях даёт возможность получать для разных участков одного образца целый набор кривых «истинные напряжения — деформация», а также определять некоторые параметры образующихся деформационных полос, что, в свою очередь, создаёт предпосылки для более детального изучения особенностей локализованного течения необлученных и облученных материалов.

Картографирование α' -фазы в материале как метод изучения неомогенности пластического течения. Как уже упоминалось выше, феррозонд, перемещаясь по образцу с определенной частотой, дает картину распределения магнитной фазы в процессе деформирования, так называемую феррограмму (см. рис. 2) Причём эту картину вполне можно считать моментальным снимком, поскольку скорость сканирования более чем в сто раз превышает скорость растяжения образца, т.е. за время прохождения зонда от одного захвата к другому содержание α' -фазы по длине рабочей части существенных изменений не претерпевает. Исходя из этого можно использовать метод графического вычитания двух последовательно снятых феррограмм для того, чтобы проследить кинетику процесса $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения в любом выбранном участке деформируемого образца (см. рис. 2).



a — необлученный; *б* — облученный нейтронами флюенсом $2 \cdot 10^{20}$ н/см²

Рисунок 1. Изменение длины и диаметра рабочей части образца стали 12X18H10T в процессе пластической деформации (по данным экстензометрии).
Цифры у кривых — деформация образца (ϵ)



1', 2' — при движении феррозонда вверх; 1, 2 — при движении феррозонда вниз

Рисунок 2. Распределение ферромагнитной α' -фазы по длине деформированного стального образца для двух различных степеней растяжения 1 и 2

Кроме этого, исходя из предположения о существовании взаимосвязи между локализацией деформации и развитием мартенситного превращения, можно использовать высокую чувствительность феррозонда для наблюдения таких тонких эффектов, как зарождение и движение деформационных полос и микрошеек, а также для количественного определения некоторых их параметров.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рисунке 3 приведены первичные экспериментальные кривые, зарегистрированные в ходе механических испытаний: диаграмма растяжения в координатах «усилие – удлинение» и феррограмма «количество мартенситной α' -фазы – удлинение».

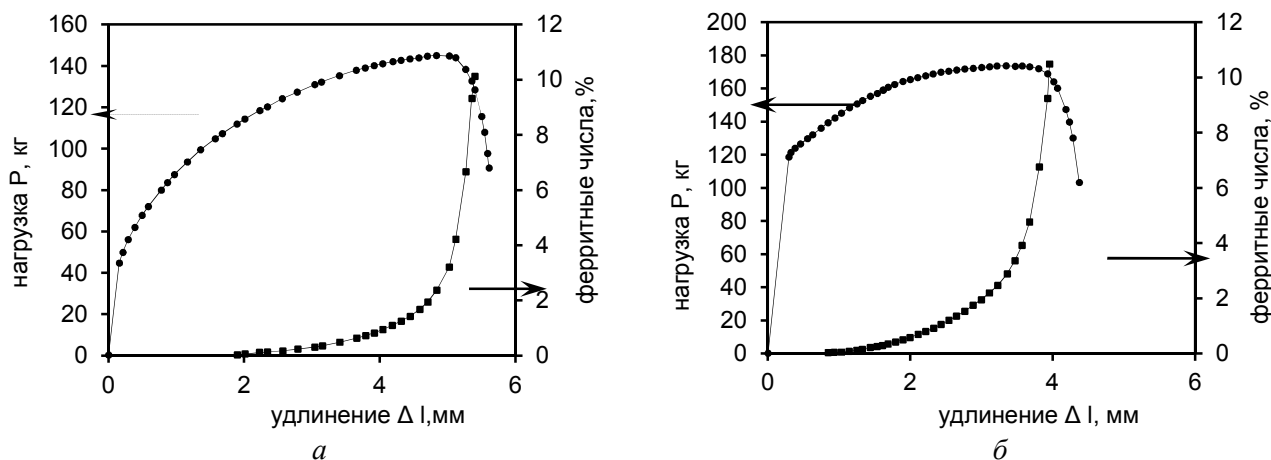


Рисунок 3. Диаграммы растяжения в координатах «нагрузка – удлинение» и кривые накопления мартенситной α' -фазы для необлученного (а) и облученного нейтронами $2 \cdot 10^{20}$ н/см² (б) образцов стали 12X18H10T

Закономерности изменения диаметра образца в процессе одноосного растяжения. Применение оптико-электронного экстензографа в испытаниях на растяжение позволило проследить динамику сужения любого участка деформируемого образца. Для получения детализированной картины процесса сужения цилиндрического образца стали 12X18H10T при деформировании на исходной экстензограмме были выбраны 3 точки (А, В, С), соответствующие трем участкам на рабочей части образца, за которыми в процессе растяжения велось наблюдение.

На рисунке 4 представлены экспериментальные кривые изменения диаметра в процессе деформации при 20 °С со скоростью растяжения 0,1 мм/мин для трех выбранных участков в образцах стали 12X18H10T, необлученных и облученных нейтронами флюенсом $2 \cdot 10^{24}$ н/м². Видно, что уменьшение диаметра в трех контролируемых участках — процесс неравномерный, волнообразный, и это более наглядно выражено для необлученного материала. На рисунке 4 указаны моменты, когда на одном участке образца (например, А) скорость уменьшения диаметра максимальна, в то время как соседние участки (В, С) остаются при этом недеформированными. Как правило, после интенсивного уменьшения диаметра образца в каком-нибудь одном из контролируемых участков в следующие моменты растяжения на кривой $D = f(\epsilon)$ наблюдаются практически горизонтальные отрезки, что свидетельствует о полном прекращении процесса деформации в данном месте. Различие кривых сужения образца для облученной и необлученной стали, а именно более «мелкая волнистость» на деформационной зависимости, для материала, подверженного радиационному воздействию, свидетельствует о том, что процесс переброски атомов в активно деформируемые участки чаще и динамичнее происходит в облученном образце, чему в немалой степени способствуют вакансии радиационного происхождения. В результате процесс перехода активно деформируемого участка с одного места на другое в облученном образце учащается.

Наряду с этим еще одной, не менее очевидной причиной этого явления представляется более раннее (по деформации) появление мартенситной α' -фазы и более интенсивная кинетика развития $\gamma \rightarrow \alpha'$ -перехода при деформировании образца, содержащего радиационные дефекты. С учетом изменений геометрических размеров образца, представленных на рисунке 4, были построены «истинные» кривые деформационного упрочнения « $\sigma - \epsilon$ » для исследуемой стали (см. рис. 5).

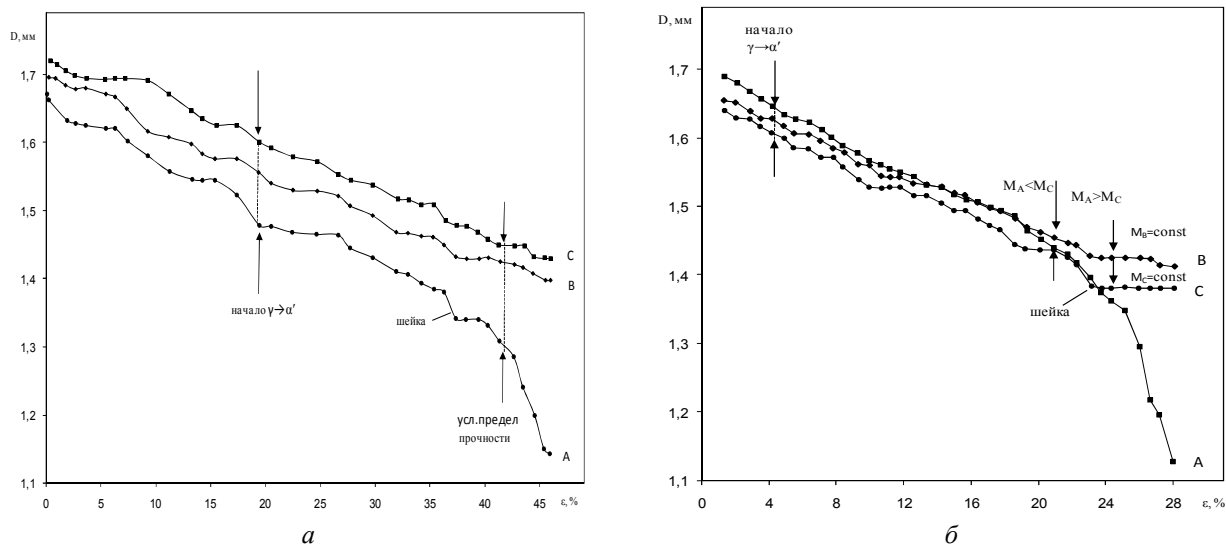


Рисунок 4. Деформационные изменения диаметров в трех точках (А, В, С) образца стали 12X18N10Т в необлученном (а) и облученном (б) состояниях. Стрелками указаны моменты начала $\gamma \rightarrow \alpha'$ -перехода и локализации пластического течения

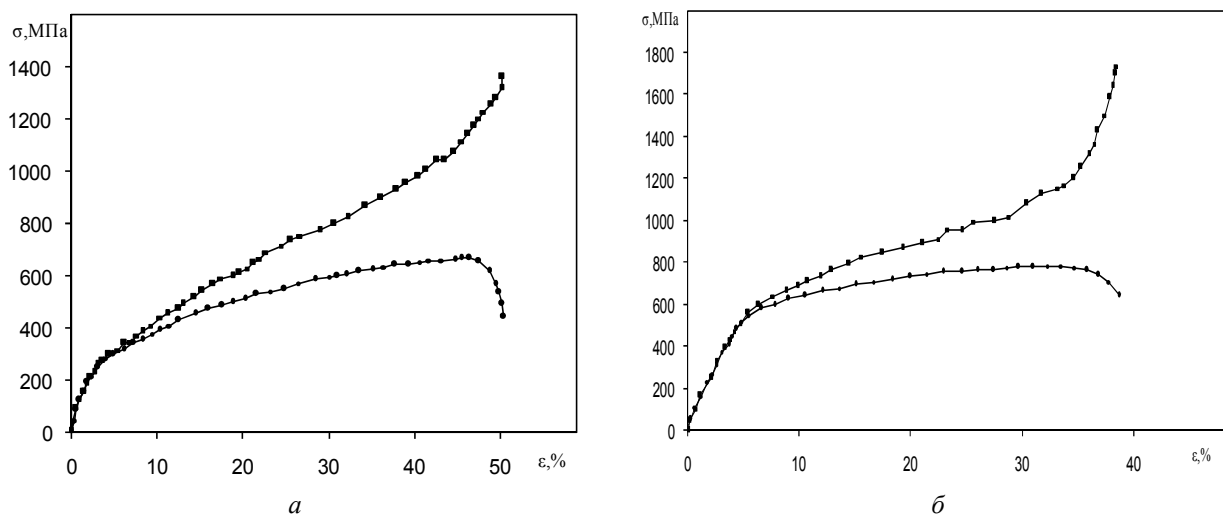


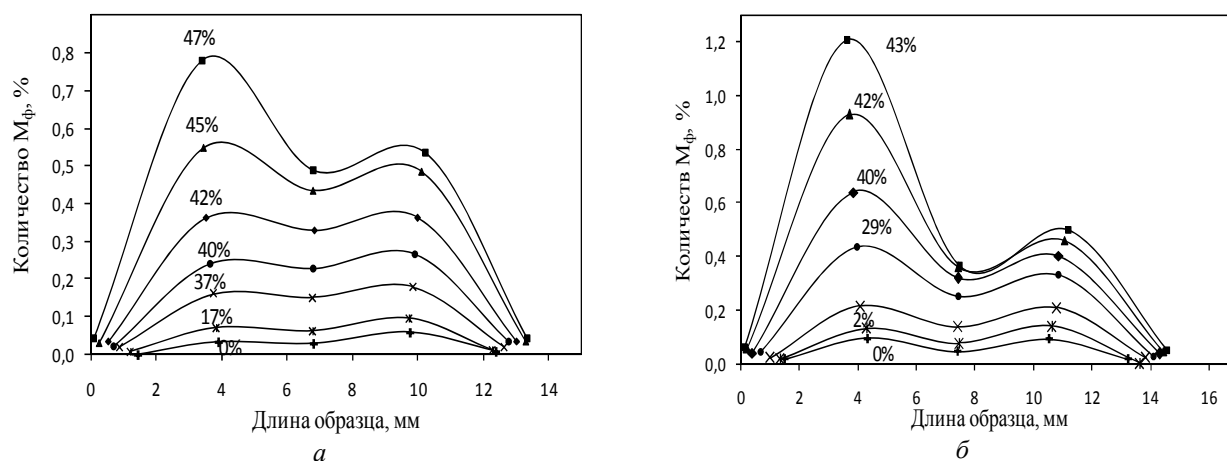
Рисунок 5. Диаграммы растяжения в координатах «напряжение–деформация»: истинные (■) и инженерные (●) для образцов стали 12X18N10Т: а — необлученного (№ 510) и б — облученного (№ 92) нейтронами до флюенса $2 \cdot 10^{20}$ н/см²

Механические и энергетические характеристики, полученные при обработке инженерных и «истинных» диаграмм растяжения необлученных и облученных нейтронами стальных образцов, сведены в таблице. Анализируя данные, приведенные в таблице, следует отметить, что в результате нейтронного облучения несколько возрастают предел текучести и напряжение разрушения, тогда как предел прочности практически не изменяется. Относительная деформация облученных нейтронами образцов в значительной степени уменьшается по сравнению с необлученными. Наряду с этим из таблицы следует, что энергетические характеристики облученных деформированных образцов меньше, чем необлученных.

**Механические и энергетические характеристики стали 12X18H10T (1150 °С, 60 мин)
до и после облучения нейтронами в реакторе ВВР-К при $T \leq 80$ °С**

	Номер образца и облучение, н/см ²	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_{\gamma \rightarrow \alpha}$ МПа	$\sigma_{ш}$ МПа	$\sigma_{в}$ МПа	$\sigma_{разр}$ МПа	$A_{ц}$ МДж/м ³	A_p МДж/м ³	δ , % или ε , %	Ψ , %	$K_{лок}$	$M_{ф}$, %
Условные значения	№ 510, необл.	226,5	199,8	632,5	655,9	429,5	76,9	331,2	63	66	1,82	10,1
	№ 92, $2 \cdot 10^{20}$	552,9	654,9	776,5	780,4	639,2	59,1	295,4	45	63	1,88	10,5
Истинные значения	№ 510, необл.	206,9	589,6	921,5	1097,2	1350,9	80,1	423,5	49			
	№ 92, $2 \cdot 10^{20}$	584,3	729,4	1070,6	1149,1	1729,4	64,1	267,4	37			

Объемное содержание мартенситной α' -фазы и ее распределение по длине стального деформированного образца. Из рисунка 6, на котором представлено распределение мартенситной α' -фазы по длине рабочей части образца, видно, что в процессе деформации оно происходит неравномерно. Установлено, что мартенситной α' -фазы образуется больше там, где в значительно большей степени изменяется диаметр образца, т.е. в его шейке. Из приведенных выше данных следует, что в облученном материале накопление магнитной α' -фазы в процессе растяжения происходит более интенсивно и более неравномерно по длине образца, чем в необлученном.



a — необлученный; b — облученный нейтронами флюенсом $2 \cdot 10^{20}$ н/см²

Рисунок 6. Кривые распределения мартенситной α' - фазы в процессе деформации образца стали 12X18H10T по длине его рабочей части

Полагают, что для устойчивого течения материала в процессе деформации при действующих истинных напряжениях σ и деформации ε необходимо, чтобы интенсивность упрочнения была существенной так, чтобы выполнялось условие $d\sigma/d\varepsilon \geq \sigma$. В противном случае наблюдается потеря устойчивости пластического течения, которая при растяжении проявляется в образовании локальных утоншений материала в виде «бегающих шеек» (полос деформации). Стрелками на рисунке 2 показаны направления перемещения полос деформации при растяжении образца. Из рисунка видно, что полосы деформации в образце перемещаются в разные стороны, но так, чтобы в итоге оказаться в формируемом локально деформированном объеме, который при дальнейшем растяжении определяет область устойчивой локализации деформации. Оказалось, что в отдельных случаях скорость перемещения полосы выше, чем скорость растяжения в 24 раза. В то же время установлено, что абсолютные значения скорости перемещения полос v уменьшаются с ростом степени деформации, причем в необлученной стали v меньше, чем в облученной нейтронами.

Определение коэффициента локализации деформации. Коэффициент локализации деформации, который характеризует степень реализации локальных ресурсов пластичности металлических материалов, определяли по формуле

$$K_n = D_0^2 / D_i^2 \cdot (1 + \delta^i),$$

где D_0 и D_i — начальный и текущий диаметры образца; $\delta_i = \Delta l_i / l_0$ — текущая относительная деформация; Δl_i — удлинение образца в момент времени i ; l_0 — начальная длина образца. Кривые изменения K_n в зависимости от сужения для облученных и необлученных нейтронами образцов стали 12X18Н10 представлены на рисунке 7. Видно, что до $\psi \sim 35\%$ K_n увеличивается незначительно, что указывает на относительную равномерность пластического течения, тогда как при дальнейшей деформации, от $\sim 35\%$ до $\sim 65\%$, значения K растут с большей скоростью, что свидетельствует об образовании и развитии шейки в рабочей части образца. Следует отметить, что «истинные» напряжения течения, соответствующие моменту регистрации перелома на графике $K = f(\psi)$, практически не отличаются от 1000 МПа как для необлученной, так и облученной стали, что подтверждает данные, приведенные в работах других исследователей [12].

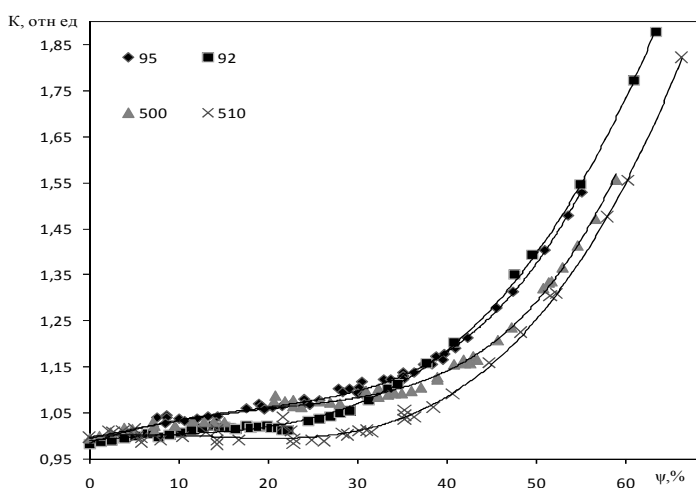


Рисунок 7. Деформационные зависимости коэффициента локализации стали 12X18Н10Т, необлученной (Δ , \times) и облученной нейтронами (\blacklozenge , \blacksquare) до флюенса $2 \cdot 10^{20}$ н/см²

Для всех значений ψ (особенно после $\sim 35\%$) величина K_n становится больше для облученной стали по сравнению с необлученной. Это означает, что в результате нейтронного облучения материал становится хрупким, или, другими словами, шейка в облученной стали развивается интенсивнее, чем в необлученной.

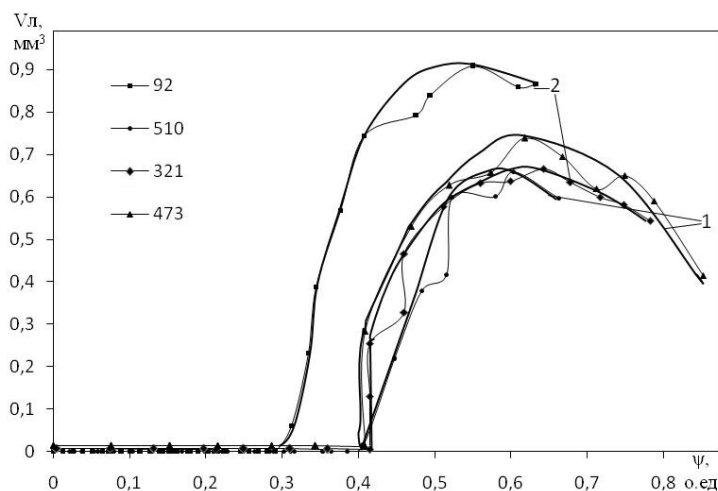


Рисунок 8. Деформационная зависимость локально-деформированного объема для необлученного (№ 510, 473) и облученного нейтронами дозой $5 \cdot 10^{18}$ н/см² (№ 321) и $2 \cdot 10^{20}$ н/см² (№ 92) образцов стали 12X18Н10Т

Наряду с коэффициентом локализации развитие шейки можно характеризовать также локально-деформированным объемом (V_l), который определяет долю рабочего объема образца, участвующего в локальном течении материала [13]. Локально-деформированный объем рассчитывали по формуле

$$V_l = \frac{V_0}{K_l} - 0,785 \cdot d_n^2 \cdot l_p,$$

где V_0 — рабочий объем образца; d_n — текущий минимальный диаметр образца; l_p — длина равномерно-деформированного участка; K_l — коэффициент локализации.

На рисунке 8 приведены деформационные зависимости локально-деформированных объемов для стальных образцов в необлученном и облученном нейтронами состояниях.

Обращает на себя внимание тот факт, что даже к концу растяжения образца его диаметр (или V_l) продолжает оставаться достаточно большим, что, по-видимому, является следствием протекания при деформации процесса $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения по неоптимальной кинетике.

Заключение

Разработана конструкция экспериментальной установки, которая допускает одновременное применение двух методов; слежение за диаметром образца с помощью оптико-электронного экстензометра и непрерывное картографирование α' -фазы по рабочей длине исследуемого объекта. Это дало возможность проведения исследования неомогенности пластического течения и, наряду с определением традиционных параметров данного явления, установления их взаимозависимости с характеристиками индуцированного растяжением мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения.

Проведены механические испытания ($T = 20$ °С, $V = 0,5$ мм/мин) цилиндрических образцов нержавеющей метастабильной стали 12X18H10T, необлученных и облученных в реакторе ВВР-К. С использованием разработанных методов оптикоэлектронной экстензометрии и магнитной картографии изучены неоднородность пластической деформации и распределение ферромагнитной α' -фазы на различных этапах растяжения.

Определены механические ($\sigma_{0,2}$, σ_b , δ_p , δ) и энергетические (A , W_c , $E_{зап}$) характеристики необлученных и облученных стальных образцов. Подтверждено, что при холодном растяжении стальных проб в них индуцируется мартенситная α' -фаза, интенсивность образования и накопления которой в облученной нейтронами стали выше, чем в необлученной.

Установлено, что при растяжении в стальных образцах появляются и перемещаются полосы деформации, необходимым условием образования которых является начало зарождения α' -фазы. Рассчитаны скорости движения полос (v) и степень влияния радиации на их величину. Оказалось, что абсолютное значение v в несколько раз превышает величину скорости растяжения, причем скорость движения полос в стали, облученной до $2 \cdot 10^{20}$ н/см², выше чем в необлученной. Наряду с этим показано, что с ростом величины деформации образца скорость движения полосы уменьшается как в необлученной, так и в облученной нейтронами стали 12X18H10T.

Определены значения коэффициентов локализации деформации и величины локально-деформированных объемов для стальных образцов.

Список литературы

- 1 Неклюдов И.М., Воеводин В.Н., Ожигов Л.С., Пархоменко А.А. и др. Локализация пластической деформации в облученных материалах // Тр. XIV междунар. конф. по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению. 12–17 июля 2000 г., Алушта, Крым. — Харьков, 2000. — С. 79–82.
- 2 Тиванова О.В. Процессы локализации деформации, сопровождаемые структурно-фазовыми изменениями в металлах (Ni, Mo) и сплавах (12X18H10T, 08X16H11M3, 02X20H45M4БРЦ), облученных нейтронами и альфа-частицами: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Алматы, 2008. — С. 139.
- 3 Пресняков А.А. Локализация пластической деформации. — Алма-Ата: Наука, 1981. — С. 122.
- 4 Панин В.Е., Лихачев В.А., Гриняев В.Ю. Структурные уровни деформации твердых тел. — Новосибирск: Наука, 1985. — С. 230.
- 5 Зуев Л.Б., Хон Ю.А., Баранникова С.А. Дисперсия автоволн локализованного пластического течения // Журнал технической физики. — 2010. — Т. 80, № 7. — С. 53–59.
- 6 Зуев Л.Б. Энтропия волн локализованной пластической деформации // Журнал технической физики. — 2005. — Т. 31, № 3. — С. 1–2.
- 7 Малыгин Г.А. Анализ факторов, вызывающих нестабильность деформации и потерю пластичности облученной нейтронами меди // Физика твердого тела. — 2005. — Т. 47, № 4. — С. 632.

- 8 Кат В.Л., Шин Р.Г., Пай М.Р. Методика исследования микронеоднородной деформации в области больших деформаций // Заводская лаборатория. — 1988. — Т. 54, № 5. — С. 79–89.
- 9 Кошелев П.Ф., Сандеров В.Л., Царев В.Н., Грот В.В. Исследование деформаций методом сеток // Заводская лаборатория. — С. 727–729.
- 10 Бабушкин А.А., Максимкин О.П., Челноков С.Д. Оптико-электронный экстензометр // Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат. — 1986. — № 2. — С. 21–22.
- 11 Филиппов М.А., Литвинов В.С., Немировский Д.Р. Сталь с метастабильным аустенитом. — М.: Металлургия, 1988. — 256 с.
- 12 Byun T.S., Farrell K. Plastic instability in polycrystalline metals after low temperature irradiation // Acta Materialia. — 2004. — Vol. 52. — P. 1597–1608.
- 13 Пресняков А.А., Мофа Н.Н., Черноглазова Т.В. Определение объема локально-деформированного металла в процессе растяжения // Заводская лаборатория. — 1985. — № 10. — С. 76–79.

О.П.Максимкин, А.М.Такиева, А.Налтаев, Н.Маженов, Д.Т.Бердалиев, Б.К.Рахашев

Жылулық нейтрондармен сәулеленген реакторлық тоттанбайтын 12Х18Н10Т болаттың шоғырланған деформациясының және физика-механикалық қасиеттерінің ерекшеліктері

Құрылымдық материалдың беріктілігі радиациялық сәулелену процесінен алынады. Сәулелену материалдың біркелкі өзгеруіне әкеледі. Мақалада сәулеленген материалдағы деформация шоғырлануы пайда болуының себебі белгіленіп, геометриялық өлшемдердің өзгеру заңдылығынан зерттеу нәтижелері келтірілген. Нейтрондармен сәулеленген тоттанбайтын болаттың магниттік қасиеттер өзгерісі тіркелді. Пластикалық деформацияның түйіспеісіз байқау әдісі, сондай-ақ оптика-электрондық экстензометрді пайдаланып, өлшеу әдісі дайындалды. Болат үлгілер үшін деформациялық коэффициент мәндері анықталды.

О.П.Максимкин, А.М.Такиева, А.Налтаев, Н.Маженов, Д.Т.Бердалиев, Б.К.Рахашев

Features of localized deformation and physical-mechanical properties of the stainless steel reactor 12Cr18Ni10Ti irradiated with thermal neutrons

Reliability of constructional materials is defined by processes of rasionny radiation. Radiating leads to change uniform deformations of materials. Radiation leads to change uniform deformations of materials. We establish the cause of the localized deformation of irradiated materials. The paper presents the research of laws dimensional changes. Studies of changes in the magnetic properties of stainless steel irradiated by neutrons. Developed a non-invasive method of observation of plastic deformation. Developed a method of measurement using electro-optical extensometer. The values of the coefficients for the localization of deformation of steel specimens.

References

- 1 Nekludov I.M., Voevodin V.N., Ozhigov L.S., Parkhomenko A.A. et al. *Proceedings of the XIV International Conference on the Physics of Radiation Phenomena and Radiation Material*, July 12–17, 2000, Alushta, Crimea, Kharkov, 2000, pp. 79–82.
- 2 Tivanova O.V. *Processes of localization of deformation, accompanied by structural and phase changes in metals (Ni, Mo) and alloys (12Cr18Ni10Ti 08H16N11M3, 02H20N45M4BRTS) irradiated by neutrons and alpha particles*: Dissertation for the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Almaty, 2008, p. 139.
- 3 Presnyakov A.A. *Localization of plastic deformation*, Alma-Ata: Nauka, 1981, p. 122.
- 4 Panin V.E., Likhachev V.A., Grinyaev V.Yu. *Structural levels of deformation of solids*, Novosibirsk: Nauka, 1985, p. 230.
- 5 Zuyev L.B., Hong J.A., Barannikova S.A. *Technical Physics*, 2010, 80(7), p. 53–59.
- 6 Zuyev L.B. *Technical Physics*, 2005, 31(3), p. 1–2.
- 7 Malygin G.A. *Solid State Physics*, 2005, 47(4), p. 632.
- 8 Cat V.L., Shin R.G., Pai M.R. *Zavodskaya laboratoriya*, 1988, 54(5), p. 79–89.
- 9 Koshelev P.F., Sanderov V.L., Tsarev V.N., Grotto V.V. *Zavodskaya laboratoriya*, pp. 727–729.
- 10 Babushkin A.A., Maksimkin O.P., Chelnokov S.D. *Proceedings of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Ser. Physics and Mathematics*, 1986, 2, p. 21–22.
- 11 Filippov M.A., Litvinov V.S., Nemirovsky D.R. *Steel with metastable austenite*, Moscow: Metallurgy, 1988, 256 p.
- 12 Byun T.S., Farrell K. *Acta Materialia*, 2004, 52, p. 1597–1608.
- 13 Presnyakov A.A., Mofa N.N., Chernoglazova T.V. *Zavodskaya laboratoriya*, 1985, 10, p. 76–79.

А.В.Русакова, А.Т.Акилбеков

*Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана
(E-mail: arussakova@gmail.com)***Образование центров окраски и агрегатов в кристаллах фторида лития, облученных высокоэнергетическими легкими и тяжелыми ионами**

Образование центров окраски в кристаллах LiF при облучении их высокоэнергетическими ионами азота, аргона и криптона при комнатной температуре (с энергией поглощения от 10^{20} – 10^{25} эВ/см³) было изучено с использованием оптического спектрометра и люминесценции. Для всех исследований объемная концентрация F-центров составляла 10^{19} см⁻³. В кристаллах фторида лития, облученных ионами азота с поглощенной энергией 10^{24} эВ/см³, концентрации как единичных F-, так и комплексных F_n -центров окраски снижаются, с одновременным образованием крупных агрегатов. Установлено, что такое снижение не наблюдается при облучении ионами аргона и криптона. Авторы определили, что выступающий спектр поглощения для F_3^+ - и F_2 -центров окраски имеет максимум поглощения на длине волны около 445 нм и может быть разделен только с использованием люминесценции. Эффективность люминесценции для различных ионов понижается с увеличением потерь энергии.

Ключевые слова: ионные кристаллы, центры окраски, образование дефектов и агрегатов, ионные треки.

Введение

Исследование повреждений в диэлектрических материалах под влиянием воздействия на них высокоэнергетических ионов с различными потерями энергий (dE/dx) и температур облучения представлено в работах [1, 2]. Показано, что при большой энергии поглощения (при высоком флюенсе облучения) F_2 - и F_3^+ -центры окраски находятся в одном пике, комплексном F_n -центре окраски [3, 4]. Наши исследования по изучению кристаллов LiF, облученных ионами азота и криптона, показывают важную роль анионных вакансий (v_a^+), имеющих энергию миграции меньше, чем у F-центров [3]. Дальнейшее облучение ионами азота с более высокими флюенсами приводит к уменьшению как единичных F-, так и сложных F_2/F_3^+ -центров окраски с одновременным образованием крупных агрегатов [4]. Такое снижение зависит как от средней поглощенной энергии, так и от потерь энергии каждого иона. При облучении кристаллов высокоэнергетическими ионами криптона с энергией 150 МэВ снижения не наблюдалось, вплоть до энергии поглощения 10^{25} эВ/см³ [4].

В настоящей работе мы исследовали кристаллы LiF, облученные высокоэнергетическими ионами ^{14}N , ^{40}Ar и ^{84}Kr с использованием абсорбционной микроскопии и люминесценции.

Экспериментальная часть

В качестве основных объектов для исследования были выбраны высококачественные кристаллы LiF, выращенные в вакууме из расплава (оптический институт (ГОИ) Санкт-Петербург, Россия). Площадь исследуемых кристаллов составляла порядка 10×10 мм². Образцы были сколоты вдоль направления (001) и облучены на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60 (Астана, Казахстан) высокоэнергетическими ионами ^{14}N , ^{40}Ar и ^{84}Kr . Толщина образцов для облучения во много раз превышает пробег ионов в данном веществе [5].

Облучение проводилось при комнатной температуре. Параметры облучения представлены в таблице. Держатель образцов охлаждался водой, находящейся при комнатной температуре, поэтому в процессе облучения нагрев образцов был незначительным.

Спектры поглощения облученных кристаллов LiF были измерены с использованием двухлучевого спектрометра Spexord 250, Germany в спектральном диапазоне энергий 6,5–1,6 эВ (190–800 нм). Концентрацию F-центров на единицу площади поверхности n_F [см⁻²] подсчитали из оптической плотности и максимума спектра поглощения (D_F), с использованием формулы Смакулы–Декстера (1) [2]

$$n_F \left[\text{см}^{-2} \right] = 9,48 \times 10^{15} D_F. \quad (1)$$

Средняя объемная концентрация F-центров может быть вычислена как

$$\langle N_F \rangle = n_F / R, \quad (2)$$

где R — длина пробега ионов в веществе.

Параметры облучения

Ион	Энергия E , МэВ	Пробег иона в веществе, R , мкм	E/R , кэВ/нм	Флякс, ϕ , ион/(см ² ×с)	Флюенс, Φ , ион/см ²
¹⁴ N ⁺²	5,6	4,19	1,34	$3,12 \times 10^{10}$	$1 \times 10^{10} - 1 \times 10^{15}$
¹⁴ N ⁺²	14	8,65	1,62	$3,12 \times 10^{10}$	
¹⁴ N ⁺³	23	14,13	1,63	$2,08 \times 10^{10}$	
⁴⁰ Ar ⁺¹⁴	56	12,38	4,52	$2,20 \times 10^{10}$	$5 \times 10^{10} - 1 \times 10^{14}$
⁸⁴ Kr ⁺¹⁴	150	17,76	8,45	$4,46 \times 10^9$	$5 \times 10^{10} - 1 \times 10^{15}$

Интегральное поглощение F- и F_n-центров окраски было измерено в спектральном диапазоне от 4,13 до 5,90 эВ для F-центров окраски и в диапазоне от 1,77 до 4,13 эВ для F_n-центров окраски соответственно [4].

$$A_F = \int_{4,13}^{5,90} D(\epsilon) d\epsilon, \tag{3}$$

$$A_{F_n} = \int_{1,77}^{4,13} D(\epsilon) d\epsilon. \tag{4}$$

Спектры люминесценции и возбуждения были получены с использованием спектрофотометра CM 2203. Люминесценция обоих F₂- и F₃⁺-центров окраски наблюдается, начиная с наименьшего флюенса облучения.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования спектров поглощения представлены на рисунках 1–4.

Поглощение для кристаллов LiF, облученных ионами азота энергией 14 МэВ, показано на рисунке 1.

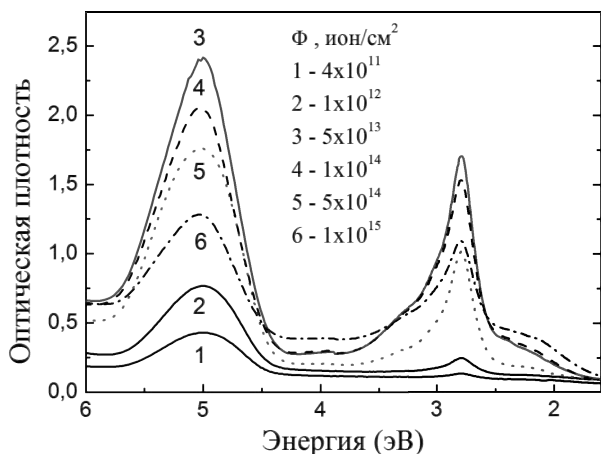


Рисунок 1. Спектры поглощения кристаллов LiF, облученных ионами ¹⁴N с энергией 14 МэВ. При флюенсе около 3×10^{13} ион/см² поглощение F- и F_n-центров окраски возрастает с образованием крупных агрегатов

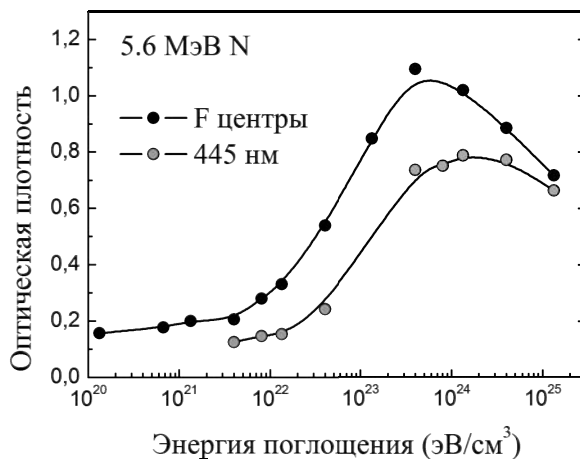


Рисунок 2. Оптическая плотность единичных F- и комплексных F_n-центров окраски (при возбуждении с $\lambda=445$ нм) в кристаллах LiF, облученных ионами ¹⁴N с энергией 5,6 МэВ. Концентрация F-центров насыщается при поглощенной энергии, равной 5×10^{23} эВ/см³. Чем выше энергия поглощения, тем больше концентрация обоих F-центров при возбуждающей длине волны 445 нм

При облучении ионами азота используется три энергии налетающих частиц (табл.). Концентрация насыщения F-центров $\langle N_F \rangle$ достигается при флюенсе облучения $\sim 3 \times 10^{13}$ ион/см². Дальнейшее облучение приводит как к повышению концентрации $\langle N_F \rangle$ для F₂/F₃⁺-центров окраски (рис. 1, 2), так

и к образованию крупных агрегатов. Интегральное поглощение (A_{F_n}) уменьшается с энергии 0,5 эВ при флюенсе облучения 3×10^{13} ион/см² до 0,8 эВ при флюенсе облучения 10^{15} ион/см². С увеличением поглощенной энергии количество единичных F-центров будет больше, чем количество комплексных F_n - (F_2 и F_3^+)-центров окраски $F \rightarrow F_n$ (рис. 2).

В кристаллах LiF, облученных ионами Ar и Kr, концентрация F-центров насыщается при поглощенной энергии ниже, чем при облучении ионами N (рис. 3 и 4). Согласно модели, развитой в [4] и [6], наибольший объем $\langle N_F \rangle$ может быть достигнут для неплотных ионов N. При высоком флюенсе облучения ионы азота дают больше информации об окраске, тогда как более тяжелые ионы Ar и Kr формируют в основном неоднородные дефекты, расположенные ниже средней концентрации F-центров окраски (рис. 3, 4).

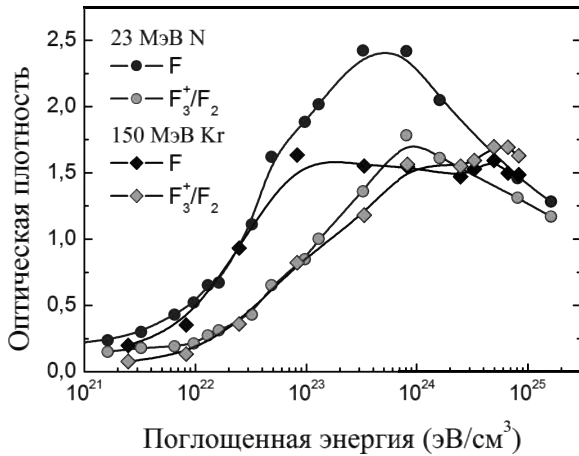


Рисунок 3. Оптическая плотность кристаллов LiF, облученных ионами ¹⁴N с энергией 23 МэВ и ионами ⁸⁴Kr с энергией 150 МэВ. Облучение ионами криптона не ведет к повышению F- и F_n -центров окраски

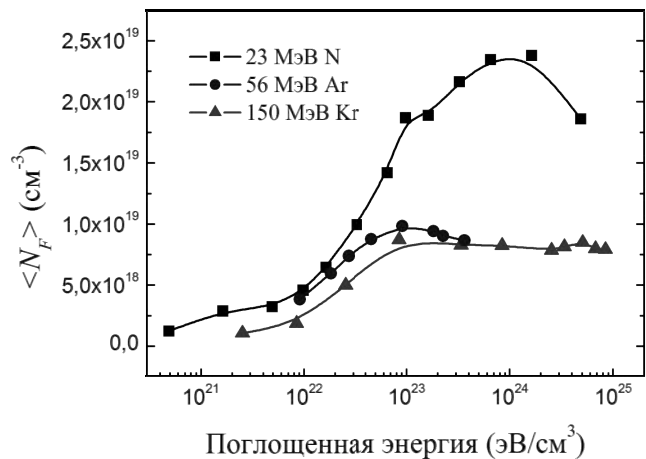


Рисунок 4. Средняя концентрация F-центров окраски в зависимости от поглощенной энергии для кристаллов LiF, облученных ионами N, Ar и Kr

Облучение кристаллов LiF различными ионами и с энергией поглощения около 10^{24} эВ/см³ снижает абсорбцию в спектрах в интервале от 1,5 до 3,8 эВ (рис. 1), что соответствует различным F_n -центрам, где F_2 - и F_3^+ -центры преобладают. Причиной образования и роста комплексных центров окраски являются зарождение и миграция анионных вакансий (v_a^+) под воздействием облучения [3, 4].

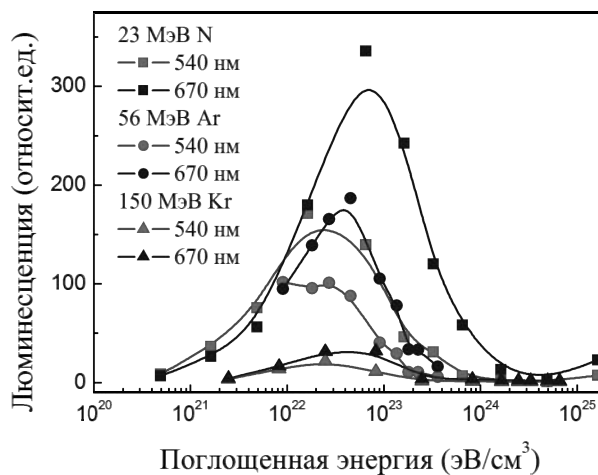


Рисунок 5. Возбуждение люминесценции для F_3^+ - центров (максимум при $\lambda = 540$ нм) и F_2 -центров (максимум при $\lambda = 670$ нм) окраски в зависимости от поглощенной энергии для кристаллов LiF, облученных ионами N, Ar и Kr. Выход люминесценции зависит от параметра ионов и повышается с увеличением dE/dx

F_2^- и F_3^+ -центры окраски имеют максимум поглощения около 445 нм и могут быть разделены только с использованием люминесцентной спектроскопии [3, 7, 8]. Мы анализировали люминесценцию кристаллов LiF, облученных ионами N, Ar и Kr (рис. 5). Для кристаллов LiF, облученных всеми ионами, люминесценция F_2^- и F_3^+ -центров окраски повышается с увеличением энергии поглощения и степени насыщения.

Для всех ионов увеличение люминесценции для F_3^+ -центров окраски (максимум возбуждения $\lambda = 540$ нм) наблюдается при значении поглощенной энергии ниже, чем для люминесценции F_2^- -центров (максимум возбуждения $\lambda = 670$ нм). Повышение люминесценции F_2^- и F_3^+ -центров окраски наблюдается и при такой поглощенной энергии, когда концентрация F_2^- и F_3^+ -центров в спектре поглощения продолжает уменьшаться (рис. 5). Исследование люминесценции при быстром охлаждении показано в работах [7, 8]. Выход люминесценции для F_2^- и F_3^+ -центров окраски для кристаллов, облученных ионами азота, аргона и криптона, повышается с увеличением потерь энергии ионов (dE/dx) (рис. 5). Различие в увеличении интенсивности люминесценции остается открытым вопросом. Montereali и др. наблюдали тушение люминесценции для F_2^- -центров окраски [7]. Скуратов и др. предполагали, что ионы вызывают напряжения, которые влияют на тушение люминесценции [8]. Поэтому для понимания повышения люминесценции для F_2^- и F_3^+ -центров окраски необходимы дополнительные исследования.

Выводы

Для всех ионов концентрация F-центров насыщается при объемной концентрации около 10^{19} см⁻³. При облучении ионами аргона и криптона насыщение происходит при значении поглощенной энергии ниже, чем при облучении ионами азота (эффект влияния потерь энергии dE/dx).

При облучении ионами ¹⁴N поглощенная энергия составляет около 10^{24} эВ/см³, что приводит к повышению образования как F-, так и F_n -центров окраски, а также к росту крупных агрегатов (вакансионных кластеров, коллоидов, и др.).

Спектры поглощения для F_2^- и F_3^+ -центров окраски перекрываются и могут быть разделены только с использованием люминесцентной спектроскопии. В зависимости от флюенса выход люминесценции показывает четкое повышение поглощенной энергии до насыщения. Это справедливо при тушении люминесценции, механизм же появления до сих пор остается неясным.

Список литературы

- 1 Itoh N., Duffy D.M., Khabakshouri S. et al. Making tracks: electronic excitation roles in forming swift heavy ion tracks // J. Phys.: Condens. Matter. — 2009. — Vol. 21(474205). — P. 1075–1087.
- 2 Schwartz K., Volkov A.E., Sorokin M.V. Effect of irradiation parameters on defect aggregation during thermal annealing of LiF irradiated with swift ions and electrons // Phys. Rev. B. — 2010. — Vol. 82(144116). — P. 633–640.
- 3 Dauletbekova A., Schwartz K., Russakova A. et al. LiF crystals irradiated with 150MeV Kr ions: Peculiarities of color center creation and thermal annealing // Nucl. Instr. Meth. B. — 2013. — Vol. 295. — P. 89–93.
- 4 Russakova A., Sorokin M.V., Schwartz K. et al. Color center accumulation in LiF crystals under irradiation with MeV ions: Optical spectroscopy and modeling // Instr. Meth. B. — 2013. — Vol. 313. — P. 21–25.
- 5 SRIM code 2013 based on Ziegler J.F., Biersak J.P., Littmark U. The Stopping and Range of Ions in Solid. — New York: Pergamon Press, 1985.
- 6 Sorokin M.V., Schwartz K. et al. Color centers beyond the swift ion ranges in LiF crystals // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. — 2012. — Vol. 285. — P. 24–29.
- 7 Baldacchini G., Bigotta S., Montereali R.M. Emission decay times of F_2^- color centers in heavily irradiated LiF crystals // Journal of Luminescence. — 2001. Vol. 94–95. — P. 299–303.
- 8 Skuratov V.A., Kirilkin N.S. et al. Depth-resolved photo- and ionoluminescence of LiF and Al₂O₃ // Nucl. Instr. and Meth. B. — 2012. — Vol. 286. — P. 61–66.

А.В.Русакова, А.Т.Ақылбеков

Ауыр және жеңіл жоғарғы энергетикалық иондармен сәулеленген литий фторид кристалында бояу орталықтарының және агрегаттардың түзілуі

LiF кристалдарындағы орталық бояуы жоғарыэнергетикалық азот иондарымен сәулелендіру барысында пайда болуы, аргон және криптонның бөлме температурасындағы (10^{20} – 10^{25} эВ/см³)

энергия жұтылымы) оптикалық спектрометр мен люминесценциялардың қолданылуы барысында анықталды. Барлық зерттеу жұмыстарында көлем концентрациясы F-орталығы 10^{19} см⁻³ құрайды. Литий фторидінің кристалдары азот иондарымен жұту энергиясы 10^{24} эВ/см³ сәулелендіріліп, F біркелкі концентрациясы, сонымен қатар F_n кешенді орталық бояуы ірі агрегаттардың бір мезгілде пайда болуымен төмендейді. Бұндай төмендеу аргон және криптонмен сәулелендіру барысында байқалмайды. Авторлар F₃⁺ және F₂ жұтынудың оптикалық спектрінің орталық бояуы ең үлкен (максимум) жұтынуын 445 нм толқын ұзындығына ие болады немесе люминесценцияны қолдану арқылы ғана шектелуі мүмкін екендігін дәлелдеген. Люминесценция тиімділігі әр түрлі иондар үшін төмендеуі энергия жоғалуының өсуіне байланысты.

A.V.Russakova, A.T.Akilbekov

Color centers creation and aggregation in lithium fluoride crystals irradiated with high energy light and heavy ions

Color center creation and aggregation in lithium fluoride under irradiation at room temperature with N, Ar, and Kr ions (with absorbed energy from 10^{20} to 10^{25} eV/cm³) are studied using absorption and luminescence spectroscopy. For all used ions the volume concentration of F centers saturates at the value of about 10^{19} cm⁻³. In LiF irradiated with N ions at absorbed energy above 10^{24} eV/cm³ both the concentration of single F and complex F_n centers decreases due to formation of larger aggregates. Such decrease was not reached for Ar and Kr ions. Prominent in the absorption spectra F₃⁺ and F₂ centers have the very close absorption maxima around 445 nm and can be distinguished only using luminescence spectroscopy. The efficiency of F₃⁺ and F₂ center luminescence for various ions decreases with increasing energy loss.

К.Кусаиынов, С.Е.Сакипова, Б.Р.Нусупбеков, З.К.Айтпаева, Д.А.Оспанова

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: zamik1981@mail.ru)*

Исследование влияния электроимпульсной обработки на физико-химические свойства металлсодержащего и техногенного сырья

В работе обосновываются преимущества электроимпульсной обработки руды и техногенного сырья. Экспериментально определены оптимальные параметры электроимпульсной установки для эффективного дробления металлсодержащего и техногенного сырья. Приведены результаты рентгенофазового анализа техногенного сырья до и после электроимпульсной обработки. На основе применения современных физико-химических методов анализа установлены закономерности изменения фазового и минералогического составов образцов медьсодержащей руды до и после электроимпульсной обработки. Показано, что в процессе обогащения медной руды, помимо окислительно-восстановительных процессов, возможно протекание реакции разложения самого халькопирита с образованием сульфида меди и пирротинов.

Ключевые слова: электроимпульсная обработка, техногенное сырье, «бедные» руды, рентгенофазовый анализ, обогащение.

Казахстан известен как крупный промышленный центр в области металлургии тяжелых и цветных металлов, а по производству меди входит в первую десятку стран мира. Объемы техногенных отходов и добываемых руд определяют требования к методам их переработки. Эти методы должны быть простыми по технологическому и аппаратному обеспечению и способствовать повышению степени комплексности извлечения ценных компонентов. Необходимость улучшения параметров руд и концентратов цветных металлов, ужесточение требований к экологической защите окружающей среды, увеличение степени утилизации вторичных энергетических ресурсов требуют разработки новых наукоемких технологий, обеспечивающих оптимальное протекание технологических процессов и обладающих высокой надежностью [1–4]. В статье рассматриваются перспективы электроимпульсной технологии обработки техногенного сырья в качестве эффективного и экологически безопасного способа обогащения. Предлагаемый способ измельчения руды и улучшения ее качества основан на использовании энергии импульсной ударной волны, возникающей в результате искрового электрического разряда в жидкости [5–8].

Электроимпульсная технология обработки позволяет изменять не только гранулометрический состав, но и физико-химические свойства техногенного сырья и отходов горно-рудного производства [9, 10].

Для выяснения природы влияния электроимпульсной обработки на содержание ценных компонентов в измельченной руде использовались современные физико-химические методы анализа для определения элементного состава образцов металлсодержащего сырья. По результатам исследований, проведенных на первом этапе выполнения данной работы, было обнаружено, что в процессе обогащения медной руды электроимпульсным воздействием содержание меди в обработанной руде увеличивается почти в 1,5 раза по сравнению с содержанием меди в сырье из рудника Кусмурун [9–11]. Аналогичное воздействие на содержание некоторых элементов, в том числе и редких, обнаружено при электроимпульсной обработке проб техногенного сырья и руды из месторождений Нурказган и Анненское. Данный эффект, по-видимому, обусловлен протеканием окислительно-восстановительных и обменных реакций и фазовых превращений, которые происходят вследствие выделения большого количества энергии при электроразряде. Увеличение содержания ценных компонентов позволяет повысить качество готовой продукции.

В продолжение исследований и для более полного изучения свойств обрабатываемых проб нами также был проведен рентгенофазовый анализ. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводился на дифрактометре ДРОН 3 (табл. 1, 2, рис. 1, 2). Комплексный термический анализ с одновременной записью дифференциальной кривой термических эффектов и изменения веса исследуемых образцов выполнен в атмосфере воздуха на дериватографе ОД–112.

Т а б л и ц а 1

Данные РФА руды из месторождения Кусмурун до электроимпульсной обработки

Экспериментальные данные		Данные ASTM*		Экспериментальные данные		Данные ASTM		Экспериментальные данные		Данные ASTM*	
I/I_0	d, A	I/I_0	d, A	I/I_0	d, A	I/I_0	d, A	I/I_0	d, A	I/I_0	d, A
Кварц				Каолинит				Халькопирит			
100	3,343	100	3,35	100	1,565	100	1,480	100	3,030	100	3,03
75	4,260	60	4,29	2	1,803	40	1,789	6	2,564	6	2,620
54	2,460	60	2,45	1	1,574	10в	1,541	1	1,868	40	1,867
45	2,131	60	2,11	3	3,672	50	3,666	2	1,501	10	1,517
56	1,374	80	1,37	2	4,989	80	4,48	–	–	–	–

Т а б л и ц а 2

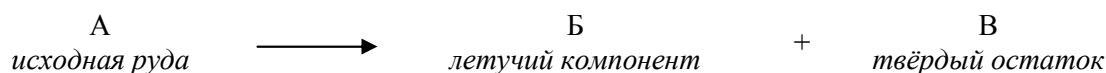
Данные РФА руды месторождения Кусмурун после электроимпульсной обработки

Экспериментальные данные		Данные ASTM*		Экспериментальные данные		Данные ASTM*	
I/I_0	d, A	I/I_0	d, A	I/I_0	d, A	I/I_0	d, A
Кварц				Пирит			
100	3,334	100	3,335	100	2,698	85	2,708
80	4,244	10	4,24	15	3,007	35	3,127
57	1,816	80	1,81	9	2,216	50	2,211
60	1,544	80	1,54	15	1,633	100	1,633
55	1,374	80	1,37	2	1,87	2	1,88
Каолинит				Кальцит			
100	1,544	10в	1,541	100	3,054	100	3,035
5	2,554	80	2,565	1	1,915	17	1,913
5	6,963	100	7,18	2	1,501	3	1,510
4	4,460	80в	4,48	1	2,377	6	2,37
3	3,526	100г	3,58	–	–	–	–

Примечание. ASTM International (American Society for Testing and Materials) — американская международная добровольная организация, разрабатывающая и издающая стандарты для материалов, продуктов, систем и услуг.

Результаты рентгенофазового анализа показали наличие в пробах техногенного сырья месторождения Кусмурун следующих минералов: халькопирит, сфалерит, пирит, кварц, галенит. Известно, что халькопирит выступает в качестве самого главного рудного минерала, остальные являются сопутствующими. Сравнение рентгенограмм двух образцов показывает разложение халькопирита в процессе обработки медьсодержащей руды на электроимпульсной установке.

Используем метод дифференциального термического анализа (ДТА), который позволяет определить потерю массы медной руды как функцию температуры при постоянной скорости нагрева и тем самым установить значение параметров процесса термической модификации. К этим параметрам относятся порядок реакции, константа скорости и энергия активации, характеризующие особенности строения медной руды. Расчёт проводится по следующей схеме процесса деструкции:



Скорость реакции записывается в следующем виде:

$$-\frac{dC}{dt} = kC^n, \quad (1)$$

где k — константа скорости реакции; n — порядок реакции; C — концентрация меди в исходном сырье; t — время.

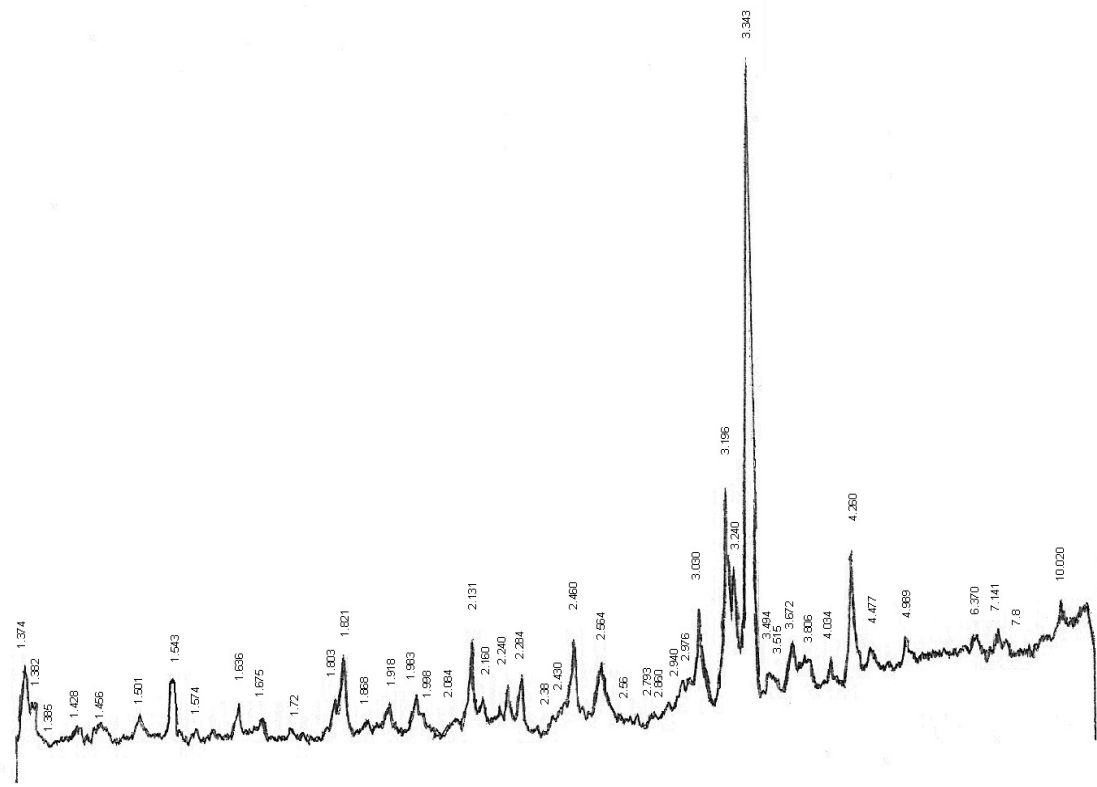


Рисунок 1. Данные рентгенофазового анализа руды месторождения Кусмурун до электроимпульсной обработки

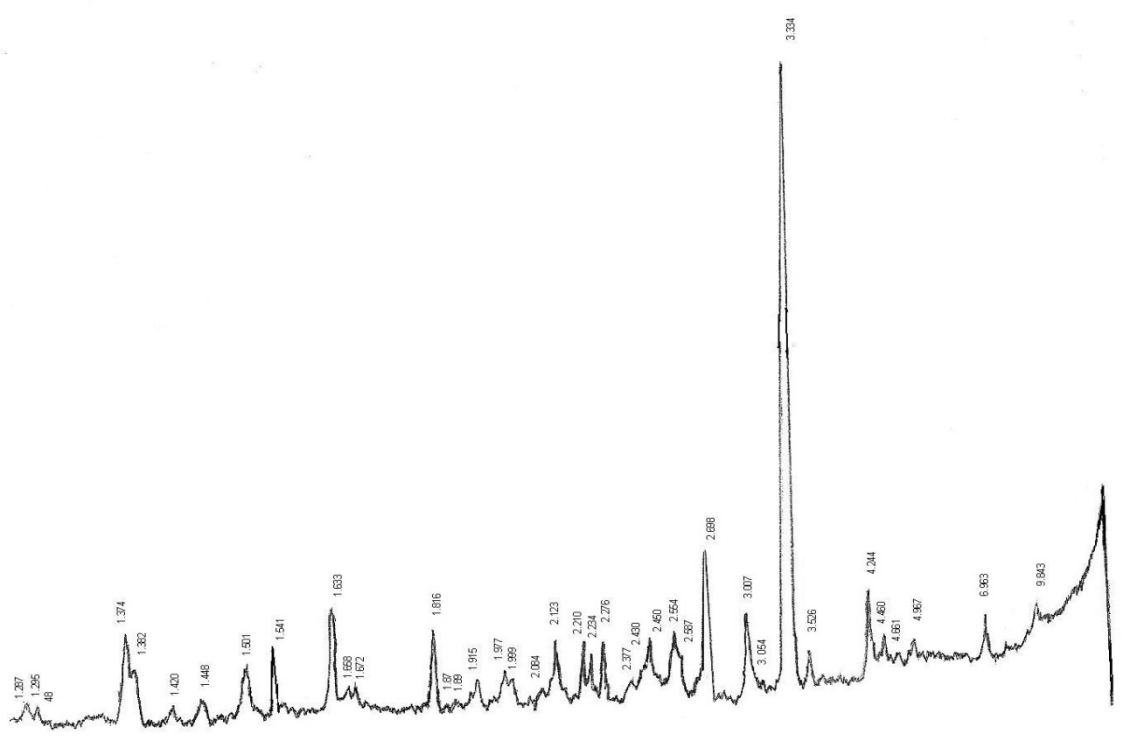


Рисунок 2. Данные рентгенофазового анализа руды месторождения Кусмурун после электроимпульсной обработки

Концентрацию меди в руде определяем по уравнению

$$C = \frac{W - W_k}{W_0 - W_k} = 1 - \frac{V_{T_{nep}}}{V_k}, \quad (2)$$

где W — масса медной руды в текущий момент времени; W_k — масса твёрдого остатка; W_0 — начальная масса; $V_{T_{nep}}$ — потеря летучих веществ при T_{nep} ; V_k — потеря летучих веществ при конечной температуре нагрева; T_{nep} — температура, соответствующая максимуму скорости потери массы.

Зависимость константы скорости от температуры задаётся по уравнению Аррениуса:

$$k = Z e^{\frac{-E}{RT}}, \quad (3)$$

где Z — предэкспоненциальный множитель, который определяется частотой столкновений в растворе. Его экспериментальное значение равно приблизительно 10^{11} л/моль·с при 25°C , теоретически предполагается значение, равное приблизительно 10^{13} л/моль·с; E — энергия активации; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Для нахождения параметров n , Z и E необходимо уметь составить и решить систему из трёх уравнений. При постоянной скорости нагрева имеем

$$\frac{dT}{dt} = \beta (T = T_0 + \beta t). \quad (4)$$

Из (1) можно получить первое уравнение:

$$\left(\frac{dC}{dt}\right)_{T=T_{nep}} = -\frac{Z}{\beta} e^{\frac{-E}{RT_{nep}}} \cdot C_{nep}^n. \quad (5)$$

Так как в точке перегиба $\left(\frac{dC}{dt}\right)_{T=T_{nep}} = 0$, то из (3) имеем второе уравнение:

$$E = -\frac{nRT_{nep}^2}{C_{nep}} \left(\frac{dC}{dt}\right)_{T=T_{nep}}. \quad (6)$$

Третье уравнение можно получить из (3) делением переменных и последующим интегрированием в пределах от 1 до T_{nep} и от начальной температуры T_0 до T_{nep} :

$$\int_1^{C_{nep}} \frac{dC}{C^n} = -\frac{Z}{\beta} \int_{T_0}^{T_{nep}} e^{\frac{-E}{RT_{nep}}} dT. \quad (7)$$

После преобразований получили:

$$\int_1^{C_{nep}} \frac{dC}{C^n} = -\frac{1}{nC_{nep}^{n-1}} \left(x - x^2 e^x \int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \right). \quad (8)$$

Из (4) можно вывести:

$$\frac{e^{-x}}{x^2} = \frac{R\beta}{EnZC_{nep}^{n-1}}, \quad (9)$$

где $x = E / RT$.

Из (6) следует:

$$\text{при } n = 1: \ln C_{nep} = -1 + \Pi(x); \quad (10)$$

$$\text{при } n \neq 1: nC_{nep}^{n-1} = 1 + (n-1)\Pi(x), \quad (11)$$

где $\Pi(x) = 1 - x + x^2 e^x \int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$.

Используя табулированные значения определенного интеграла

$$E_i(x) = \int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du, \quad (12)$$

для вычисления функции $\Pi(x)$ получим корреляционное уравнение для области $1 \leq x \leq 80$:

$$\Pi(x) = 0,0096 + \frac{1,576}{x} - \frac{0,9896}{x^2}, (r = 0,99995). \quad (13)$$

В данном случае для нахождения параметров процесса рассматривалось численное решение системы из трёх уравнений, с использованием итерационного метода. По данной методике проведен компьютерный расчет кинетических параметров процесса термической модификации медьсодержащей руды.

В качестве исходных данных использовались значения $C_{пер}$, $T_{пер}$, $\left(\frac{dC}{dt}\right)_{T=T_{пер}}$, β . В результате определены такие физико-химические характеристики, как значения n , E , Z , k . Дериватограммы образцов медьсодержащей руды, исходного и обработанного электроимпульсным воздействием, приведены на рисунках 3 и 4.

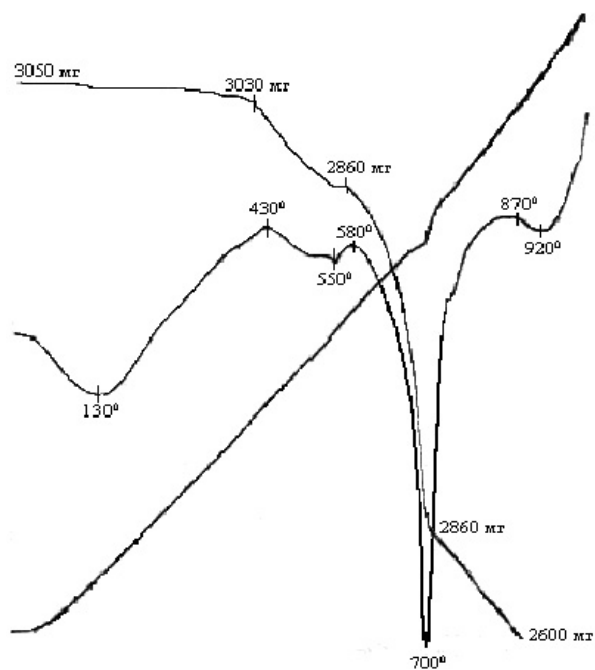


Рисунок 3. Дериватограмма сырья из месторождения Кусмурун до обработки

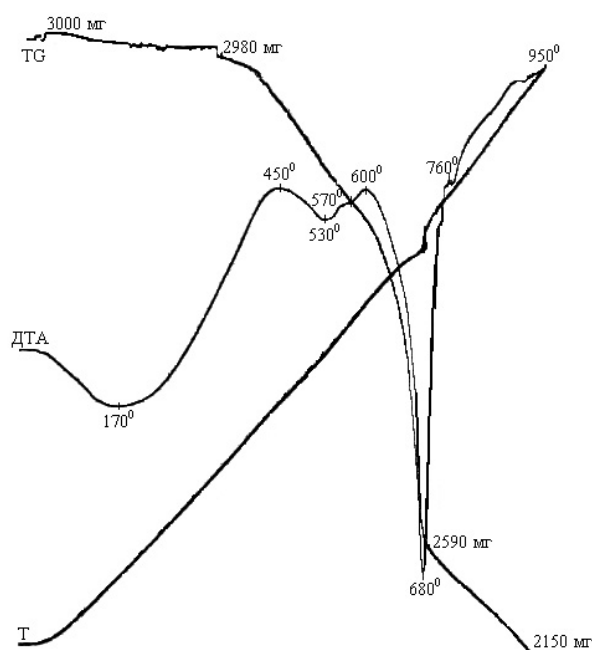
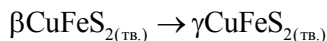


Рисунок 4. Дериватограмма руды из месторождения Кусмурун после обработки

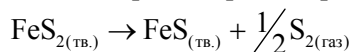
Дифференциально-термический анализ руды месторождения Кусмурун был проведен в платиновых тиглях в интервале температур 25–1000 °С, в атмосфере воздуха, при скорости нагрева 10°/мин.

На кривой ДТА образца руды, не обработанного электрогидроимпульсным воздействием, наблюдается эндотермический эффект при 130 °С, приводящий к удалению дегидратации кварца. В случае образца руды, полученного после электрогидравлической обработки, эндотермический эффект, отвечающий за полиморфное превращение кварца, на кривой ДТА смещается в сторону высоких температур и проявляется при 170 °С. Эндотермический эффект при температуре 570 °С соответствует полиморфному превращению кварца.

Разложение халькопирита фиксируется при 530...550 °С, далее при температуре 570 °С происходит структурное превращение β -тетрагонального халькопирита в кубическую форму, т.е. происходит образование талнахита:



Эффект при 950 °С обусловлен образованием эвтектического сплава этих фаз. Эндотермический эффект при 680...700 °С отличается хорошей воспроизводимостью и характеризуется разложением пирита во всем объеме, с выделением элементарной серы и образованием пирротинов:



Экзотермический эффект при температуре 760 °С соответствует протеканию реакции окисления серы, выделившейся при разложении пирита.

Для определения лимитирующей стадии процесса обогащения медной руды месторождения Кусмурун были проведены кинетические исследования. Обработка данных показала, что энергия активации и константа скорости реакции для руды месторождения Кусмурун до обработки электроимпульсным воздействием, равны соответственно $E = 78,94$ кДж/моль, $k = 1,842 \cdot 10^{-2}$. Для обработанных образцов руды получены значения $E = 52,62$ кДж/моль, $k = 1,228 \cdot 10^{-2}$. В обоих случаях процесс лимитируется в кинетической области. Таким образом, на основе применения современных физико-химических методов анализа установлены закономерности изменения фазового и минералогического составов образцов руды до и после электроимпульсной обработки. Полученные результаты показали, что в процессе обогащения руды, помимо окислительно-восстановительных процессов, возможно протекание реакции разложения самого халькопирита, с образованием сульфида меди и пирротинов, что еще раз подтверждает эффективность процесса обогащения руды с применением электроимпульсной обработки.

Экспериментально доказано, что электроимпульсная технология обработки позволяет быстро и эффективно дробить и измельчать исходное техногенное сырье до фракций с заданными параметрами, значительно улучшая качество продукции. Несомненно, что внедрение результатов проведенных исследований на предприятиях будет способствовать техническому прогрессу отечественной промышленности и созданию ресурсосберегающего экологически безопасного способа извлечения ценных компонентов с помощью электроимпульсной технологии обработки техногенного сырья.

Список литературы

- 1 Батракова Л.Х., Егеубаев Б.С., Еденбаев С.С. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана (состояние, проблемы, решения). — Алматы, 2003. — 390 с.
- 2 Алишанов Р.А. Казахстан на мировом минерально-сырьевом рынке: проблемы и их решения: анализ и прогноз. — Алматы: Print-S, 2005. — 422 с.
- 3 Кулинич В.В., Сагунов В.Г., Ужкенов Б.С. и др. Месторождения горнорудного сырья Казахстана: Справочник. — Алматы, 2000. — 235 с.
- 4 Усов А.Ф. Перспективы технологий разрушения горных пород и руд // Известия АН. Энергетика. — 2001. — № 1. — С. 54–62.
- 5 Юткин А.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. — Л., 1986. — 253 с.
- 6 Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. — СПб.: Наука, 1995. — 276 с.
- 7 Воробьев А.А. Разрушение горных пород электрическими импульсными разрядами. — Томск: Изд. ТГУ, 1961. — 150 с.
- 8 Гулый Г.А. Оборудование и технические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. — Киев, 1977. — 324 с.
- 9 Нусупбеков Б.Р., Шаймерденова Г.М., Айтпаева З.К. Методика избирательного разрушения руды // Вестн. развития науки и образования. — М., 2009. — № 4. — С. 16–19.
- 10 Айтпаева З.К., Мылтыкбаева А., Сулейменова А. Динамика электрогидроимпульсного разрушения руд полезных ископаемых и методы обнаружения ценных компонентов // Физика и химия наноматериалов: II междунар. конф. — Томск, 2009. — С. 430–433.
- 11 Кусайынов К.К., Каримова А.Б., Айтпаева З.К. Обогащение медной руды месторождения Нурказган // Химия и химическая технология: Материалы I-й междунар. Российско-Казахстанской конф. — НИТПУ. — Томск, 2011. — С. 101–102.

Қ.Құсайынов, С.Е.Сақыпова, Б.Р.Нүсіпбеков, З.К.Айтпаева, Д.А.Оспанова

Құрамында металл бар техногенді шикізаттың физика-химиялық қасиеттеріне электримпульстік өңдеудің әсерін зерттеу

Мақалада кен және техногенді шикізатты электримпульсті өңдеудің құндылықтары негізделді. Құрамында металл бар техногенді шикізаттың тиімді ұсақталуы үшін электримпульстік қондырғының тәжірибелі түрде қолайлы параметрлері анықталды. Электримпульсті өңдеуге дейінгі және кейінгі техногенді шикізаттың рентгенді-фазалық талдау нәтижелері келтірілген. Қазіргі физика-химиялық талдау әдістерін қолдану негізінде электримпульстік өңдеуге дейінгі және кейінгі кен үлгілерінің фазалық және минералогиялық қасиеттерінің өзгерісінің заңдылықтары бекітілді.

K.Kussaiynov, S.E.Sakipova, B.R.Nusupbekov, Z.K.Aitpayeva, D.A.Ospanova

Investigation of the influence of electro-treatment on the physical and chemical properties of the metal and man-made materials

In the paper, the advantages of electric pulse processing ore and man-made materials. Experimentally determine the optimal parameters for the effective electro- installation of crushing metal- and man-made materials. The results of X-ray phase analysis of man-made materials before and after the electric pulse processing. On the basis of the application of modern physical and chemical methods of analysis the patterns of changes in the phase and mineralogical composition of copper-bearing ore samples before and after the electric pulse processing. It is shown that in addition to copper ore redox processes may flow decomposition reaction of the chalcopyrite to produce copper sulphide, and pyrrhotite.

References

- 1 Batrakova L.H., Egeubayev B.S., Edenbayev S.S. *Complex processing of mineral resources of Kazakhstan (status, problems and solutions)*, Almaty, 2003, 390 p.
- 2 Alshanov R.A. *Kazakhstan in the global mineral-raw materials market: problems and their solutions: analysis and prediction*, Almaty: Print-S, 2005, 422 p.
- 3 Kulinich V.V., Sagunov V.G., Uzhkenov B.S. *Deposits of mining products in Kazakhstan. Directory*, Almaty, 2000, 235 p.
- 4 Usov A.F. *Proceedings of the Academy of Sciences, Energy*, 2001, 1, p. 54–62.
- 5 Yutkin A.A. *Electrohydraulic effect and its application in industry*, Leningrad, 1986. 253 p.
- 6 Semkin B.V., Usov A.F., Kurets V.I. *Fundamentals of electric pulse destruction of materials*, St. Petersburg: Nauka, 1995, 276 p.
- 7 Vorob'ev A.A. *Destruction of rocks by pulsed electric discharge*, Tomsk: TGU Publ., 1961, 150 p.
- 8 Gulyi G.A. *Equipment and technical processes with electrohydraulic effect*, Kiev, 1977, 324 p.
- 9 Nusupbekov B.R., Shaimerdenova G.M., Aitpayeva Z.K. *Bulletin of development of science and education*, Moscow, 2009, 4, p. 16–19.
- 10 Aitpayeva Z.K., Myltykbayeva A.A., Suleimenova A. *Physics and chemistry of nanomaterials: II Int. Conf. Proc.*, Tomsk, 2009, p. 430–433.
- 11 Kussaiynov K.K., Karimova A.B., Aitpayeva Z.K. *Chemistry and Chemical Engineering: 1st Int. Russian-Kazakhstan Conf. Proc.*, NITPU, Tomsk, 2011, p. 101–102.

УДК 533.682

К.Кусаиынов, Ж.Т.Камбарова, М.М.Тургунов, Н.Н.Омаров, Г.А.Ранова

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: kappas090108@mail.ru)*

Исследование аэродинамических характеристик модели ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей

В статье представлена модель ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей. Силовые элементы лопастей ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности выполнены в виде треугольного гибкого паруса с подвижным концом. Определены аэродинамические характеристики модели ветротурбины в аэродинамической трубе Т–1–М. Приведены зависимости момента сил тяги и силы лобового сопротивления модели ветротурбины от скорости воздушного потока при различных углах атаки. Показано, что разработанная модель ветротурбины способна вырабатывать энергию при малых скоростях потока порядка 3÷5 м/с.

Ключевые слова: ветротурбина, аэродинамическая труба, моменты силы тяги, сила лобового сопротивления, скорость потока, угол атаки потока.

Одной из главных современных задач для динамичного развития экономики Казахстана является рациональное использование энергетических ресурсов. При этом большую роль играет внедрение возобновляемых источников энергии. На большей части территории Казахстана расположены зоны с низкими значениями среднегодовых скоростей ветра. Для таких территорий еще не созданы промышленные ветродвигатели малой и средней мощности, а использование уже выпускаемых — экономически невыгодно. В связи с этим создание ветроэнергетических установок, эффективно работающих в условиях низких среднегодовых скоростей ветра, является весьма актуальным для Казахстана, соответствует приоритетам развития науки в республике. Аналогичные проблемы существуют в России, странах СНГ, других странах мира с низкими среднегодовыми скоростями ветра.

Парусные ветродвигатели обладают уникальной особенностью — они одинаково эффективно работают как при малых, так и при больших значениях скорости ветра за счет динамически изменяемой формы рабочей поверхности под воздействием потока ветра.

В работе [1] предложен парусный ветродвигатель, который может быть применен для привода электрогенераторов, водоподъемников, мельниц, насосов, компрессоров. Разработанный парусный ветродвигатель содержит установленные на вертикальной центральной оси рамы с гибкими парусными лопастями. Гибкая парусная лопасть, помимо центральной, имеет дополнительную ось вращения. Расстояние между обеими осями составляет 0,1–0,45 длины лопасти. Технический результат заключается в создании ветродвигателя несложной конструкции с максимально полезным использованием парусных лопастей.

Вывод аналитических зависимостей для расчета оптимальных размеров, ориентации и формы лопастей ветротурбины изложен в работе авторов [2]. Факторами ограничения количества и мощности конвертируемой этой турбиной второй энергии принимаются местная плотность вероятности скорости ветра, заданная предельно допустимая сила давления ветра на турбину, определенный стартовый момент ее холостого хода и реальное аэродинамическое качество выбранного профиля ее лопастей.

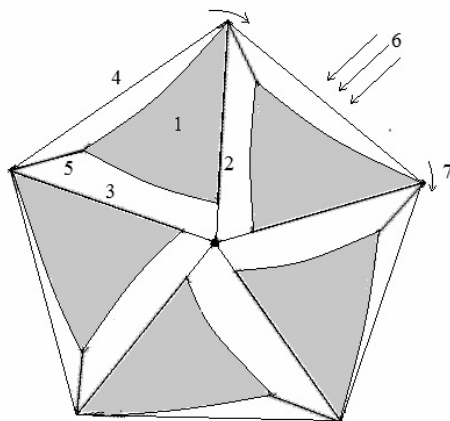
В статье [3] приведены экспериментальные данные испытания модели ветродвигателя, оборудованного тремя стеклопластиковыми лопастями типа «Колокол», в аэродинамической трубе 3-АТ-17,5/3. Представлены графики, в которых показаны зависимость мощности модели от изменения загружающего момента на валу ротора и от изменения угловой скорости его вращения. Кроме того, представлен график соотношения загружающего момента на валу ротора и угловой скорости его вращения в зависимости от изменения скорости движения воздушного потока.

Автором работы [4] предложено изобретение, относящееся к ветроэнергетике, гидроэнергетике, а именно к ветродвигателям с осью вращения, перпендикулярной направлению ветра. Парусный ветродвигатель содержит установленные на вертикальном центральном валу рамы с гибкими парусными лопастями, ось, эксцентричную относительно центрального вала, жестко соединенную со стабилизатором вращения и шарнирно укрепленную относительно основания, в котором установлен с возможностью вращения центральный вал. Каждая гибкая парусная лопасть закреплена на ветродвигателе только в двух местах, а именно, с одной стороны, на раму и, с другой стороны, с возможностью вращения на ось, эксцентричную относительно центрального вала, что позволяет установить на ветродвигатель более двух гибких парусных лопастей и, следовательно, увеличить коэффициент полезного действия и надежность ветродвигателя.

В работе [5] представлен ветродвигатель, содержащий вертикальную ось, лопасти, установленные радиально на вертикальной оси и выполненные в виде прямоугольных рам с парусиной. Верхняя кромка парусины прикреплена к подвижной в вертикальном направлении горизонтальной балке. Рама состоит из верхней и нижней консолей и двух вертикальных боковых стоек, боковые стойки рамы выполнены в виде направляющих для концов горизонтальной балки и грибков, периодически закрепленных на боковых сторонах парусины. На верхней консоли рамы размещена лебедка для поднятия горизонтальной балки с парусиной, а нижняя консоль рамы оснащена приводным барабаном для опускания парусины.

Первыми ветродвигателями, эффективно преобразующими энергию приповерхностных ветров малой скорости в энергию механического движения суден на водной поверхности, были паруса различной формы, в том числе треугольной.

С целью повышения эффективности использования энергии приземистых ветров малых скоростей разработана модель многолопастной ветротурбины с динамически изменяемой формой лопастей. Новизной предлагаемой ветротурбины является использование в качестве силовых элементов лопастей ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхностей, выполненных в виде треугольного гибкого паруса с подвижным концом. На рисунке 1 представлена схема работы ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей.



- 1 — лопасть ветротурбины с динамически изменяемой формой; 2, 3, 4 — каркас;
5 — регулируемое гибкое крепление подвижного конца лопасти, изготовленное из крепкой нити;
6 — направление ветра; 7 — направление вращения ветротурбины

Рисунок 1. Схема работы ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей

Ветротурбина работает следующим образом: под воздействием потока ветра треугольная лопасть ветротурбины, расположенная под углом к направлению движения ветра, испытывает

боковую силу давления и согласно законам аэродинамики толкает каркас, приводя его во вращательное движение. Появляющаяся сила является силой тяги лопасти. Она преобразует энергию ветра во вращательное движение ветротурбины. При изменении направления ветра на противоположное направление вращения оси предлагаемой авторами ветротурбины не изменяется (рис. 2).

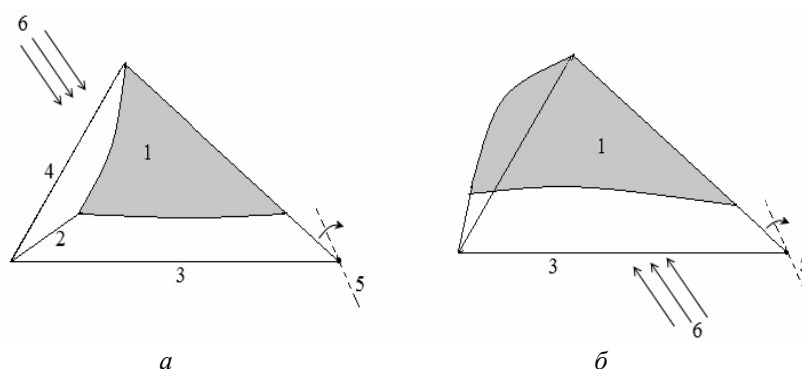


Рисунок 2. Схема работы лопасти ветротурбины при изменении направления ветра на противоположное

Как показано на рисунке 2, лопасть 1 с динамически изменяемой формой поверхности, выполненной в виде треугольного «паруса» с подвижным концом, при изменении направления ветра перекидывается в другую сторону вращающегося каркаса ветротурбины, тем самым обеспечивается сохранение первоначального направления вращения оси ветротурбины. На рисунке 2 приведены следующие обозначения: 1 — лопасть ветротурбины; 2 — гибкое крепление подвижного конца лопасти, изготовленное из капроновой (парашютной) нити; 3, 4 — стержни каркаса ветротурбины; 5 — ось вращения и изогнутая стрелка — направление вращения оси ветротурбины; 6 — стрелками показано направление ветра. Работа лопасти при прямом и обратном направлениях ветра обозначена буквами а и б соответственно.

Создана экспериментальная модель ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей. Модель ветротурбины состоит из ветроколеса, выполненного из металлических каркасных стержней; шести парусных лопастей треугольной формы из материала (шелк), один конец которого прикреплен к вершине каркаса прочной нитью; опорных стержней и подшипника с внутренним диаметром 8 мм. Модель прикреплена к стойке опорными стержнями. Диаметр парусного колеса составляет 400 мм. Модель парусного ветродвигателя с помощью шкива и ременной передачи соединена с генератором малой мощности 4 Вт для получения электрической энергии.



Рисунок 3. Модель ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей



Рисунок 4. Аэродинамическая труба Т-И-М

Выполнен ряд исследований по определению аэродинамических характеристик модели ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей. Все экспериментальные испытания по определению аэродинамических характеристик выполнялись с использованием аэродинамической трубы Т–I–М. На рисунке 4 показана аэродинамическая труба Т–I–М.

Силу лобового сопротивления и подъемную силу измеряли динамическими весами, установленными в рабочей части аэродинамической трубы. Установив на подвеску рабочей части аэродинамической трубы модель, приступают к измерению лобового сопротивления и подъемной силы при разных скоростях потока воздуха. При экспериментах модель ветротурбины обтекалась воздушным потоком различных скоростей. Модель ветротурбины парусного типа была установлена в рабочей части аэродинамической трубы Т–I–М. Пружинный динамометр был прикреплен к шкиву модели. С помощью пружинного динамометра измерялась сила тяги.

Условия проведения эксперимента:

- 1) скорость набегающего потока 3–10 м/с;
- 2) диаметр открытой рабочей части аэродинамической трубы 500 мм;
- 3) диаметр d шкива 120 мм.

На рисунке 5 представлена зависимость момента сил тяги от скоростей потока ветра при расположении модели ветротурбины при прямом направлении потока ветра (т.е. навстречу передней части ветроколеса).

На рисунке 6 представлена зависимость момента сил тяги от скоростей потока ветра при расположении модели ветродвигателя при противоположном направлении потока ветра относительно модели ветротурбины, т.е. с задней части ветроколеса.

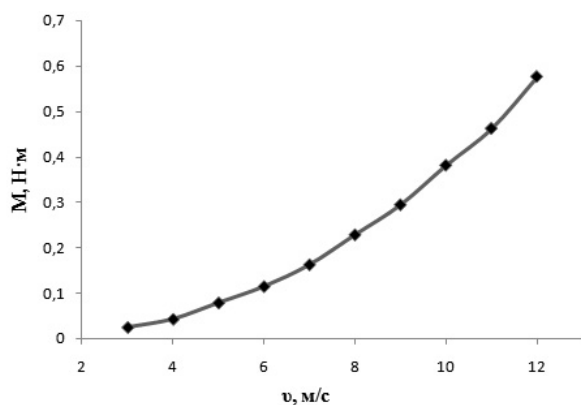


Рисунок 5. Зависимость момента сил тяги от скоростей потока ветра при расположении модели ветротурбины при прямом направлении потока ветра

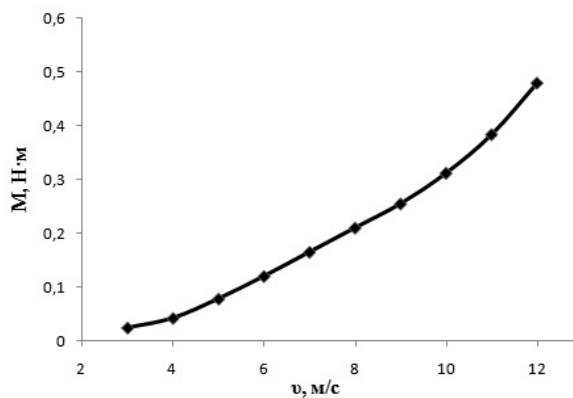


Рисунок 6. Зависимость момента сил тяги от скоростей потока ветра при расположении модели ветротурбины при противоположном направлении потока ветра

Из рисунков 5 и 6 видно, что при прямом направлении потока ветра на ветротурбину значение момента сил тяги выше, чем при противоположном. Это объясняется тем, что сзади ветродвигателя расположены рабочие элементы ветрогенератора: шкив, генератор, опорные стержни и т.д., которые мешают потоку ветра обдувать парусные лопасти модели и, тем самым, вращать его.

На рисунке 7 показана зависимость момента силы тяги от скорости потока ветра при различных углах атаки потока ветра (при различных углах расположения модели ветротурбины относительно направления потока ветра).

Из данного графика видно, что с увеличением скорости потока ветра растет значение момента силы тяги. На рисунке 8 представлен график зависимости момента силы тяги от угла атаки потока ветра при скорости потока 5 м/с.

Из графика 8 видно, что при увеличении угла атаки воздушного потока уменьшается значение момента силы тяги.

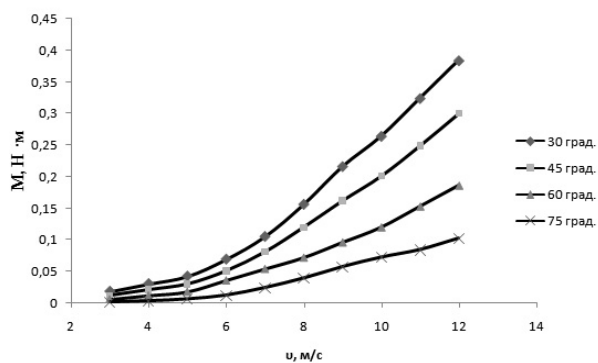


Рисунок 7. Зависимости момента сил тяги от скорости потока ветра при различных углах атаки потока ветра

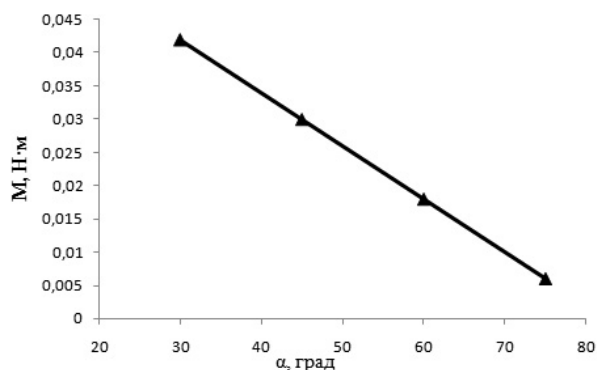


Рисунок 8. Зависимость момента сил тяги от угла атаки потока ветра при скорости потока ветра 5 м/с

Далее исследована зависимость лобового сопротивления модели ветротурбины от скорости воздушного потока (см. рис. 9) и от угла атаки воздушного потока при постоянных скоростях потока ветра 3 и 5 м/с (см. рис. 10).

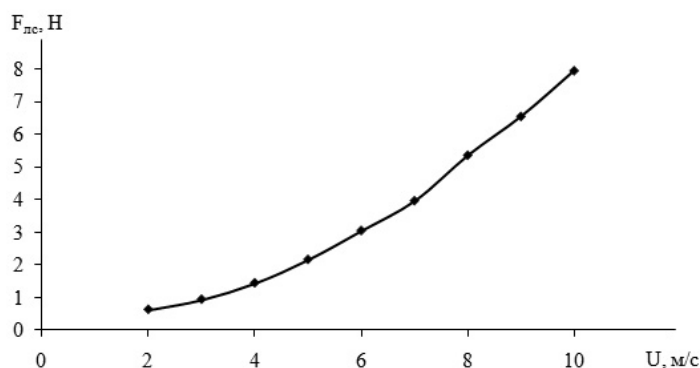


Рисунок 9. Зависимость силы лобового сопротивления модели ветротурбины от скорости воздушного потока

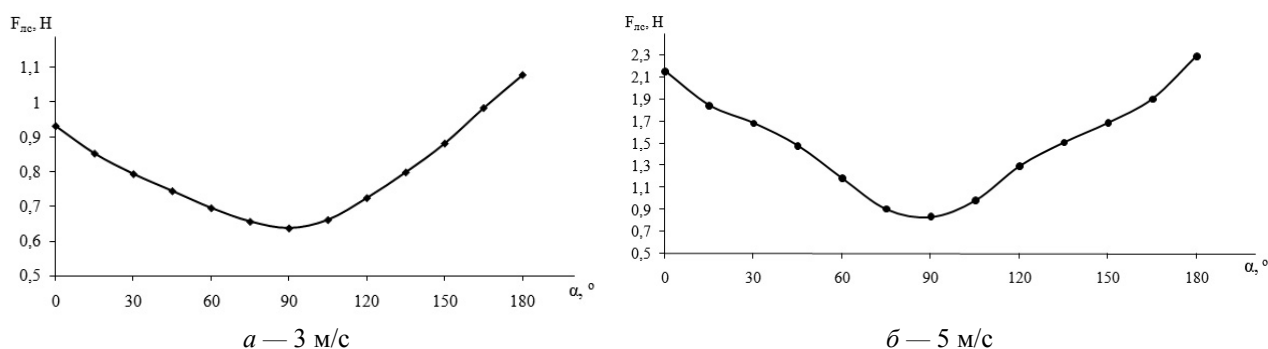


Рисунок 10. Зависимости силы лобового сопротивления от угла атаки воздушного потока при постоянной скорости потока ветра

Как видно из рисунка 9, при увеличении скорости воздушного потока увеличивается значение силы лобового сопротивления ветротурбины. Это объясняется тем, что при увеличении скорости воздушного потока увеличивается давление, действующее на поверхность каркаса, состоящего из парусных лопастей.

Из рисунка 10 видно, что при увеличении угла атаки воздушного потока до 90° уменьшается сила лобового сопротивления. Далее наблюдается его рост до 180°. Данную зависимость можно объяснить

тем, что при увеличении угла атаки потока ветра до 90° уменьшается площадь миделевого сечения ветроколеса, состоящего из парусных треугольных лопастей. При дальнейшем увеличении до 180° происходит увеличение площади миделевого сечения ветроколеса.

Таким образом, проведены экспериментальные исследования зависимости момента сил тяги лабораторного макета от скорости воздушного потока, при различных углах атаки, силы лобового сопротивления. В результате была разработана методика измерений аэродинамических характеристик ветротурбины парусного типа, которая будет использована в экспериментах с ветротурбиной реальных размеров в естественных условиях. Разработанная модель ветротурбины за счет саморегулируемой формы поверхности лопастей под действием прямого потока ветра и радиального потока при вращательном движении обладает оптимальными аэродинамическими характеристиками. Ветротурбина в потоке ветра является самоорганизованным устройством, эффективно преобразующим энергию ветра в энергию вращательного движения. Гибкость конструкции обеспечивает минимальность аэродинамических сопротивлений, а также приводит к росту коэффициента использования ветра. Сохраняется работоспособность в широком диапазоне изменения направления ветра. При этом изменение направления ветра на противоположное не изменяет направления вращения оси ветротурбины. Это также положительный эффект, приносящий удобство при эксплуатации.

Работа выполнена по бюджетной программе МОН РК 055 «Научная и/или научно-техническая деятельность», подпрограмма 101 «Грантовое финансирование научных исследований».

Список литературы

- 1 Боровой А.И. Парусный ветродвигатель. Пат. на изобретение. № 2132481, Россия, 1999.
- 2 Кашин Ю.А., Кашина Р.Е. Автономная ветроэнергетическая установка (АВЭУ) с максимальным уровнем конверсии энергии ветра. Математическая модель ветротурбины // Вестн. Гомельского гос. техн. ун-та им. П.О.Сухого. — 2004. — № 3. — С. 59–64.
- 3 Хозяинов Б.П. Определение мощности модели ветродвигателя с вертикальной осью вращения ветротурбины, оборудованной тремя лопастями типа «Колокол» // Альтернативная энергетика и экология. — 2010. — № 6. — С. 52–55.
- 4 Ретюнский Л.Б. Парусный ветродвигатель ретюнского. Пат. на изобретение. № 2362048, Россия, 2009, 19.12.2007.
- 5 Гушкин А.А. Парусный ветродвигатель. Пат. на изобретение № 2331794., Россия, 2008, 07.11.2006.

Қ.Құсайынов, Ж.Т.Қамбарова, М.М.Тұрғынов, Н.Н.Омаров, Г.А.Ранова

Беттік пішіні динамикалық өзгермелі қалақшалы жел турбинасы моделінің аэродинамикалық сипаттамаларын зерттеу

Мақалада беттік пішіні динамикалық өзгермелі қалақшалы жел турбинасының моделі ұсынылған. Беттік пішіні динамикалық өзгермелі қалақшалы жел турбинасының күштік элементтері ұшы қозғалмалы үшбұрыш желкен түрінде жасалған. Т–1–М аэродинамикалық құбырда жел турбинасының аэродинамикалық сипаттары анықталған. Жел турбинасы моделінің тарту күші моментінің және маңдайлық кедергі күшінің жел ағыны жылдамдығынан тәуелділіктері келтірілген. Жел турбинасы моделінің $3\div 5$ м/с аралығындағы аз жел жылдамдығында энергия өндіруге қабілеттілігі көрсетілген.

K.Kussaiynov, Zh.T.Kambarova, M.M.Turgunov, N.N.Omarov, G.A.Ranova

Research on aerodynamic characteristics of the wind turbine model with dynamic varying shape surface blades

In this paper, the model of the wind turbine with dynamic varying shape surface blades is represented. Power elements of the wind turbine blades with dynamic varying shape surface are designed as a flexible triangular sails with movable end. Aerodynamic characteristics of wind turbine model in the aerodynamic tunnel Т–1–М are determined. Dependences of the moment of thrust forces and forces of aerodynamic drag of the wind turbine model from velocity of wind at various angles of attack are shown. It is shown that the developed wind turbine model is able to produce electrical energy at small the wind velocity of the order of $3\div 5$ m/s.

References

- 1 Borovoj A.I. *Sailing wind turbine*, Patent. No. 2132481, Russia, 1999.
- 2 Kashin Yu.A., Kashina R.E. *Bulletin of P.O.Sukhoi Gomel State Technical University*, 2004, 3, p. 59–64.
- 3 Hozyainov B.P. *Alternative energetic and ecology*, 2010, 6, p. 52–55.
- 4 Retyunskiy L.B. *Retuinskih sailing windmill*. Patent. No. 2362048, Russia, 2009, 19.12.2007.
- 5 Gushkin A.A. *Sailing wind turbine*. Patent. No. 2331794, Russia, 2008, 07.11.2006.

Б.А.Жәутіков¹, А.А.Айкеева², Ф.Б.Жәутіков², П.А.Мұхтарова²

¹Х.Досмұхамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті;

²Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті
(E-mail: aikееva@mail.ru)

Электрмагниттік көтергіш қондырғысын жасау жолымен тау-кен массасын тасымалдау үшін энергия үнемдеу технологиясын енгізу

2003–2015 жылдардағы Қазақстан Республикасы Индустриалды-инновациялық стратегиясында және 2010–2014 жылдардағы Қазақстан Республикасы дамуының индустриалды-инновациялық форсирленген мемлекеттік бағдарламасында ескірген технология, техника және құрылғыларды соңғы ғылыми және инженерлік жетістіктермен жаңарту курсы қарастырылған. Тау-кен массасын терең горизонттардан жаңа шахталық және карьерлік машиналарсыз тиімді алу мүмкін емес. Сондықтан жаңа көтергіш қондырғыларды жасау тау-кен массасын көтерудің тиімді әдісі болып табылады. Жұмыстың негізгі идеясы скиптің көтеру және қозғалысы үшін электрмагниттік өрісті қолдануда жатыр. Қазіргі уақытта пайдаланылатын көтергіш машиналармен салыстырғанда, бұл көтергіш қондырғының жүк көтерімділігі артық, ал жұмсалатын электр энергиясы аз.

Кілт сөздер: тау-кен, машиналар, электрмагниттік өріс, көтергіш, қондырғы, үнемдеу технологиясы.

Стационарлық көтергіш қондырғылары шахтадан немесе карьерден пайдалы қазбаларды тасымалдау тізбегінде маңызды буын болып табылады. Бірақ өте ескірген, тиімділігі төмен шахталық көтергіш машиналарын қолдану пайдалы қазбаларының өзіндік құнының бірнеше рет өсуіне алып келді [1].

Кеніштер, шахталар мен карьерлердің жұмыс тиімділігі көбінесе жерасты көлігінің және көтергіш қондырғыларының сенімді жұмысымен анықталады, олар арқылы пайдалы қазбалар жоғарыға шығарылады, құрылғылар мен материалдардың жеткізілуі жүзеге асады.

Қазіргі кезде тау-кен өндіру өнеркәсібінде тау-кен массасын тасымалдау арқан арқылы көтергіш қондырғысымен жүзеге асады, ол көтергіш машинасынан, көтергіш түтікше (скип) жалғанған арқаннан тұрады, скип дінгекте бағытталған өткізгіш арқылы қозғалады [2]. Жоғары өнімді арқан арқылы көтергіш қондырғылары мен үлкен сыйымдылықты скиптарды қолданысқа енгізе бастағаннан кейін көтергіш кешеннің элементтерінің сенімділігі мен қолдану ұзақтығы төмендеді, ал көтергіш түтікшенің өткізуші және бағыттаушы құрылғылары қарқынды түрде механикалық ескіруде. Көтерудің басқа элементтерімен де апат жағдайлар жиілеп кетті, ол динамикалық жүктеменің жоғары деңгейімен түсіндіріледі. Осыдан көтергіш кешеннің элементтерін техникалық қызмет көрсету мен жөндеуге кететін материалдық және еңбек шығыны күрт өседі.

Шахталардан тау-кен массаларын көтеруге қажетті шығынның үздіксіз өсуіне байланысты, пайдалы қазбалардың өзіндік құны артады. Сонымен қатар терең шахталарда арқан арқылы көтергіш қондырғыларды қолдану мүмкіншілігі шектелген, ол, біріншіден, болат арқандардың беріктілігімен және техникалық, эксплуатациялық және экономикалық сипаттамаларының кемшіліктерімен түсіндіріледі.

Карьерлерде де транспорттың әдеттегі түрлері (теміржол, конвейер, автомобиль және арқанды скип) терең орындардан тау-кен массасын көтеру мәселесін көптеген техникалық, экономикалық, технологиялық және ұйымдастыру себептеріне байланысты экономика тұрғысынан, яғни тау-кен массасын тасымалдаудың өздік құнын төмендетуді, тиімді шешуге мүмкіндік бермейді.

Берілген мәселені шешу электрмагниттік көтергіш қондырғыны құруға алып келеді, оның көмегімен аса үлкен массаларды транспорттау мүмкін, яғни берілген технологиялармен салыстырғанда энергетикалық ресурстар аз жұмсалады [3–5].

Электрмагниттік көтергіш қондырғының жұмыс істеу принципі магниттік левитация құбылысында негізделген. Дүние жүзінде тау-кен массаны тасымалдау үшін магниттік левитация қолданылмаған, сондықтан бұл қондырғыны жасаумен бірге тасымалдаудың жаңа инновациялық технологиясы тау-кен өнеркәсібімен қатар басқа да салаларға енгізіледі (мысалы, құрылыста).

Магниттің техникалық қолданыс табуының себебі оның металл заттарды тарту мен ұстап тұру қабілетіне негізделген. Бұл қолданыста электрмагниттер, тұрақты магниттерге қарағанда, үлкен артықшылықтарға ие, себебі электрмагнит орамындағы ток күшінің өзгеруі оның көтергіш күшін реттеуге мүмкіндік береді. Магниттің металды тарту күші магнит пен металл арақашықтығы артқан сайын күрт азаяды. Магниттің көтеру күші деп магниттің оған жақын орналасқан металды ұстап тұру күшін айтамыз, яғни магниттің көтеру күші магниттен оған тартылып тұрған таза жұмсақ темірді ажыратуға кететін күшке тең [6].

Аса үлкен көтерудің күштік электрмагниттер техникада әр түрлі мақсатта қолданылады. Мысалы, электрмагниттік көтеру кранын металлургиялық, металл өңдеуші зауыттарда, темір ломдарды портта дайын өнімдерге ауыстыруда қолданылады.

Металл өңдеуші зауыттарда сонымен қатар магниттік үстелдері бар станоктар пайдаланылады, оған металл заттар күштік электромагниттің тартылуымен бекітіледі. Үстелде металл затты кез келген жағдайда бекіту үшін оны токқа қосу керек, ал оны босату үшін токтан ажыратамыз. Магниттік материалдарды магниттік емес материалдардан бөлу кезінде, мысалы, темір кендерін бос кендерден бөліп алу кезінде магниттік сепараторлар қолданылады, мұнда тазаланатын материал одан барлық магниттік бөлшектерді тартып алатын электромагниттердің күштік магнит өрісі арқылы өтеді. Соңғы жылдары полюстерінің ауданы үлкен қуатты электрмагниттер үдеткіштерді құрастыруда, яғни, электрлік зарядталған бөлшектер — электрондар мен протондар — аса үлкен жылдамдықпен қозғалысқа түсетін, сәйкесінше мың, миллион, миллиард электронвольт энергияға ие болатын арнайы құрылғылар жаңа және маңызды қолданысқа ие [7–10].

2009 жылы ресейлік ғалымдар «V»-түрдегі магниттік көтеруі бар магниттік левитация негізіндегі конвейерді ұсынды. Бұл конвейер тау-кен өнеркәсіп транспорттарында инновация болып табылады және бүгінгі күнге дейін сипаттамасы бойынша аналогы жоқ. АҚШ-та конвейерлі лентаның тұрақты магниттік көтеруі бар (US 7,422,100 B2) патент берілген [11].

Қазіргі уақытта магниттік левитация негізіндегі пойыздар бар, олар 400–500 км/сағ жылдамдыққа ие бола алады. Электрмагниттік көтергіш қондырғыларының негізі ретінде осы пойыздардың магниттік левитация негізіндегі жұмыс істеу принципін аламыз. Қазіргі уақытта пойыздардың магниттік көтеруінің 3 негізгі технологиясы бар: 1) аса жоғарғы өткізгішті магниттері бар (электродинамикалық көтеруі); 2) электрмагниттері бар (электрмагниттік көтеруі); 3) тұрақты магниттері бар; бұл жаңа және аз шығынды жүйе. Пойыз магниттердің аттас полюстерінің тебілуі және, керісінше, әр аттас полюстерінің тартылуы негізінде левитацияланады. Қозғалыс пойызда немесе жолда, немесе екі жақта орналасқан сызықты қозғалтқыш арқылы жүзеге асады. Біз көтергіш қондырғыны құрастырғанда электромагниттерді қолданамыз. Пойызды жобалау барысында ең үлкен мәселе болып қуатты магниттердің үлкен салмағы табылады, себебі массивті пойызды ауада ұстап тұру үшін күшті магнит өрісі қажет. Тау-кен массасын тасымалдау үшін үлкен жылдамдықтың қажет болмауынан және жүгі бар скиптың массасы пойыз массасына қарағанда аз болуына байланысты жүкті 10–20 м/с жылдамдықпен тасымалдауға мүмкіндік беретін тұрақты электрмагнитті жүйе құрастыруға болады, ол тау-кен және құрылыс өнеркәсіптерінде тасымалдау қажеттілігін қанағаттандырады [6; 12].

Қазіргі кезде магнитті левитацияға негізделген электрмагниттік көтергіш қондырғысын жобалау мен есептеу кезінде қолданатын қажетті жалпыланған теориялық және тәжірибелік зерттеулер жоқ.

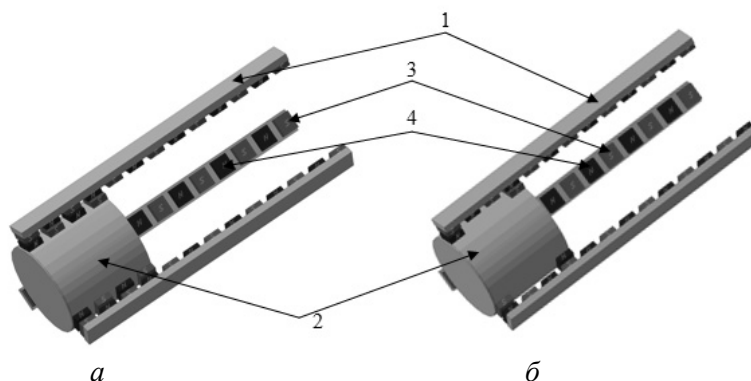
Ұсынылып отырған технологияның негізі болып скиптың арқансыз көтерілуі мен қозғалуына электрмагниттік өріс күшін (магнитті левитация) қолдану болып табылады.

Электрмагниттік көтергіш қондырғы көтергіш түтікшеден (скип), электрмагниттерден (немесе тұрақты магниттер) және бағыттаушы өткізгіштерден тұрады [13]. Электрмагниттік өзара әсерлесу күші әсерінен түтікше қозғалады. Скип пен бағыттаушы қондырғының арасында саңылау болғандықтан, үйкеліс болмайды, тек тежеуші күш болып аэродинамикалық кедергі ғана табылады.

Қазіргі таңдағы басқа көтергіш машиналарға карағанда бұл қондырғы электр энергиясы мен басқа энергетикалық ресурстардың аз шығыны кезінде үлкен жүк көтергіш қасиетіне ие, сондықтан бұл тасымалдау технологияны энергия үнемдеуші технологиялар қатарына жатқызуға болады.

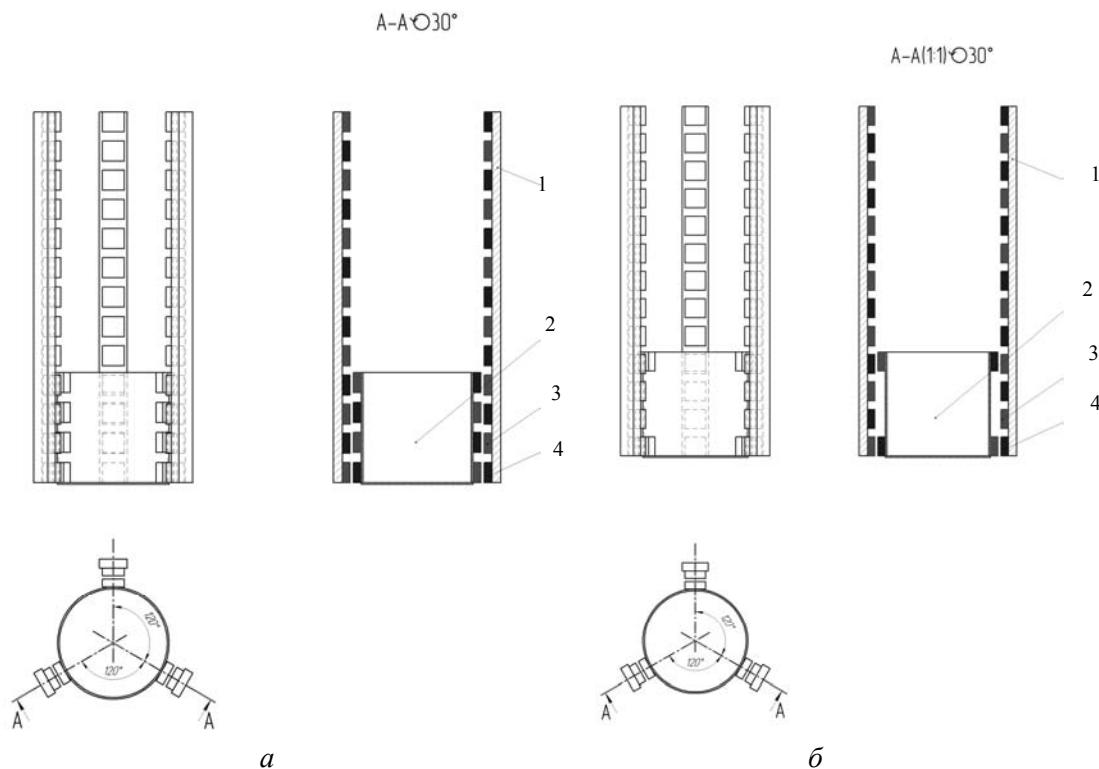
Ұсынылып отырған электрмагниттік көтергіш қондырғысының құрылымы 1–4 суреттерде көрсетілген. Қондырғының негізгі элементі бағыттаушы өткізгіштер (1), скип (2), электрмагниттер (3, 4). Қондырғы екі нұсқада жүзеге асады:

1. Скип цилиндр формасында жасалған (1, 2-сур.). Үш бағыттаушы өткізгіш (1) бір-біріне 120 градус бұрышпен орналасқан. Бағыттаушы өткізгіштің ұзындығы бойынша оңтүстік полюсі мен (S) (3) солтүстік полюсі (N) (4) кезектесе орналасқан электрмагниттері (3, 4) бар.



a — электрмагниттер скиптың биіктігі бойынша орналасқан; *б* — электрмагниттер скиптың төменгі және жоғарғы бөлігінде орналасқан; 1 — бағыттаушы өткізгіштер; 2 — скип; 3 — оңтүстік полюсі (S) электрмагнит; 4 — солтүстік полюсі (N) электрмагнит

1-сурет. Формасы цилиндрлы скипы бар электрмагниттік көтергіш қондырғы



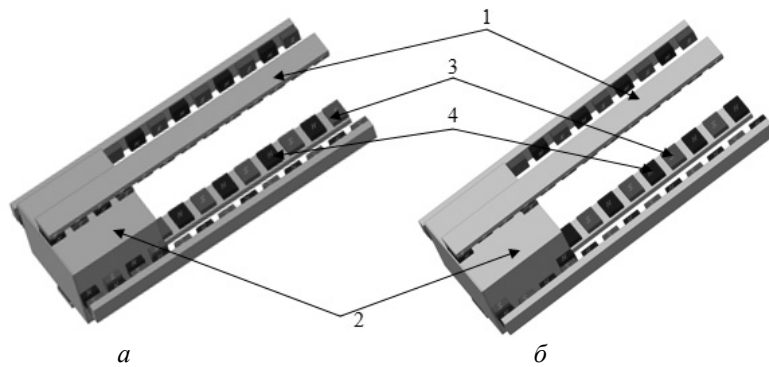
1 — бағыттаушы өткізгіштер; 2 — скип; 3 — оңтүстік полюсі (S) электрмагнит; 4 — солтүстік полюсі (N) электрмагнит

2-сурет. Формасы цилиндрлі скипы бар электрмагниттік көтергіш қондырғының сызбасы

Скипта оңтүстік полюсі (S) мен солтүстік полюсі (N) кезектескен электрмагниттер (немесе тұрақты магниттер) орналасқан (3, 4). Скиптағы электрмагниттер саны скиптың барлық биіктігі бойынша (1а, 2а-сур.) немесе скиптың жоғарғы және төменгі бөлігінде болуы мүмкін (1б, 2б-сур.).

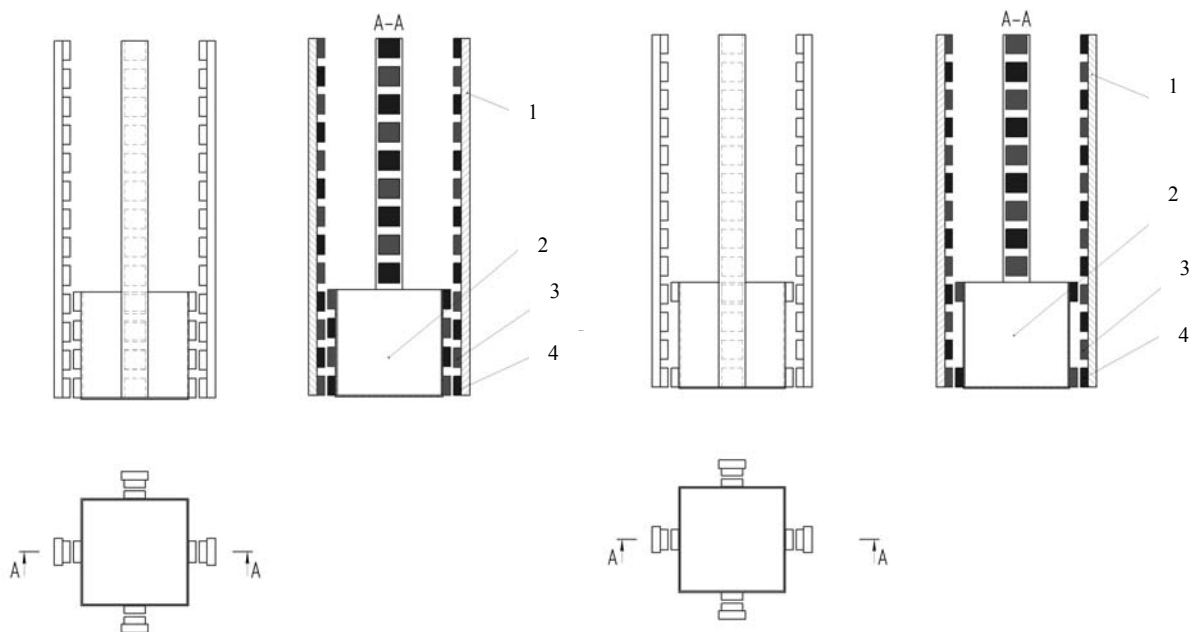
Электрмагниттер келесі түрде орналасқан, яғни өткізгіштегі және скиптағы электрмагниттің әр аттас полюстері тартылғанда, аттас полюстері тебіледі. Осыдан скип қозғалысқа келтіріледі. Скиптың қозғалыс жылдамдығы қоректену кернеуіне байланысты электрмагниттің электрмагниттік күшімен реттеледі. Бағыттаушы өткізгіштердің 120 градус бұрышпен орналасуы скиптың қозғалысын ортаға келтіруге мүмкіндік береді.

2. Скип параллелепипед формасында көрсетілген (3, 4-сур.).



а — электрмагниттер скиптың биіктігі бойынша орналасқан; б — электрмагниттер скиптың төменгі және жоғарғы бөлігінде орналасқан; 1 — бағыттаушы өткізгіштер; 2 — скип; 3 — оңтүстік полюсті (S) электрмагнит; 4 — солтүстік полюсті (N) электрмагнит

3-сурет. Формасы параллелепипед скипы бар электрмагниттік көтергіш кондырғы



1 — бағыттаушы өткізгіштер; 2 — скип; 3 — оңтүстік полюсті (S) электрмагнит; 4 — солтүстік полюсті (N) электрмагнит

4-сурет. Формасы параллелепипед скипы бар электрмагниттік көтергіш кондырғының сызбасы

Төрт бағыттаушы өткізгіштер скиптың бүйір жазықтықтарының центріне қатысты орналасқан. Бағытталған өткізгіштердің ұзындығы бойынша оңтүстік полюсі (S) (3) және солтүстік полюсі (N) (4) кезектелген электрмагниттер (3, 4) орналасқан. Скипта оңтүстік полюсі (S) мен солтүстік полюсі (N) кезектескен электрмагниттер (немесе тұрақты магниттер) орналасқан (3, 4). Скиптағы электрмагнит-

тер саны скиптың барлық биіктігі бойынша (3а, 4а-сур.) немесе скиптың жоғарғы және төменгі бөлігінде болуы мүмкін (3б, 4б-сур.).

Электрмагниттер келесі түрде орналасқан, яғни өткізгіштегі және скиптағы электрмагниттің әр аттас полюстері тартылғанда, аттас полюстері тебіледі. Осыдан скип қозғалысқа келтіріледі. Скиптың қозғалыс жылдамдығы қоректену кернеуіне байланысты электрмагниттің электрмагниттік күшімен реттеледі. Бағыттаушы өткізгіштердің 120 градус бұрышпен орналасуы скиптың қозғалысын ортаға келтіруге мүмкіндік береді.

Нарықтың шарты бойынша мемлекеттің бәсекеге қабілетті экономикасын құрастыру барысында тау-кен массасын тасымалдаудың өзіндік құнын азайту мәселесі, яғни пайдалы қазбалардың өзіндік құнын азайту, тек Қазақстанда ғана емес, барлық әлемде маңызды болып табылады.

Электрмагнитті қондырғыны құрастыру терең орналасқан жерлерден пайдалы қазбаларды алу-дың жоғарғы өнімділігі мен экономикалық тиімділік мәселесін шешуге мүмкіндік береді.

Пайдалы қазбаларды өндіру және өңдеу өнеркәсіптері аз энергия шығындау есебінен тау-кен массасын тасымалдауды модернизациялауды, жоғарғы өнімділікті, жылдамдықты, беріктілікті, қауіпсіздікті қамтамасыз етуді қажет етеді.

Тау-кен массасын тасымалдау үшін энергия үнемдеуші технологиясын құрастыру тау-кен өндіру өнеркәсібінің дамуына, оның жаңа деңгейге көтерілуіне, Қазақстанның ішкі нарығында да, әлемдік нарықта да бәсекеге қабілетті өнім алуға септігін тигізеді.

Мақала Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігінің грант бойынша қаржыландыру аясында орындалған зерттеу нәтижесінің негізінде «Пайдалы қазбаларды өңдеу технологиясы» басымдылығы бойынша «Электрмагнитті көтергіш қондырғысын жасау жолымен тау-кен массасын алудың энергия үнемдеу технологиясының өңделуі және жаңартылуы» тақырыбында жазылған.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Дроздова Т.Е. Теоретические основы прогрессивных технологий. — М.: МГОУ, 2001. — 212 с.
- 2 Стационарные установки шахт / Под общ. ред. Б.Ф.Братченко. — М.: Недра, 1977. — 440 с.
- 3 Knuth I. Electricische Maschinen mit geradliniger Bewegung und ihre technische Anwendung // Electro-Praktiker. — 1969. — № 1.
- 4 ELCUT — Моделирование двумерных полей методом конечных элементов: Руководство пользователя. Версия 4.2Т. Производственный кооператив ТОР, Санкт-Петербург. — 148 с.
- 5 FEMLAB User's Guide, Version: January 2004, FEMLAB 3.0
- 6 Мани Л. Транспорт, энергетика и будущее / Пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — С. 132–139.
- 7 Глебов И.А., Шулаков Н.В., Крутяков Е.А. Проблемы пуска сверхмощных синхронных машин. — Л.: Наука, 1988. — 197 с.
- 8 Свечарник Д.В. Линейный электропривод. — М.: Энергия, 1979. — 152 с.
- 9 Москаленко В.В. Электродвигатели специального назначения. — М.: Энергоиздат, 1981. — 104 с.
- 10 Петленко Б.И., Аипов Р.С. Линейный электропривод качающихся транспортирующих машин // Электричество. — 1992. — № 6. — С. 56–59.
- 11 United States Patent No.: US 7,422,100 B2.
- 12 Иванов-Смоленский А.В. Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах. — М.: Высш. шк., 1989. — 312 с.
- 13 Жаутиков Б.А., Айкеева А.А., Жаутиков Ф.Б., Мухтарова П.А. Электромагнитная подъемная установка (варианты) // Инновационный патент на изобретение № 27177 МЮ РК.

Б.А.Жаутиков, А.А.Айкеева, Ф.Б.Жаутиков, П.А.Мухтарова

Внедрение энергосберегающей технологии транспортировки горной массы путем создания электрмагнитной подъемной установки

В статье отмечено, что в Стратегии индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2003–2015 годы и в Государственной программе по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010–2014 годы предусмотрен курс на обновление устаревших технологий, техники и оборудования с учетом последних научных и инженерных дости-

жений. Авторы определяют, что решение проблемы транспортирования горной массы из глубоких горизонтов невозможно без создания новой шахтной и карьерной подъемной машины для более эффективного способа подъема горной массы. Идея авторов работы заключается в применении для подъема и движении скипа силу электромагнитного поля. В отличие от существующих подъемных машин, установка обладает большей грузоподъемностью при меньших затратах электроэнергии.

B.A.Zhautikov, A.A.Aikeyeva, F.B.Zhautikov, P.A.Mukhtarova

The introduction of energy-saving technology for transporting rock mass by creation electromagnetic hoisting installation

In light of the Strategy of Industrial and Innovation Development of Kazakhstan for 2003–2015 and the State program for accelerated industrial-innovative development of Kazakhstan for 2010–2014 years, which provides a course to upgrade outdated technology, machinery and equipment with the latest scientific and engineering achievements. The decision of problem of transportation of rock from the deep levels is impossible without the creation of a new mine and quarry hoisting machine for more efficient ways for lifting the rock mass. The idea of the given work is to use the power of an electromagnetic field (magnetic levitation) for lifting and moving the skip. In contrast to existing hosting machines, the installation has a greater capacity at lower cost electricity.

References

- 1 Drozdova T.E. *Theoretical bases of progressive technologies*, Moscow: MSOU, 2001, 212 p.
- 2 Stationary installations of mines, Gen. ed. by B.F.Bratchenko, Moscow: Nedra, 1977, 440 p.
- 3 Knuth I. *Electro-Praktiker*, 1969, 1.
- 4 *ELCUT — Modeling of two-dimensional fields by a method of final elements*, User's guide, version 4.2T, TORAHS production cooperative, St. Petersburg, 148 p.
- 5 *FEMLAB User's Guide*, Version: January 2004, FEMLAB 3.0.
- 6 Mani L. Transport, power and the future, Moscow: Mir, 1987, p. 132–139.
- 7 Glebov I.A., Shulakov N.V., Krutyakov Ye.A. *Problems of start-up of heavy-duty synchronous cars*, Leningrag: Nauka, 1988, 197 p.
- 8 Svechamnik D.V. *Linear electric drive*, Moscow: Energiya, 1979, 152 p.
- 9 Moskalenko V.V. *Electric motors of a special purpose*, Moscow: Energoizdat, 1981, 104 p.
- 10 Petlenko B.I., Aipov R.S. *Electricity*, 1992, 6, p. 56–59.
- 11 United States Patent No.: US 7,422,100 B2.
- 12 Ivanov-Smolenskiy A.V. *Electromagnetic forces and energy transformation in electric cars*, Moscow: Vysshaya shkola, 1989, 312 p.
- 13 Zhautikov B.A., Aikeyeva A.A., Zhautikov F.B., Mukhtarova P.A. *Electromagnetic lifting installation (options)*: Innovative patent for the invention No. 27177 of the MJ of RK.

V.A.Kolesnikov, V.M.Jurov, J.Z.Bajsagov

*Ye.A.Buketov Karaganda State University
(E-mail: kolesnikov.vladimir@gmail.com)*

Theoretical aspects of dynamic weighings

The paper discusses the theoretical aspects of the dynamic weighing by the conveyor scales. In the framework of the statistical equilibrium thermodynamics we obtain a formula that relates the parameters of the measuring system, the characteristics of the cargo and movement of the conveyor. Conditions are obtained for optimization of dynamic weighing. Considered the problem of weighing the particulate material. It is shown that the error in measuring the weight of the material proportional to the square of its porosity. The problems of thermodynamic constraints on the process of dynamic weighing are considered. It is shown that the energy cost information can not be arbitrarily small, even for arbitrarily large time (or bandwidth). The principal possibility of excluding the majority of the factors affecting the accuracy of the information-measuring systems for weighing on conveyors is shown.

Key words: thermodynamics, dynamic weighing, measuring system, scales, the conveyor, porosity, entropy, accuracy of measurement

Introduction

Currently in development, research and application of systems of measuring the weight of the material and its dosing has been a lot of design, engineering and industrial organizations [1, 2]. However, the necessary theory and techniques of engineering calculations are not well developed, and the fragmentation of information makes it difficult to choose the best solutions.

Static weighing of materials has reached a considerable accuracy and hardware implementation, while the dynamic weighing is still far from perfect. The reason for the latter is the large number of factors that affect in varying degrees, the measurement value of the dynamic weighing. Dynamic weighing is most often used when moving material on the conveyors. At present time scales of various modifications, such as overhead, LTM, etc. These scales are designed for continuous weighing of bulk materials transported by stationary conveyor belts. These meters have a number of significant weight disadvantages of a mechanical lever-weight systems. They are sensitive to shock and overload, pollution prisms, pillows, racks, gears and other components that are used to measure movement of the lever and the transmission systems to the transmitter. This also applies to the balance-spring measuring unit. If the weight of such systems being used under the weight portion of the weighing belt pulley, then turn it affects the accuracy of dosing.

Should be considered more sophisticated weight gauges that have weighing platform or roller bearing is fixedly mounted, and the weight is perceived tough weight sensor. Integral strain gauge weighing conveyor with continuous electronic strain-gauge produce at present in many countries of the world.

In this paper, we examine some of the fundamental aspects of dynamic weighing.

Thermodynamic aspects of dynamic weighing

The theory of measurements, as well as any physical theory, consists of two parts supplementing each other: principles of measurements of physical sizes; the laws connecting results with a condition of object and laws of change of a condition of object in the course of measurement [3–6].

Any measurement assumes interaction of investigated system with other physical system named the measuring device. Result of measurement, namely, result of interaction of the device with object of research is the information on properties of object.

Everyone (artificial or natural) system of co-operating objects can be considered as information system. Any part of set of co-operating objects (in particular, and one of objects) can be studied for the purpose of extraction of the information on other part of this set (in particular, about other separate object) as interaction provides conformity of conditions, i.e. reflexion, the information maintenance.

Any measurement — is irreversible, i.e. loss of a part of the information takes place. A measure of a missing part of the information is entropy.

Let's consider the conveyor with cargo in weight m on unit of its length, moving with a speed v , and with the strain gauge as the measuring device. The strain gauge we will consider as a subsystem of

noninteracting particles or a subsystem of the elementary raised conditions (ERC), connected to the thermostat (conveyor) at temperature T . If the subsystem with the thermostat exchanges only energy the ensemble of particles corresponding to it will be initial. The quantum transitions caused by interaction ERC with the thermostat, will be dissipative (with probability P) unlike interaction with an external field (with probability F). Dissipative processes lead to that a secondary field (the system response) always less primary, causing occurrence ERC (i.e. a signal).

For function of the response of the device in the course of its interaction with object we receive the formula [7] which, in is considered a case, looks like:

$$\eta = \frac{k^2 T}{2\Delta S} \cdot \frac{\tau}{\tau_p} \cdot \frac{E}{G^0} \cdot N, \quad (1)$$

where ΔS — entropy change in dissipative process (in the course of measurement); τ — relaxation time (time of operation of the device); τ_p — time of interaction of the conveyor with the device; E — full energy of the thermostat (the conveyor with cargo); G^0 — Gibb's energy of the thermostat; N — number ERC; T — temperature; k — Boltzman's constant. Size $k^2 N / \tau_p = \text{const}$.

Change of entropy of object in inverse proportion to quantity ΔI information on it [8], i.e.:

$$\Delta S = \frac{k \ln 2}{\Delta I}, \quad (2)$$

where $k \ln 2$ — a power equivalent of the information.

Then for response function we will receive expression:

$$\eta = C \cdot \frac{\tau T E}{G^0} \cdot \Delta I, \quad (3)$$

where $C = \text{const}$. Limiting value $\eta = 1$ and for this case it is had:

$$\Delta I = C_1 \cdot \frac{G^0}{\tau T (mv^2 / 2 + mgh)}, \quad (4)$$

where $C_1 = 1/C$, and E it is equal to the sum of kinetic and potential energy of the conveyor.

The quantity of the information ΔI is proportional to size of a signal from the strain gauge. Thus, indications of the measuring device depend on properties of cargo through G^0 , its temperatures and from parametres of movement of a conveyor tape in its speed v .

The Gibb's energy G^0 defines heterogeneity of environment, i.e. cargo, and in the elementary case is given by expression [9]:

$$G^0 = X_1 G_1^0 + X_2 G_2^0 + \dots = \sum_{i=1}^n X_i G_i^0, \quad (5)$$

where X_i — quantity i — that cargo components.

In case of change of structure of cargo on the conveyor, for example at the ore transportation, the arriving information will change proportionally ΔG^0 . At the big speed of movement of the conveyor the information size will decrease according to (4) and can lead to the big size of an error of measurement. In the same result results also big time of operation of the gauge and measuring system as a whole.

Parity performance will be a condition of optimum weighing on conveyor scales:

$$\Delta G^0 / \tau \upsilon m T \rightarrow \max. \quad (6)$$

As shown us in work [10], size G^0 is proportional to channel capacity of information-measuring system or a memory size of used processor W . Expression will be definitive a condition of optimisation of process of dynamic weighing on conveyor scales:

$$W / \tau \upsilon m T \rightarrow \max. \quad (7)$$

Porosity and consolidation of particles of cargo

Porosity of a material of cargo on the conveyor leads to an error in weight definition. We will result some characteristics of porous materials necessary for us at the further theoretical analysis of dynamic weighing. The detailed statement of the mentioned questions can be found in works [11–13]. In the same place the extensive bibliography is given.

Porosity P of a layer or briquette is equal shares from the general space, expressed in percentage which is not occupied by a granular material. Volume (or seeming) the density is equal to weight of particles in unit

of volume of a layer. The seeming volume V_a is equal to the volume of a layer occupied in individual true volume of particles. The consolidation factor is equal parts (share) of full volume of the layer, V_e occupied with a granular material V_p , i.e. is equal to the relation V_p/V_e . The porosity factor (or relative porosity) is equal $1 - V_p/V_e$.

Theoretically, in a layer consisting of one-dimensional spherical particles, the average size of a time will be equal to the size of the empty space formed at a single-layered chess arrangement of three spheres. Porous radius:

$$r = 0,154R, \tag{8}$$

where r — porous radius; R — particle radius.

Theoretical consolidation (packing) of spherical particles can be established proceeding from the same geometrical reasons which are used for definition of packing of ions in a crystal lattice. Data for five kinds of packing of one-dimensional spherical particles are resulted in table. It is necessary to mention, that irrespective of a packing kind, total porosity does not depend on diameter of particles. From table it is visible, that at spherical one-dimensional particles porosity and coordination number are closely interconnected.

T a b l e

Regular packing of one-dimensional spherical particles

Packing kind	Volume of porous	Coordination number
Cubic	47,64	6
Single chess	39,55	8
Double chess	30,16	10
Pyramidal	25,95	12
Tetraedrical	25,95	12

As follows from the table, this interrelation really exists only at the ordered packing. There is a possibility of achievement of some intermediate value of porosity between any two nearest kinds of packing by a correct arrangement of particles without change of coordination number. For example, when the coordination number is equal six (as in case of the ordered cubic packing), can vary porosity of a layer from 47,6 to 39,5 %. Thus, correlation between coordination number and porosity appears not so rigid as it is usually considered to be.

Packing (consolidation) of one-dimensional spherical particles does not allow to receive absolutely nonporous a layer, the minimum porosity in such system, caused by packing, there can be not more low approximately 26 %. Cargo on the conveyor can have distribution on the sizes of particles and a time in enough wide area. However in technological processes aspire to make a cargo stream more homogeneous, applying crushing, then a sieve and other adaptations. Special value in the sizes has distribution of particles at dispensing of granular materials [14].

Here we will consider model of consolidation of particles of cargo, partially using the approach stated by us in work [15].

Let's consider the sample with number of particles m . Let distance between particles equally and equally R . We will describe round each particle 0 sphere in radius R . Let the density of number of particles is equal in this sphere n_0 then (r) that the nearest particle is on distance r from a particle 0, it is easy to receive probability W_0 from the classical statistical physics and it is equal:

$$W_0(r) = 4\pi n_0 r^3 \exp[-4\pi n_0 r^3 / 3]. \tag{9}$$

The probability of finding N_0 of particles r is equal in a zone of a particle in 0 radius, obviously,

$$W_{N_0}(r) = \prod_{k=1}^{N_0} W_k(r) = (4\pi n_0)^{N_0} r^{3N_0} \exp[-4\pi N_0 n_0 r^3 / 3]. \tag{10}$$

Probability (10) we will define on the other hand as the relation of number of particles N_0 in a zone of a particle 0 to the general number of particles in the allocated sphere — $Q_0 = 4/3 \pi n_0 R^3$:

$$p_0 = \frac{N_0}{Q_0} = (4\pi n_0)^{N_0} r^{3N_0} \exp[-4\pi n_0 r^3 / 3]. \tag{11}$$

The left border corresponds to extremely irreversible realisation of transient, and right — to its optimum delay. The following is necessary to rebuke. Really, as it follows from (7), transient delay (i.e. at increase τ), a measurement error decreases. However in practice such way is unacceptable and, on the contrary, modern and future information-measuring systems should possess the big speed for transfer of the big file of the information.

On the other hand, effect of negentropy (effect of ordering in system, $\Delta K = -\Delta S$), according to [8]:

$$\Delta K \approx \ln(1/\Delta) \approx \ln\sqrt{U/T} \approx \Delta I, \quad (20)$$

where ΔI — the quantity of the information received in the course of measurement.

Thus, efficiency of entropy of information-measuring process

$$\eta \leq \eta_{\max} = \frac{1}{2} \frac{\Delta K}{\Delta S_{\min}} = \frac{\Delta}{4} \ln \frac{1}{\Delta} \ll 1, \quad \Delta \ll 1. \quad (21)$$

Let's notice, that the effect of negentropy in information-measuring system is by all means connected with managerial process. In the course of measurement the effect of negentropy appears only when the result of measurement is presented in the form of scalar physical size. Only such measurement, which result it is presented in the form of scalar physical size, can be used as a managerial process stage.

Processes of transfer, storage and information processing are not connected directly with effect of negentropy, and only with carrying over of the information from one place in another, duplication and its transformation.

Therefore at these stages it is possible to achieve considerable economy of energy if to refuse from scalar and to pass to item representation of numbers (only at last stage of management it is necessary to return again to scalar representation of the operating parametre).

Let's underline, that all known ways of reduction of the power price of accuracy of representation of numbers are by all means connected with time increase (see the formula (7)). Time increase, however, reduces power expenses only to certain limits. Though these limits are various for different information processes, but are always final. The power price of the information cannot be as much as small even at as much as big resources of time (a strip of frequencies).

At measurement transition from dependence $\Delta S \sim 1/\Delta^2$ to $\Delta S \sim 1/\Delta$ is connected with optimum (in $1/\Delta$ time) transient delay.

At unequivocal transformation of scalar size in vector each component of last demands essentially smaller accuracy of representation — in a limit it can appear sufficient to distinguish only its two conditions: presence or absence of a signal. Though with increase in quantity of components (dimension of vector space) requirements to reliability $1/w$ (i.e. probabilities w of transition of a signal in any of components in other interval of digitization), the power price of accuracy of representation of all number decreases.

At the expense of refusal of scalar representation and transition to vector it is possible to receive dependences [8]: $\Delta S \sim [\ln(1/\Delta)]^2$ at a digit way of coding when time $\Delta\tau$ or a strip of frequencies increases in $\ln(1/\Delta)$ time; $\Delta S \sim \ln(1/\Delta)$ — at one-item coding, when $\Delta\tau \sim 1/\Delta$.

Asymptotic the best (in sense of product $\Delta S \Delta\tau$) is superfluous coding on Shannon, using digit representation with additional (verifying) categories: here the increase in dimension of vector space allows to find out and correct errors of some frequency rate, that lowers requirements to probability p of distortion (and to the relation a signal/noise) in one category. It is thus reached $\Delta S \sim \ln(1/\Delta)$ with simultaneous growth of time only in $\ln(1/\Delta)$ time.

The conclusion

The majority of domestic and foreign conveyor scales, at all class of accuracy of a data-acquisition equipment do not provide the declared accuracy of weighing. It is caused, basically, impossibility of the account of some factors, such as, for example, geometry and speed of the conveyor, humidity and dispersion of a material of cargo, quality of a tape, variable force of a friction of rollers in support and their palpation, and variety of others.

In present article by us basic possibility of the account of the majority of the factors influencing accuracy of information-measuring system for weighing on conveyors is shown.

Work is executed under the program of the Ministry of science and education of Republic Kazakhstan 055 «Scientific and/or scientific and technical activity», the subroutine 101 «Grant financing of scientific researches».

References

- 1 Лотков Н.А., Полухин А.И., Тантлевский А.В., Черных В.Д. Весоизмерительное оборудование: Справочник. — М.: Агропромиздат, 1989. — 240 с.
- 2 Катрюк И.С. Машины непрерывного транспорта. Конструкции, проектирование и эксплуатация. — Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. — 266 с.
- 3 Мурашкина Т.И., Мещеряков В.А., Бадеева Е.А. и др. Теория измерений. — М.: Высш. шк., 2007. — 78 с.
- 4 Романов В.Н. Теория измерений. Методы обработки результатов измерений. — СПб.: СЗТУ, 2006. — 127 с.
- 5 Иванов Ю.П., Бирюков Б.Л. Информационно-статистическая теория измерений. Модели сигналов и анализ точности систем. — СПб: СПГУАП, 2008. — 160 с.
- 6 Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Ч. 1. Общая теория измерений. — СПб.: Питер, 2010. — 192 с.
- 7 Колесников В.А., Юров В.М. Перспективы проектирования и создания отечественных информационно-измерительных систем // Научное обозрение. — 2013. — № 4. — С. 151–156.
- 8 Поплавский Р.П. Термодинамика информационных процессов. — М.: Наука, 1981. — 255 с.
- 9 Вуд Б.Д., Фрейзер Д.Г. Основы термодинамики для геологов. — М.: Мир, 1981. — 184 с.
- 10 Колесников В.А., Юров В.М. Некоторые аспекты метода аналогий в проектировании информационно-измерительных систем // Современные проблемы науки и образования. Электронный журнал. — 2013. — № 2.
- 11 Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. — Новосибирск: Наука, 1999. — 470 с.
- 12 Шестаков Н.А., Демин В.А., Субич В.Н. Уплотнение, консолидация и разрушение пористых материалов. — М.: Физматлит, 2009. — 265 с.
- 13 Коваленко И.С., Смолин А.Ю., Коростелев С.Ю., Псахье С.Г. О зависимости макроскопических упругих свойств пористых сред от параметров стохастического пространственного распределения пор // ЖТФ. — 2009. — Т. 79, Вып. 5. — С. 155–158.
- 14 Перишина С.В., Катыльмов А.В., Однолько В.Г., Першин В.Ф. Весовое дозирование зернистых материалов. — М.: Машиностроение, 2009. — 258 с.
- 15 Юров В.М. Запасание энергии в диэлектриках при облучении ионизирующей радиацией // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. Физика. — 2008. — № 3(51). — С. 35–43.

В.А.Колесников, В.М.Юров, Я.Ж.Байсағов

Үдемелі өлшеудің теориялық жақтары

Мақалада конвейерлік таразыда динамикалық өлшеудің термодинамикалық жақтары қарастырылған. Авторлар ойлап тапқан салмақ өлшеу кешенінің құрылымын сипатталған. Тепе-теңдіксіз статистикалық термодинамика шеңберінде өлшенетін дабыл шамасы мен өлшенетін жүктің күйі, конвейердің қозғалу параметрлері және өлшеу жүйесінің тез әрекет ету қабілеті арасында байланысы анықталған. Конвейердің сусымалы материалдарды салмақтау ақпараттық-өлшеу жүйесінің құрамына енетін әмбебап хабар таратушысының жұмыс алгоритмі мен блок-сұлбасы келтірілген. Конвейерлік таразының құрамына енетін аналогтық-цифрлық түрлендіргіштің тұжырымдамасы жасалған.

В.А.Колесников, В.М.Юров, Я.Ж.Байсагов

Теоретические аспекты динамического взвешивания

В работе рассмотрены теоретические аспекты процесса динамического взвешивания на конвейерных весах. В рамках статистической неравновесной термодинамики получена формула, связывающая параметры измерительной системы, характеристики груза и движения конвейера. Определены условия оптимизации процесса динамического взвешивания. Рассмотрена задача о взвешивании дисперсного материала. Показано, что погрешность измерения веса материала пропорциональна квадрату его пористости. Рассмотрены вопросы термодинамических ограничений на процесс динамического взвешивания. Показано, что энергетическая цена информации не может быть сколь угодно малой даже при сколь угодно больших ресурсах времени (полосы частот). Показана принципиальная возможность учета большинства факторов, влияющих на точность информационно-измерительной системы для взвешивания на конвейерах.

References

- 1 Lotkov N.A., Poluhin A.I., Tantlevskij A.V., Ghernych V.D. *The equipment for weight measurement: the Directory*, Moscow: Agropromizdat, 1989, 240 p.
- 2 Kattrjuk I.S. *Cars of continuous transport. Designs, designing and operation*, Krasnoyarsk: IPC KGTU, 2006, 266 p.
- 3 Murashkina T.I., Meshcherjakov V.A., Badeeva E.A. et al. *The theory of measurements*, Moscow: Vysshaya shkola, 2007, 78 p.
- 4 Romanov V.N. *The theory of measurements. Methods of processing of results of measurements*, St. Petersburg: SZTU, 2006, 127 p.
- 5 Ivanov Yu.P., Biryukov B.L. *The information-statistical theory of measurements. Models of signals and the analysis of accuracy of systems*, St. Petersburg: SPGUAP, 2008, 160 p.
- 6 Shishkin I.F. *Theoretical metrology, part 1, The general theory of measurements*, St. Petersburg: Peter, 2010, 192 p.
- 7 Kolesnikov V.A., Yurov V.M. *Scientific review*, 2013, 4, p. 151–156.
- 8 Poplavsky R.P. *Thermodynamics of information processes*, Moscow: Nauka, 1981, 255 p.
- 9 Wud B.D., Fraser D.G. *Bases of thermodynamics for geologists*, Moscow: Mir, 1981, 184 p.
- 10 Kolesnikov V.A., Yurov V.M. *Modern problems of science and education: Electronic magazine*, 2013, 2.
- 11 Karnauhov A.P. *Adsorption. A structure of disperse and porous materials*, Novosibirsk: Nauka, 1999, 470 p.
- 12 Shestakov N.A., Dyomin V.A., Subich V.N. *Consolidation, consolidation and destruction of porous materials*, Moscow: Fizmatlit, 2009, 265 p.
- 13 Kovalenko I.S., Smolin A.J., Korostelev S.J., Psahje S.G. *JTF*, 2009, 79(5), p. 155–158.
- 14 Pershina S.V., Katalymov A.V., Odnolko V.G., Pershin V.F. *Weight dispensing of granular materials*, Moscow: Mashinostroeniye, 2009, 258 p.
- 15 Yurov V.M. *Bulletin of Karaganda University, Physics Series*, 2008, 3(51), p. 35–43.

К.Кусаиынов, Г.К.Алпысова, Е.Т.Танашев, А.Б.Толынбеков, Н.К.Танашева

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: gulnur-0909@mail.ru)*

Исследование воздействия пластификаторов на свойства водоугольного топлива

В статье приведены результаты исследования воздействия пластификаторов на стабильность водоугольных суспензий, полученных из шламов шубаркульских углей. В рамках поставленной задачи по определению оптимального реагента-пластификатора разработана экспериментальная установка. В качестве реагентов-пластификаторов были применены мазут, желатин, гумат натрия. Изучен процесс обогащения угольных шламов Шубаркульского месторождения, показано, что наилучшие результаты получены при использовании гумата натрия. Отмечено, что применение гумата натрия как пластификатора позволяет создать водоугольные суспензии с пространственной сетчатой структурой, не расслаивающиеся в течение длительного времени.

Ключевые слова: электрогидроимпульсная установка, шубаркульский уголь, водоугольное топливо, реагент-пластификатор, ультразвуковой диспергатор.

В первой половине XXI в. прогнозируется повышение роли угля в энергетике, что обусловлено его крупными запасами и истощением запасов нефти и газа. В то же время экологические проблемы, возникающие при использовании угольного топлива, требуют разработки и внедрения новых эффективных с экономической и экологической точек зрения угольных технологий, которые обеспечат существенный экологический эффект с максимально высокой полнотой использования добытого топлива. Вокруг многих угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий в гидроотвалах и отстойниках скапливается большое количество добываемого угля, представленного в виде тонкодисперсных угольных шламов, перевод которых в технологически приемлемое топливо позволит не только улучшить экологическую обстановку в регионах, но и получить существенный экономический эффект.

Промышленные запасы угля Шубаркульского предприятия составляют 664 млн т, что при проектной годовой производственной мощности 6 млн т определяет срок эксплуатации предприятия более 100 лет. Перспективным направлением деятельности АО «Шубаркуль комир» является глубокая переработка угля. Научными исследованиями установлено, что уголь Шубаркульского месторождения является уникальным сырьем для получения синтетического жидкого топлива и ряда тяжелых углеводородов, гуматов — органических удобрений, углещелочного реагента для нефтяной промышленности, связующих широкого назначения, коагулянтов для очистки промышленных и сточных вод. С наличием такого долговременного запаса угля актуальной является проблема эффективной переработки шламов (с переводом в жидкое состояние), которые в большом количестве образуются при промышленной разработке основной массы углей.

В связи с этим становится актуальным использование шламов в виде водоугольных суспензий (ВУС), разработка эффективных процессов получения и применения которых должна базироваться на научно обоснованных процессах физического и физико-химического воздействия на исходный уголь с учетом свойств его органической и минеральной составляющих [1].

Водоугольные суспензии — это смеси измельченного угля с водой. Для придания суспензии свойств стабильности и необходимой текучести в суспензию вводится небольшое количество реагента-пластификатора. В результате образуется искусственная дисперсная система, представляющая новый вид топлива из угля — водоугольное топливо (ВУТ).

Преимущества водоугольных суспензий как экологически чистого топлива состоят в следующем:

- предотвращение взрывов и пожаробезопасность во всех технологических операциях (приготовление, транспортирование, хранение и использование);
- отсутствие пыли и загрязнений при хранении и транспортировании;
- снижение вредных выбросов оксидов азота, углерода и серы в атмосферу при сжигании.

Кроме того, водоугольные суспензии обеспечивают сохранность технологических свойств при хранении и транспортировании.

Вместе с тем снижение добычи нефти, газа и повышение их цен на мировом и внутреннем рынках в последние годы вызвало интерес к водоугольному топливу — реальной альтернативе жидким и газообразным органическим видам топлива.

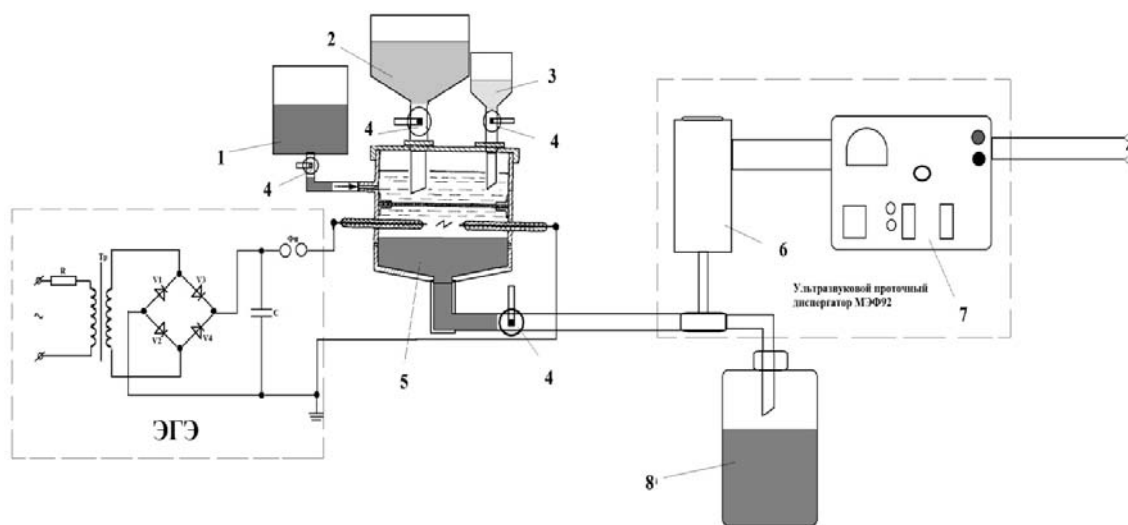
Основными проблемами на пути к расширенному применению водоугольных топлив являются: низкие показатели стабильности основных технологических характеристик, высокая зольность исходного сырья, низкая эффективность известных реагентов — пластификаторов и стабилизаторов.

Сущность процессов подготовки шламов шубаркульских углей к использованию в водоугольных суспензиях заключается в их электрогидроимпульсной (ЭГИ) обработке и дальнейшем обогащении по методу ультразвуковой (УЗИ) агломерации (так как другие методы обогащения не приемлемы ввиду низкой селективности этих процессов при обогащении из-за тонкодисперсного состояния угольных частиц).

Для измельчения частиц шламов каменных углей Шубаркульского месторождения и получения тонко измельченных фракций заданных размеров используются электрические разряды в жидкости, являющиеся источником ударных волн. Ударные волны, распространяясь в среде жидкость–твердые угольные частицы разрушают и измельчают обрабатываемые угли до мелких фракций, необходимых для получения водоугольного топлива.

С целью подбора наиболее эффективных пластификаторов для водоугольных суспензий, приготовленных из угольных шламов, было изучено влияние следующих пластификаторов: желатин, мазут, гумат натрия, полученный из угля. Данные реагенты удовлетворяют требованиям, предъявляемым к реагентам-пластификаторам, и легкодоступны. Эффективность действия данных добавок обусловлена их физико-химическими свойствами, особенностью их строения, состоящего из углеводородных, ароматических, карбоксильных, гидроксильных и других групп [2].

Для проведения экспериментальных работ по получению водоугольного топлива в лаборатории физики импульсных явлений в гетерогенных средах кафедры инженерной теплофизики им. профессора Ж.С.Акылбаева была собрана электрогидроимпульсная установка с ультразвуковым проточным диспергатором (рис. 1).



1 — резервуар для воды; 2 — емкость для угля; 3 — бак для реагента-пластификатора;
4 — клапан для регулирования; 5 — рабочая ячейка с двумя противоположными электродами,
6 — ультразвуковой проточный преобразователь; 7 — блок управления диспергатора; 8 — бак с ВУТ

Рисунок 1. Принципиальная схема электрогидроимпульсной установки с ультразвуковым проточным диспергатором

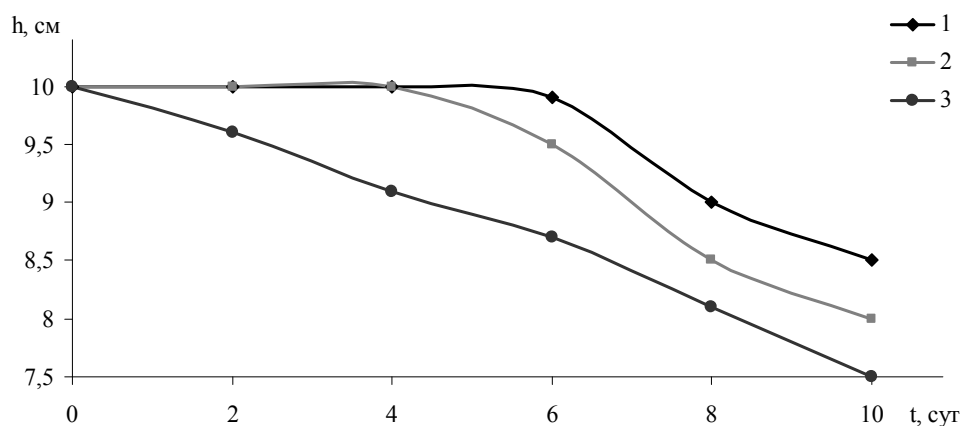
Для создания электрогидравлических ударов собрана схема, включающая источник питания с конденсатором в качестве накопителя электрической энергии. Напряжение на конденсаторе повышается до значения, при котором происходит самопроизвольный пробой воздушного формирующего промежутка, и вся энергия, запасенная в конденсаторе, мгновенно поступает на рабочий промежуток жидкости, где и выделяется в виде краткого электрического импульса большой мощности. Далее

процесс при заданных емкости и напряжении повторяется с частотой, зависящей от мощности питающего трансформатора и электрофизических характеристик среды в межэлектродном промежутке [3].

Установка работает следующим образом: подготовленные угольные шламы направлялись в рабочую ячейку, где происходил подводный электрический взрыв в присутствии пластификатора. Полученная в результате ЭГИ обработки водоугольная суспензия направлялась на установку обогащения, принцип действия которой основывался на методе ультразвуковой агломерации. Ультразвуковой диспергатор состоит из проточного преобразователя и блока управления. Диспергатор выполняет функцию дополнительного дробления, где и образуется химическая связь между компонентами полученной суспензии. Полученное топливо сливается в бак.

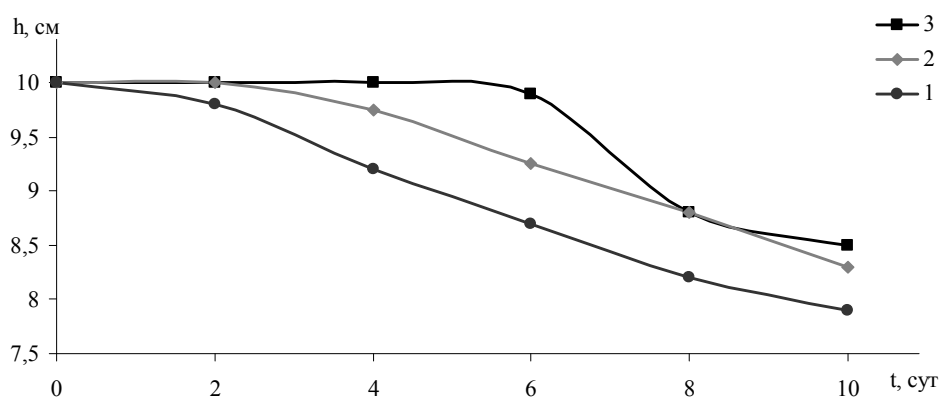
В результате выполненных исследований по обогащению были получены графические зависимости, которые представлены на рисунках 2–4. Подобраны органические соединения и технология дозированного добавления найденных соединений в массу водоугольного топлива. Исследован процесс формирования пространственной структуры водоугольных суспензий, изучены их реологические свойства, установлено, что стабильность водоугольных суспензий, полученных на основе концентратов, определяется физико-химическими свойствами пластификаторов. Следует отметить, что суспензии в присутствии добавок обладают и хорошей текучестью.

Из графика видно (рис. 2), что при добавлении мазута в количестве 1 % водоугольная суспензия обладала стабильностью в течение длительного времени.



1 — 1 % к массе угля; 2 — 0,5 % к массе угля; 3 — 2,0 % к массе угля

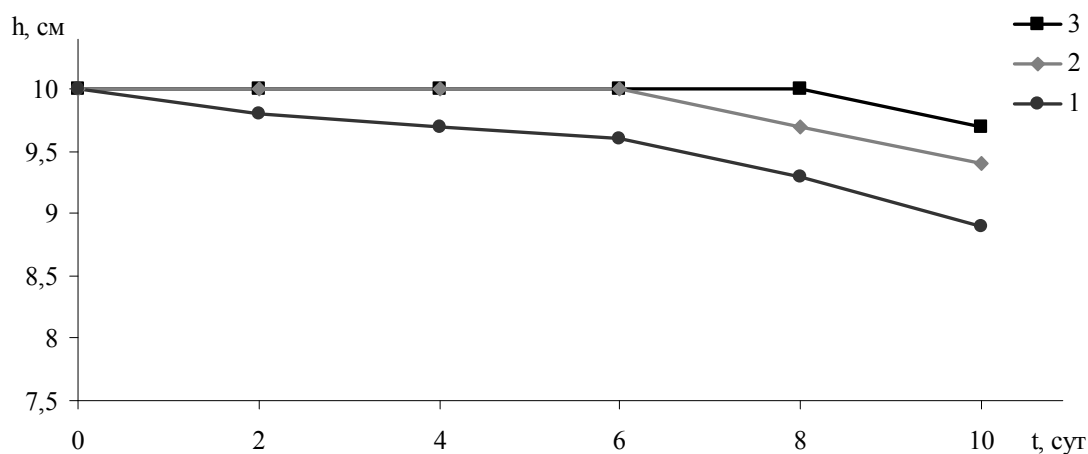
Рисунок 2. Зависимость высоты слоя дисперсной фазы от времени (суспензии с добавками мазута различного количества)



1 — 0,5 % к массе угля; 2 — 1,0 % к массе угля; 3 — 2,0 % к массе угля

Рисунок 3. Зависимость высоты слоя дисперсной фазы от времени (суспензии с добавками желатина различного количества)

Суспензии с добавкой желатина (рис. 3) от 2 % к массе угля обладали стабильностью в течение длительного времени, однако при уменьшении содержания желатина менее 1,0 % к массе Шубаркульского угля происходит заметное снижение стабильности суспензий.



1 — 0,5 % к массе угля; 2 — 2,0 % к массе угля; 3 — 1,0 % к массе угля

Рисунок 4. Зависимость высоты слоя дисперсной фазы от времени (суспензии с добавками гумата натрия различного количества)

Применение в качестве стабилизатора гуминового препарата (гумата натрия) (рис. 4) позволило получить стабильную водоугольную суспензию со стабильными, практически не изменяющимися во времени свойствами. Стабильность водоугольных суспензий была максимальной при использовании от 1 % гумата натрия и выше по отношению к массе угля.

После весьма длительного хранения водоугольные суспензии уплотнялись, с образованием рыхлых осадков. При применении механического воздействия (перемешивания) происходило восстановление первоначальной структуры суспензии.

На основе полученных экспериментальных данных разработана система математических уравнений, позволяющая расчетным путем вычислить интегральную и дифференциальную функции распределения частиц по размерам, краевой угол смачивания и смоченный периметр угольных частиц пластификатора, время, необходимое на проведение процесса ультразвуковой обработки, которые являются исходными данными для расчета и выбора технологического оборудования и оптимизации процесса обогащения в целом.

Из полученных данных видно, что наилучшей стабильностью обладают суспензии с добавкой гумата натрия. В связи с требованиями к водоугольным суспензиям, предназначенным к прямому сжиганию в котлоагрегатах, было весьма важным определить вязкость полученных водоугольных суспензий, по значениям которой можно было делать выводы об их текучести. Добавление стабилизатора — гумата натрия в количестве 1 % от массы углемазутных гранул — обусловлено тем, что при этом расходе водоугольное топливо обладает лучшей стабильностью. Установлено, что стабильность водоугольных суспензий, полученных на основе углемасляных концентратов, определяется физико-химическими свойствами реагентов-пластификаторов.

Список литературы

- 1 Уилсон К.Л. Уголь — «мост в будущее». — М.: Недра, 1985.
- 2 Папин А.В. Физико-химические изменения углей при измельчении в жидких средах // Молодые ученые Кузбассу: Материалы конф. — Кемерово, 2003. — С. 257–258.
- 3 Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. — Л.: Машиностроение, 1986. — 253 с.

Қ.Құсайынов, Г.К.Алпысова, Е.Т.Танашев, А.Б.Толынбеков, Н.К.Танашева

Көмір сулы отын қасиеттеріне пластификаторлардың әсерін зерттеу

Мақалада пластификаторлардың Шұбаркөл көмірінен алынған көмір сулы суспензияның тұрақтылығына әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Оңтайлы реагент-пластификаторды алуға байланысты қойылған міндеттер аясында тәжірибелік қондырғы құрастырылды. Реагент-пластификаторлар ретінде мазут, желатин және натрий гуматы қолданылды. Шұбаркөл кен орнының көмір қалдықтарын қайта өңдеу үрдісі зерттелді, ең жақсы нәтиже натрий гуматын қолданғанда алынды. Гумат натрийды пластификатор ретінде қолдану арқылы кеңістігі тор тәріздес құрылымы бар және ұзақ уақыт тұнбайтын көмір сулы суспензия алуға болады.

K.Kusaiynov, G.K.Alpysova, E.T.Tanashev, A.B.Tolynbekov, N.K.Tanasheva

Research on the impact of plasticizers on the properties of water-coal fuel

In the article the results of research of the impact of plasticizers on the stability of water-coal suspension obtained from sludge Shubarkol coals. Within the framework of the set problem on determination of optimal reagent-plasticizer, the experimental setting is worked out. As reagent-plasticizer were applied fuel oil, gelatin, sodium humate. Studied the process of enrichment of coal slimes Shubarkol field, it is shown that the best results were obtained with the use of sodium humate. The application of humate sodium as the plasticizing agent allows to create water-coal suspension with dimensioned structure, not stratifying during long time.

References

- 1 Wilson K.L. *Coal — a Bridge to the future*, Moscow: Nedra, 1985.
- 2 Papin A.V. *Young scientists of Kuzbass: Conf. Proc.*, Kemerovo, 2003, p. 257, 258.
- 3 Yutkin L.A. *Electrohydraulic effect and its application in industry*, Leningrad: Mashinostroenie, 1986, 253 p.

К.К.Кусаиынов, Т.А.Жакатаев, Б.Р.Нусупбеков, Н.К.Ботпаев

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: toksanzh@yandex.kz)

К расчету магнитных полей в замкнутых кольцевых контурах ветровых электрогенераторов

Разработана итерационная модель, которая позволяет по наведенной э.д.с. рассчитать численные значения и определить профиль индукции магнитного поля $B(y)$ в воздушном зазоре электрической машины. Авторами установлено, что на основании этого можно рассчитать потоки магнитной индукции Φ вдоль кольцевого контура на статоре. Модель позволяет рассчитать силы механического сцепления магнита (на роторе) с ферромагнитным материалом (на статоре) на основе вычисления пондеромоторных магнитных объемных наведенных сил. Разработана конструкция ветрового генератора с использованием мощных дисковых магнитов на основе сплава неодим-железо-бор.

Ключевые слова: итерационная модель, э.д.с., магнитная индукция, модель, электрогенератор, кольцевой контур.

Мы разработали и спроектировали новую конструкцию электрогенератора с использованием круглых магнитных дисков (в виде небольших цилиндров) на основе неодимового магнита [1, 2] (рис. 1). Постоянные магниты из сплава NdFeB (неодим–железо–бор) обладают большой магнитной индукцией и, соответственно, большой магнитной силой. По времени потеря магнитных свойств неодимовых магнитов составляет 2 % за 5 лет [1, 2].

Электрогенератор предназначен для ветровой установки (ВУ). Используются небольшие по размеру неодимовые магнитные диски (16 штук), модель 30*10, сила удержания 20 кг, вес 54 г [1, 2]. Общая конструкция электрогенератора приведена на рисунке 1.

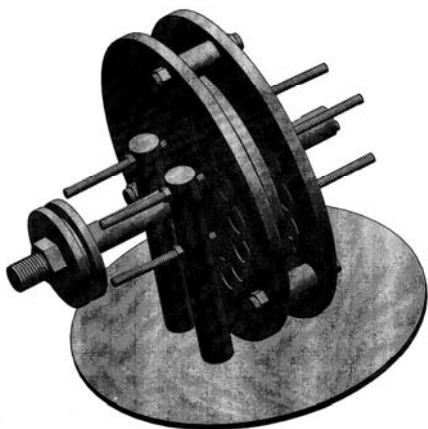


Рисунок 1. Общий вид электрогенератора на постоянных дисковых магнитах

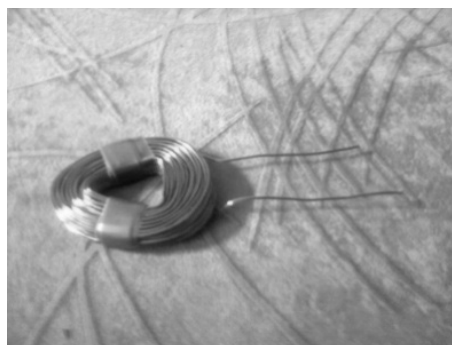


Рисунок 2. Одна катушка из общей катушечной цепи

В данной разработке мы отошли от традиционного подхода, когда на роторе магнитное поле возбуждается на основе токов, протекающих через катушку на вращающемся роторе [3, 4]. Отличие нашего варианта от других, ранее известных [1, 2] в том, что диск с магнитами один и он находится в центре системы. Два диска с катушечными обмотками расположены симметрично с обеих сторон от диска с постоянными магнитами. Диск с магнитами вращается, а два диска с катушками неподвижны и жестко закреплены. Общая конструкция также отличается от других, ранее известных вариантов [1, 2].

В центре располагается диск, на котором установлены 16 постоянных магнитов. С обеих сторон от этого диска имеются два внешних диска, на которых располагаются катушки ($16 \times 2 = 32$) из медного провода. Диаметр медного провода 0,9 мм. По нашим расчетам, данная обмотка может генерировать мощность до 800 Вт, при скорости ветра до 5 м/с.

Нами был проведен эксперимент по изучению влияния значения диаметра кольца провода катушечной обмотки на уровень наводимой э.д.с. Оказалось, что максимальное значение э.д.с. наблюдается при значениях $d \sim (1,1-1,2)d_0$, где d_0 — диаметр диска магнита. При дальнейшем увеличении диаметра катушки d э.д.с. асимптотически снижается. Графическая зависимость представлена на рисунке 3.

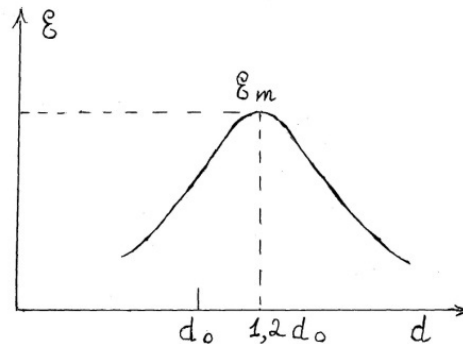


Рисунок 3. Изменение усредненного уровня наведенного э.д.с. в зависимости от диаметра обмотки кольцевой катушки

Для одной из катушек при неинтенсивном перемещении магнита наведенная э.д.с. составила примерно 0,08 В. Хотя первоначально (до эксперимента) интуитивно нам казалось, что максимальная э.д.с. будет индуцироваться при $d = d_0$.

Мы разработали расчетную схему, согласно которой магнитное поле индукции возле торца круглого магнитного диска можно рассчитать в результате решения обратной задачи для уравнения объемной пондеромоторной силы, действующей на ферромагнитный материал [5–9]:

$$f = \frac{1}{2} \frac{\mu_a - \mu_0}{\mu_a \mu_0} \text{grad } B^2, \quad (1)$$

$$\text{grad } B^2 = \frac{\partial B^2}{\partial x} + \frac{\partial B^2}{\partial y} + \frac{\partial B^2}{\partial z}, \quad (2)$$

где $\mu_a = \mu_r \mu_0$ — абсолютная проницаемость стального листа; μ_0 — магнитная проницаемость воздуха (магнитная постоянная); μ_r — относительная магнитная проницаемость ферромагнитного материала, может иметь значения 200 (твердая сталь), 5000 — полосовое железо [5–9]. Задача решается на ЭВМ численно. Для решения нелинейных итерационных уравнений и уравнений с частными производными мы используем Intel Visual Fortran на основе Visual Studio 2010 и Matlab 2013. Разработали специальный алгоритм, который сохраняет сходимость и устойчивость сеточной расчетной схемы при различных значениях шагов для сеточной области.

Силу магнитного притяжения можно рассчитать также из уравнения для силы, оказываемой на контур с током в магнитном поле с градиентом [5–9]:

$$F = p_m \text{grad } B, \quad (3)$$

где $p_m = IS$ — магнитный момент некоторого эквивалентного контура тока, который в усредненном варианте представляет (заменяет) микротоки в сплошном ферромагнитном материале. Уравнение (3) также численно решается на ЭВМ. Для удобства вычислений мы преобразовали (1) к виду

$$f = \frac{1}{2} \frac{\mu_r - 1}{\mu_r \mu_0} \text{grad } B^2. \quad (4)$$

По значению градиента магнитного поля можно приближенно рассчитать силу магнитного притяжения, а также индуцируемую э.д.с. в контуре с катушкой. Из веса, удерживаемого магнитом, находим силу $F = mg$. Тяговую (удерживающую) силу находим в результате интегрирования объемной силы $dF = fdV$.

Одним из существенных плюсов этих ветрогенераторов (ВГ) без ферромагнитного сердечника является отсутствие залипания, так как статор не имеет железных элементов и представляет из себя всего лишь медные катушки, залитые в смоле в виде дисков, между которыми вращается диск

с магнитами. При отсутствии залипания винт генератора стартует гораздо раньше и вырабатывает электроэнергию на более слабом ветру, а генератор, например, из асинхронного двигателя, чаще всего имеет залипание, которое мешает винту сдвинуться, и он попросту стоит, ничего не генерируя, и ждет порыва, чтобы начать крутиться, в то время когда аксиальный генератор вращается и заряжает аккумулятор.

Магниты на диске располагаются с чередованием полюсов. Чем больше магнитных полюсов, тем на более меньших оборотах генератор начинает давать приемлемый для зарядки ток. Но очень большое число магнитов часто трудно эффективно разместить в конструкции, так как размеры катушек становятся очень маленькими из-за ограниченных размеров статоров [1, 2].

Толщину статоров стоит увеличивать, если сила притяжения магнитов выше 12–16 кг каждого по отдельности, а так лучше добиться равной толщины магнитов [1, 2].

Для первого варианта ВГ мы выбрали 16 полюсов. Соединение катушек лучше делать в одну фазу, так как при небольших оборотах напряжение достаточно слабое для зарядки, а катушки, соединённые последовательно, дают больше напряжения в вольтах и, следовательно, зарядка аккумулятора начинается раньше, хотя сила тока слабее, чем при соединении в звезду, но схема «звезда» работает от больших оборотов.

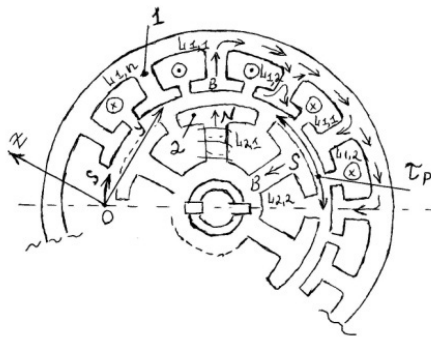
При разработке нами ставились следующие цели: 1) упрощение конструкции, 2) снижение себестоимости, 3) повышение безопасности и надёжности. Таким образом, будет создана технологическая база экологически чистых, относительно дешёвых и доступных систем отопления и освещения. По расчетам при несильном ветре статорная обмотка может генерировать незначительную э.д.с., порядка 12–24 В. Несоответствие этой э.д.с. уровню 220 В было основным препятствием для широкого внедрения ВГ небольших габаритов. При различном ветре амплитуда и частота генерируемой э.д.с. изменяется. В известных ранее моделях ВГ стабилизация переменных параметров осуществлялась механическими или гидравлическими узлами. Это приводило к невысокому к.п.д. и возрастанию массы и габаритов ВГ.

Мы нашли новое технологическое решение — стабилизация переменных величин будет выполнена на основе силовой полупроводниковой электроники. Преобразование низковольтного напряжения (+,–) 12 В до уровня ~220 В мы планируем осуществить на основе полупроводникового преобразователя (инвертора), который преобразует это постоянное напряжение до переменного — 220 В с частотой 50 Гц. Планируем использовать силовые транзисторные инверторы с ключевым программным управлением.

Предусмотрено использование энергии аккумулятора для освещения помещения низковольтными лампами в случае полного безветрия. Но полное отсутствие ветра (число штилей) не превышает 3 % дней в году. Питание на индукторную цепь будет осуществляться посредством транзисторно-ключевой схемы, когда уровень подаваемого напряжения зависит от уровня выходного э.д.с. от статорной обмотки. Таким образом, мы намерены добиться достаточно надёжной стабилизации параметров.

При сильном ветре излишек вырабатываемого напряжения будет подаваться на систему нагрева воды, которая всегда нужна в хозяйственной и бытовой деятельности. Сложный уровень электронной схмотехники у зарубежных генераторов обусловлен тем обстоятельством, что малые расстояния между поселками и городами позволяют объединить их в единую сеть. При объединении в единую сеть возникает необходимость высокого (сложного) уровня электронной схмотехники. У нас такой необходимости нет. Очень большие расстояния между населёнными пунктами не позволят объединять их в единую сеть. Поэтому нам нужны конструкции с минимально возможной упрощённой электронной полупроводниковой схмотехникой и упрощённой системой управления. Наряду с освещением домов ВГ могли бы служить для электропитания телевизора, холодильника, телефонной связи, компьютера, интернет-связи. При наличии доступных и относительно дешёвых источников электроэнергии количество людей, которые пожелали бы жить и трудиться в сельскохозяйственных и отдалённых регионах страны, будет возрастать. Это привело бы к подъёму и развитию экономики страны в целом. Ветровые генераторы будут иметь спрос у населения.

На рисунке 4 показана схема ротора и статора однофазного электрогенератора [3–5].



1, 2 — «зубцы» статора и ротора

Рисунок 4. Схема электрического генератора с электромагнитным ротором

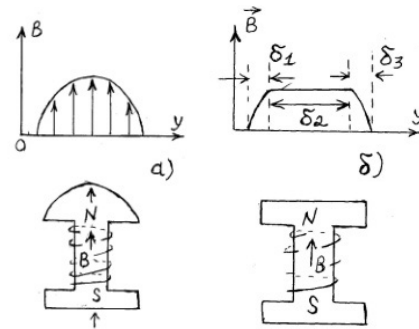


Рисунок 5. Зависимость формы индукции поля $B(y)$ от формы ферромагнитного сердечника

В таких конструкциях электрических машин форма (профиль) наведенного э.д.с. зависит от формы индукции магнитного поля B (рис. 5). Когда форма магнитного наконечника делается со значительным выступом (закруглением), то профиль ε -э.д.с. приближается к гармоническому сигналу (рис. 5а), когда наконечник слабого закругления, форма ε приближается по виду к трапеции. При достаточном количестве витков на зубцах ротора профиль B (соответственно ε) приближается к прямоугольному (рис. 5б).

Непосредственное измерение B связано с определенными техническими трудностями, иногда с отсутствием достаточно точных измерительных приборов. Поэтому мы предлагаем очень удобный и легко реализуемый способ определения магнитной индукции B и магнитного потока Φ по известным значениям (распределениям) наведенного э.д.с. — ε , в силу того, что измерять распределение ε легче и проще.

Изложим суть метода. Значение мгновенного э.д.с. определяется из соотношения [5–9]

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (5)$$

В общем случае

$$d\Phi = BdF + FdB, \quad (6)$$

где F — площадь поверхности витка, перпендикулярная к \vec{B} . Дифференциал dB отличен от нуля в областях δ_1 и δ_3 (рис. 5б). В области δ_2 $B = \text{const}$.

Из (5) и (6) получим

$$\frac{dB}{ds} + \frac{L}{F} B = \frac{\varepsilon}{v_s F}, \quad (7)$$

где v_s — линейная окружная скорость; L — активная длина проводника; $ds = v_s dt$ — дифференциал дуги s вдоль кольцевого контура ВГ. В формуле (7) знак минус отсутствует, так как мы рассматриваем абсолютные изменения искомых величин. Чтобы упростить выкладки, примем, что в пределах полюсного деления τ_p длина дуги s_p мало отличается от значения прямолинейной координаты y . Тогда можем записать приближенное равенство

$$\frac{dB}{ds} = \frac{dB}{rd\varphi} \approx \frac{dB}{dy}. \quad (8)$$

Выберем постоянный шаг h вдоль y , $h = \tau_p / N$, $y_{i+1} = y_i + h$.

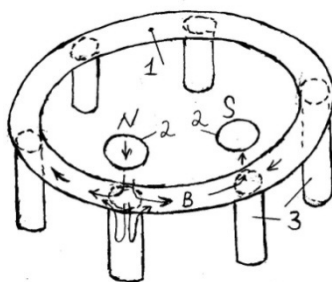
Профиль $\varepsilon = \varepsilon(y)$ можно зафиксировать на осциллограмме или на самопишущем приборе. Зная масштабы, определяем набор дискретных значений ε_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$; $n = N + 1$, соответствующих различным y_i . Запишем (7) в виде разностного уравнения по схеме Эйлера с правой частью в двух точках с уточнением:

$$B_{i+1}^{(k+1)} = B_i^{(k)} = \gamma[\varepsilon_i + \varepsilon_{i+1}], \quad (9)$$

где $\gamma = \frac{h}{2 v_s F}$, $k = 1, 2, 3, \dots$, — индекс итерации.

Уравнение (9) легко вычисляется итерационным способом при определенно заданных граничных условиях. Когда электрическая машина имеет чередующиеся магнитные полюса, краевые (граничные) условия будут нулевыми: $B_1 = 0$, $B_n = 0$. В более общем случае данная задача разрешима и при ненулевых граничных условиях. Для этого в уравнении (9) используется итерация по индексу k . Вначале неизвестное значение $B_1 \neq 0$ искусственно приравняем к нулю. После первой прогонки в правой части получим некоторое значение $B_n \neq 0$. При следующих прогоночных расчетах уже будет $B_1 \neq 0$. Итерационные расчеты тем и хороши, что позволяют уточнять значения вычисляемых величин при расчете по циклам. В программе задается предел точности для итерации μ , и итерационные вычисления проводятся до значений $B_{i+1}^{(k+1)} - B_{i+1}^{(k)} \leq \mu$.

Для увеличения к.п.д. ветрового генератора мы предлагаем внутри каждой катушки установить металлические цилиндрические (сплошные, не полые, по высоте катушечной обмотки) трубочки из металла с высоким ферромагнитным показателем. Чтобы не происходило прилипания магнитного диска к этим стержням (так называемое залипание во время остановки воздушного винта), необходимо все эти цилиндрические трубочки по верхним торцевым частям соединить со сплошным кольцеобразным диском в виде полосового контура (рис. 6) с небольшим поперечным размером полосы.



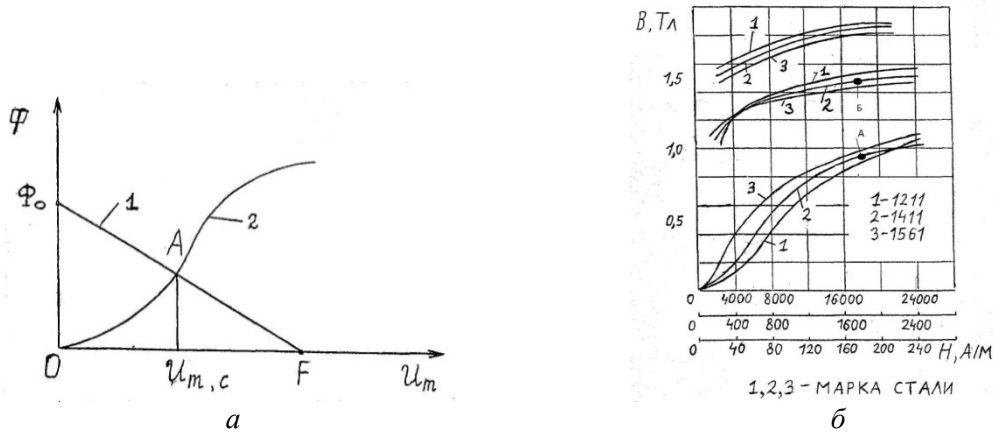
1 — полосовой сплошной лист металла — ферромагнитная «шайба»;
2 — постоянные магниты; 3 — сплошные металлические цилиндры — ферромагнитные стержни

Рисунок 6. Металлическая шайба с трубками

Отсюда видно, что магнитные потоки $\Phi = B \cdot S$, исходящие от магнитного диска, будут перераспределяться в сплошном замкнутом круговом контуре. В итоге магнитная «тяговая» сила равномерно распределится по круговому контуру $2\pi R$, и не будет происходить залипания магнита в отдельных местах расположения катушек статора.

При рассмотрении решения прямой и обратной задачи расчета магнитных цепей в классическом варианте [3–5], во-первых, процедура вычислений и действий по формулам, построение таблицы $\Phi = \Phi(U_{mc}^{(k)} F = p_m \text{grad} BF = p_m \text{grad} B)$ являются очень трудоемким и утомительным процессом для «ручного» счета и применение современных микрокалькуляторов не облегчает существенно дело. Во-вторых, отсутствует алгоритм, по которому можно было бы выбирать именно те значения $B^{(k)}$, которые обеспечивали бы хорошее начальное приближение.

Поэтому мы предлагаем новый способ (алгоритм) решения второй, т.е. обратной задачи, когда по заданной м.д.с. необходимо определить магнитное поле B_n . По сути, это комбинация прямой и обратной задачи, основанная на приведении всех расчетных уравнений к решению системы нелинейных алгебраических уравнений методом последовательных итераций. Преимущество данного метода в том, что она легко программируется и вычисляется на ПЭВМ. Кроме этого, в данном новом алгоритме имеется процедура, на основе которой легко определяется начальное приближение Φ_n , впоследствии позволяющие находить наиболее близкие к точке A (рис. 7) значения магнитного поля и потока индукции.



a — магнитные потоки в нелинейном контуре и воздушном зазоре [3–5];
б — кривая намагничивания стали [3–5]

Рисунок 7

Таким образом, мы предлагаем оптимальный вариант решения обратной задачи. Теперь излагаем конкретный алгоритм решения задачи.

1. Задается м. д. с. $U_m = I \cdot w$.

2. Определяем начальное приближение Φ_H по формуле $\Phi_H = \frac{U_m}{R_{om} + R_m}$, где $R_m = \frac{L_c}{\mu \mu_0 S_c}$ — маг-

нитное сопротивление всего ферромагнитного участка; $S_c = \frac{\sum_j L_j \cdot S_j}{\sum_j L_j}$ — среднее взвешенное по раз-

личным участкам значение поперечной площади всего нелинейного участка. Принимаем, что $\Phi_k = \Phi_H$, μ равно среднему арифметическому значению на отрезке $O-F$ на рисунке 7а.

3. По данному значению Φ_k вычисляем соответствующие значения (пока еще приближенные к истине) $B_j^k = \frac{\Phi_k}{S_j}$ для каждого j -го участка. Для каждого B_j^k определяем соответствующее ему H_j^k .

В случае применения компьютера табличные значения B_j^k и H_j^k заносятся в программу и далее используется интерполяция Лагранжа, которая успешно применена во всех других наших задачах для расчета теплообмена тел при переменных граничных условиях.

4. Вычисляем намагничивающие силы на различных звеньях: $U_{mj}^k = H_j^k \cdot L_j$.

5. Для всех звеньев нелинейного участка находим суммарную намагничивающую силу U_{mc}^k :
 $U_{mc}^k = \sum U_{mj}^k$.

6. Вычисляется $\Phi_2 = \Phi_2(U_{mc}^k)$; $\Phi_2 = \Phi_k = B_j^k \cdot S_j$.

7. Определяем $\Phi_1 = \frac{I \cdot w}{R_{om}} - \frac{U_{mc}^k}{R_{om}}$.

8. Сравниваются значения двух магнитных потоков $\Phi_1 = \Phi_1(U_{mc}^k)$ и $\Phi_2 = \Phi_2(U_{mc}^k)$. Для этого вычисляется разность $\varphi_1 = \Phi_1 - \Phi_2$.

9. Если $\varphi_1 < 0$, то значение $\Phi_2 = \Phi_k$ уменьшается, если же $\varphi_1 > 0$, то значение $\Phi_2 = \Phi_k$ увеличивается. Данное изменение первичного значения Φ_2 в компьютерной программе задается по циклу, следовательно, осуществляется с фиксированным дискретным интервалом, шагом $\Phi_2 = \Phi_k \pm \frac{\varphi_1}{2}$.

При каждом повторении цикла шаг $\frac{\Phi_1}{2}$ изменяется, т.е. изменение функции происходит с переменным (уточняющимся) шагом.

10. Переходим к пункту 3.

Вычисленные значения H_j^k проверяются по формуле [3–5]

$$H_1L_1 + H_2L_2 + H_0L_0 + H_3L_3 + \dots = I \cdot w = U_m. \quad (10)$$

Отметим, что здесь и заключен смысл объединения первой и второй, т.е. прямой и обратной задач. Формула (10) из первой задачи служит для переуточнения данных H_j^k , рассчитываемых во второй задаче.

11. Вычисляется абсолютное значение $\varphi_2 = \text{abs}(\varphi_1)$. При достижении условия $\varphi_2 = \varepsilon \rightarrow 0$, программа останавливается. Предел точности можно выбрать из интервала $\varepsilon = 0,001 \div 0,0001$.

12. Выдача результатов.

На самом деле, магнитная цепь, приведенная на рисунках 4, 6 будет разветвленной. Мы рассмотрели магнитные потоки только в одном замкнутом контуре, т.е. только в одной ячейке полного кругового контура по 2π . Но следует отметить, что, несмотря на растекание магнитного потока влево и вправо от этой конкретно рассмотренной нами ячейки, эта убыль потока будет компенсироваться притоком магнитных потоков от следующих двух пар (всего из шести) зубцов ротора. Таким образом, задача свелась к рассмотренному нами случаю одной ячейки. Но даже если магнитные потоки были бы несимметричными и если бы нам пришлось суммировать магнитные потоки по различным узлам, применяя законы Кирхгофа, то все равно данная задача несложным образом редуцируется (приводится) к рассмотренному нами и изложенному выше алгоритму (пункты 1–12). Просто увеличивается количество циклов итерации, в зависимости от количества самостоятельно и раздельно действующих ячеек, т.е. контуров. Это не вызывает трудностей при решении задачи с применением компьютерных технологий.

Но более интересным, по мнению авторов, является следующий момент. По формуле (5) вычисляется э.д.с. Применяя различные редукторы, которые могут увеличивать число оборотов винта лопасти при небольших значениях скорости ветра, можно достичь большого значения количества оборотов n_1 . То есть необходимый уровень э.д.с. так или иначе достигается. Мощность ВГ определяется не только уровнем э.д.с. Мощность прямо пропорциональна току, протекаемому по обмоткам. В результате происходит нагрев обмоток статора, ротора и всего корпуса ВГ. Таким образом, в конечном счете, мощность ВГ определяется не количеством витков, содержащихся на обмотках ротора и статора, а законами нагревания и скоростью остывания обмоток и всего корпуса в целом. И здесь авторы рекомендуют использовать методы расчета теплообмена тел конечных (произвольных) размеров, изложенные в [10].

Выводы

1. Разработана итерационная модель, которая позволяет по наведенной э.д.с. рассчитать численные значения и определить профиль индукции магнитного поля $B(y)$ в воздушном зазоре электрической машины. На основании этого можно рассчитать потоки магнитной индукции Φ вдоль кольцевого контура на статоре.

2. Разработана модель для расчета силы механического сцепления магнита (на роторе) с ферромагнитным материалом (на статоре) на основе вычисления пондеромоторных магнитных наведенных сил.

Список литературы

- 1 <http://svoy-vetrogenerator.ru>
- 2 <http://soliaris2010.narod.ru>
- 3 *Евсюков А.А.* Электротехника. — М.: Просвещение, 1979. — 248 с.
- 4 *Токарев Б.Ф.* Электрические машины. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 389 с.
- 5 *Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В.* Основы теории цепей. — М.: Энергоиздат, 1989. — 528 с.
- 6 *Матвеев А.Н.* Электричество и магнетизм. — М.: Высш. шк., 1983. — 463 с.
- 7 *Тамм И.Е.* Основы теории электричества. — М.: Наука, 1976. — 616 с.

- 8 Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. Электричество. — М.: Наука, 1982. — 335 с.
 9 Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество. — М.: Наука, 1977. — 687 с.
 10 Жақатаев Т.А., Нургужин М.Р., Какимова К.Ш. К расчету теплообмена тел произвольных форм при переменных граничных условиях // Вестн. Караганд. ун-та. Сер. естеств. наук. — 2001. — № 1(21). — С. 80–88.

Қ.Қ.Құсайынов, Т.А.Жақатаев, Б.Р.Нүсіпбеков, Н.К.Ботпаев

Жел генераторының дөңгелек контурында магнит өрісін есептеу

Өндірілген э.қ.к. негізінде электр машинаның ауалы қуысында магнит өрісінің индукциясын және $B(y)$ таралуын есептеуге итерациялық модель ұсынылды. Сол бойынша магнит өрісінің Φ ағыны есептелді. Модель ротордағы магнит және статордағы ферромагниттік сақина арасындағы жанасқан механикалық күшті есептеуге арналды. Есептеулер көлемдік пондеромоторлы күштерді ескерді. Темір–неодим–бор қоспадан жасалған қуатты дискілі магниттер негізінде жел генераторының тиімді жобасы құрастырылды.

K.K.Kussaiynov, T.A.Zhakatayev, B.R.Nusupbekov, N.K.Botpayev

To calculation of magnetic fields in the closed ring contours of wind electric generators

The iterative model which allows on induced electro driving force (e.d.f.) is developed. Of an induction of a magnetic field can to calculate numerical values and to define a profile $B(y)$ in in air gap of the electric car. On the basis of it is possible to calculate streams of a magnetic induction F along a ring contour on a stator. The model allows to calculate forces of mechanical coupling of a magnet (on a rotor) with a ferromagnetic material (on a stator) on the basis of calculation of ponderomotive magnetic volume induced forces. The design of the wind generator on the basis of use powerful disk magnets on the basis of an alloy iron–neodymium–boron is developed.

References

- 1 <http://svoy-vetrogenerator.ru>
- 2 <http://soliaris2010.narod.ru>
- 3 Evsyukov A.A. *Electrical equipment*, Moscow: Prosvescheniye, 1979, 248 p.
- 4 Tokarev B.F. *Electric machines*, Moscow: Energoatomizdat, 1989, 389 p.
- 5 Zeveke G.V., Ionkin P.A., Netushil A.V., Strahov S.V. *Fundamentals of circuit theory*, Moscow: Energoizdat, 1989, 528 p.
- 6 Matveyev A.N. *Electricity and magnetism*, Moscow: Vysshaya shkola, 1983, 463 p.
- 7 Tamm I.E. *Bases of the theory of electricity*, Moscow: Nauka, 1976, 616 p.
- 8 Savel'yev I.V. *Course of the general physics*, Vol. 2, Electricity, Moscow: Nauka, 1982, 335 p.
- 9 Sivukhin D.V. *General course of physics*, Vol. 3. Electricity, Moscow: Nauka, 1977, 687 p.
- 10 Zhakatayev T.A., Nurguzhin M.R., Kakimova K.Sh. *Bulletin of Karaganda University, Nat. sciences ser.*, 2001, 1(21), 80–88.

ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

ӘОЖ 535.31, 004

К.А.Омарқұлов¹, С.Е.Сақыпова², Р.И.Жұманова³, Ж.Т.Қамбарова²

¹*Ы.Алтынсарин атындағы Арқалық мемлекеттік педагогикалық институты;*

²*Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті;*

³*«Дарын» арнайы мамандырылған дарынды балаларға арналған мектеп-интернаты, Қарағанды
(E-mail: kambarova@bk.ru)*

Геометриялық оптика тақырыбы бойынша компьютерлік зертханалық жұмыстарды өткізу әдістемесі

Мақалада геометриялық оптика тақырыбындағы компьютерлік зертханалық жұмыстарды өткізу әдістемесі ұсынылған. Физика сабақтарында компьютерлік зертханалық сабақтарды өткізу физикалық құбылыстардың теориялық модельдерін зерттеудің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Оқу компьютерлік курстарды қолдануымен жүргізілетін сабақтардың әдістемелік нұсқаулары оқушыларда геометриялық оптиканың негізгі түсініктерін қалыптастыру мен дамытуға, сонымен бірге білімдерді бекіту мен кеңейтуге бағытталған. Компьютерлік технологиялардың көмегімен сабақтарды жүргізу кезінде зерттеушілік сипатқа ие топтық жұмыстың және сол зерттеу аясында өз бетімен жұмысты ұйымдастыруға көп көңіл аударылады.

Кілт сөздер: физиканы оқыту әдістемесі, компьютерлік зертханалық жұмыстар, компьютерлік модель, геометриялық оптика, компьютерлік эксперимент.

Физика пәні бойынша іргелі дайындық жалпы білім берудің басым бағыттарының бірі болып табылады. Іргелі физикалық білім берудің негізгі нәтижесі — оқушылардың теориялық ойлау қабілетін дамыту. Физика пәні көпшілік жағдайда абстрактылы материалдарға ие болатындықтан, оның мазмұнының элементтерін меңгертуде физикалық теория ең қиын теориялардың бірі болып табылады. Сондықтан физиканы жеткілікті жоғары теориялық деңгейде оқытуда кедергі туғызады. Пәнді оқыту кезінде теориялық материалдардың практикалық қолданысын анық жіктеп көрсету қажет. Шынайы физикалық процестер мен құбылыстардың теориялық модельдерін құру физикалық теорияның практикалық қолданысын аясын анықтауды талап етеді. Оқушылар физикалық теорияны меңгеру кезінде тек негізгі теориялық концепцияларын оқып-үйренумен бірге, олардың негізінде құрылған теориялық модельдермен танысып, олардың қолдану облысын білулері қажет.

Модельдерді дәстүрлі оқыту кезінде оқушылардың бар назары субъективті қиындыққа ие болатын математикалық аппаратқа аударылады. Бұл кезде зерттелінетін модельдің реті тек ойша экспериментте елестетіледі. Бұл елес мұғалім жағынан бақылауға келмейді. Ойша экспериментті орындау кезінде оқушыларда материалдық іс-әрекеттілікке тірегі болмайды. Сондықтан модельді оқып-үйрену әрекеттілігі жарты жолда үзіліп, оқушыларда теориялық концепцияларымен аяқталған өзара байланысы түзілмейді. Теориялық модельдерді толық түрде оқытып-үйрету үшін ойша эксперименттің дағдыларын және онымен байланысты болатын физикалық процестер мен құбылыстардың түсініктерін қалыптастыру қажет. Нақты жағдайда теорияда сипатталынатын идеалды шарттарды келтіруге болмайды, сондықтан әрқашанда бұл ойша эксперименттің дағдыларын қалыптастыру үшін тірек бола алмайды. Ойша экспериментке үйрету мен сыртқы материалмен әрекеттілікте жүретін және оны басқаруға болатын тек жалғыз мүмкіндік компьютерлік модель болып табылады [1].

Қазіргі кезде көптеген ТМД елдері мен шетелде физика бойынша компьютерлік зертханалық жұмыстарды өңдеумен айналысады (Мәскеу, Санкт-Петербург, Тверь, Томск, Shoder қоры және т.б.). Компьютерлік зертханалық жұмыстардың қазіргі заманғы өңдеулерінің талдауы оларды екі топқа жіктеуге мүмкіндік берді: реалды физикалық экспериментті қайта жаңғыртуға бағытталған жұмыстар — В.В.Ларионов, В.В.Монахов, Д.В.Пичугин, С.К.Стафеев және т.б. және физикалық теориялық модельдерді зерттеуге бағытталған жұмыстар (компьютерлік модельдейтін зертханалық жұмыстар) — А.А.Бессонов, Е.И.Бутиков, С.М.Козел, В.А.Стародубцев [2].

Бұл жуықтауға арналған жұмыстарда жобалау жүргізуде ешқандай айырмашылық байқалмайды, бірақ мұны орынды деп есептеуге болмайды, себебі мұндай жұмыстар табиғаты әр түрлі болатын (реалды және идеалды) объектілерді зерттеуге бағытталған. Теориялық модельдерді зерттеуге бағытталған компьютерлік зертханалық жұмыстарды орындау кезінде (сонымен қатар реалды физикалық экспериментті қайта жаңғыратын компьютерлік жұмыстарды орындау кезінде де) негіз ретінде заттай экспериментті өткізу әдістемесі алынады. Теориялық материалды толық ұғыну үшін жұмысқа рұқсат алу шарты қажетті болып табылады. Нәтижесінде компьютерде модельденетін зертханалық жұмыстың орындалуы оқылған теорияға сипаттама болып табылады. Әрине, егер де теорияны компьютерлік модельсіз жеткілікті жақсы оқып-үйренген болса, онда жұмысты компьютерде орындаудан үлкен нәтижені күтуге болмайды. Сондықтан компьютерлік зертханалық жұмыстардың төмен тиімділігі баспада әлденеше рет сыналған (А.А.Гладун, О.Н.Крохин, А.Н.Мансуров). Физикада теориялық модельдерді түсінуге бағытталған компьютерлік зертханалық жұмыстардың тиімділігін арттыру үшін жобалаудың арнайы педагогикалық концепциясын өңдеп шығару қажет. Бұл концепция модельді зерттеу процесінде теориялық материалды біртіндеп ұғынуға, сыртқы материалды іс-әрекеттілікте ойша эксперименттің орындау дағдыларын қалыптастыру мүмкіндіктерін береді. Бұл концепция компьютерлік зертханалық жұмыстарға бұрын қолданылмаған, және де ол материалға тізбектеп (сатылап) тереңдету концепциясы болып табылады [3].

Танымдық белсенділік дәрежесі бойынша компьютерлік жұмыстар заттай зертханалық жұмыстардан айтарлықтай қалып отырады, себебі теориялық модельдерді оқытып-үйреткен кезде оқушылардың іс-әрекеттілігі әдетте модель параметрлері туралы ақпаратты тіркеуден құрылады, және де мұнда бұл параметрлер бастапқы шарттар өзгерген кезде дайын түрде беріледі. Оқушылардың компьютерлік зертханалық жұмыстардан алатын нәтижелерін жетілдіру мынадай түрде іске асырылуы мүмкін. Жүйенің бастапқы параметрлерін өзгерткеннен кейін, ешқандай мәліметтер дайын түрде берілмей, оның орнына виртуалды құралдардың жиынтығы берілсін, оның көмегімен қажетті ақпаратты алуға болады. Оқушылардың іс-әрекеттілігі бұл жағдайда материалды эксперименттегідей белсенді-ізденушілік болады.

Қазіргі кезде білім беру мазмұнында келесідей қарама-қайшылық байқалуда. Оған ғылыми зерттеулерді модельдеу рөлінің артуы және бұл таным тәсілдің орта білім беруде жеткілікті толық емес қолданысы арасындағы қарама-қайшылықтарды жатқызуға болады. Сондықтан орта мектепте физика курсына оқытуда физикалық құбылыстар мен процестердің теориялық модельдерін зерттеу бойынша компьютерлік зертханалық жұмыстардың тиімділігін арттыру мәселесі туып отыр.

Ғылымда компьютерлік эксперимент шын модельдерді қолданатын физикалық процестерді үлгілеу болып табылады. Басқа жағынан, компьютерлік экспериментті реал жағдайда іске асырыла алмайтын, зерттелінетін жүйе параметрлерінің экстремалды мәндеріне жете алмайтын жағдайда жүргізуге болады. Сондықтан есептеуіш эксперимент қатты дене физикасында, плазма, беттік құбылыстар, фазалық ауысулар мен тағы басқалар физикада кең қолданылады.

Машиналық мультипликация «киноны» басқара алатындай етіп жасайды: модельдеу әдістері әр түрлі параметрлері кезінде физикалық процестердің бейнесін көруге мүмкіндік береді, мұнда оқушыларда параметрлер мәндерін өз бетімен өзгерте алу мүмкіндігі пайда болды. Сонымен, бұл тек демонстрациялық тәжірибені ғана емес, белсенді орындалатын, көрнекі «экспериментті» құруға да мүмкіндік берді. Мұндай экспериментті *компьютерлік зертханалық жұмыс* деп атауға болады. Компьютерлік зертханалық жұмыс есептеуіш эксперимент немесе реал эксперименттің имитациясы болып табылады, ол оқушының белсенді іс-әрекеттілігін талап етеді. Компьютерлік зертханалық эксперимент физиканы оқытудағы бар әдістемелерге қосымша жаңа әдістеме болып табылады.

Компьютерлік зертханалық жұмыстар оқушыларды неге үйретеді? Жауап қандай жұмыс орындалғандығына тәуелді: зерттелінетін физикалық процесс модельденетін компьютерлік эксперимент немесе реал экспериментті имитациялауға мүмкіндік беретіндей болу керек. Ал соңғысының рөлі шектелген болып табылады. Егер аналогиялы «реал» жұмыс бар болса, онда

компьютерлік имитация тек реал жұмысты орындаудың алдында жаттықтырушы ретінде пайдаланған жөн. Ол оқушыларға ешқандай жаңа білімді бермейді. Мұндай жаттықтырушыларда реал қондырғы имитацияланады: мысалы, аспаптар сандармен белгіленген жәшіктер түрінде кескінделеді (тілшелермен де болуы мүмкін), қондырғының параметрлері сандар немесе жылжымалар арқылы өзгертіледі, көрсеткіш тақтаға жаңа сандар көрсетіледі (немесе тілше жаңа бұрышқа жылжуы мүмкін). Оқушылар аспаптардан санақтарды жазып алу бойынша жұмысты имитациялайды, кестелерді толтырады және т.б. Мұндай жұмыстарды құру кезінде компьютерлік модельдеу қолданылмайды, ал математика жағынан жұмыс тек функцияларды табуляциялау мен қисықтарды салу сияқты процедураларымен шектеліп, негізі ауырлық графика мен интерфейске салынады. Мұндай жаттықтырушы зертханалық жұмыстың бір функциясы тек өлшеулер нәтижелерін өңдеуге үйретеді.

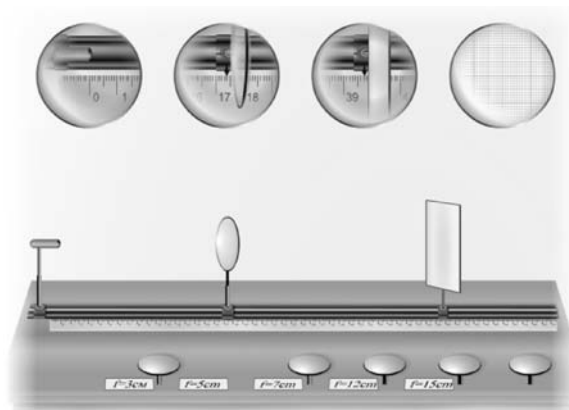
Компьютерлік жұмыстың шығармашылығы әдеттегі заттай зертханалық жұмыстағыдан азырақ болып табылмайды. Материалды жұмыста оқушылар «реал» экспериментпен қарым-қатынаста болады, ал «виртуалды» жұмыста олар құбылыстың моделімен жұмыс істейді. Компьютерлік жұмысты орындау кезіндегі өз бетімен жұмыс дәрежесі реал жұмысты орындаудағыдан артық болуы мүмкін, себебі қауіпсіздік техникасы мен эксперименттік қондырғыны істен шығаруымен ешқандай шектеулер болмайды. Компьютерлік зертханалық жұмыстар барысында «оқушының зерттеушілермен жасалған бағытта немесе оның өзі жасаған виртуалды құрылғысында «тәжірибе» жасап, талап етілетін шамаларды өлшеп, содан соң жауаптың компьютерлік тексеруден өтуі» виртуалды ақпараттық-оқыту зертханалары білім берудің басқа да жолдарымен кешенді түрде пайдаланылуының типтік үлгісі болып табылады. Компьютерлік зертханалардың негізгі құндылығы оның мазмұндылығында жатыр. Тамаша навигация, бояу түстері, жылдам жүктелуі мен виртуалды тәжірибелердің сенімділігі білім алу мен игерудің қосымша элементтері ғана болып табылады. Компьютерлік зертханалар «бос үстел» секілді, оған оқушылар арнайы құралдардың көмегімен зертханалық объектілерін жасай алады, оларды бір-біріне қатысты қажетті түрде орналастырады, объектілер арасында байланыстар орнатып, олардың бастапқы мәнін қояды. Негізінен виртуалды зертханалар бір зертханалық модуль негізінде әр түрлі интерактивті модельдер жасауға мүмкіндік береді.

Компьютерлік зертханалық жұмыс физикалық эксперименттің барлық талаптарын қанағаттандырады, бірақ нақты аспаптарды ұстап көруге мүмкіндік бермейді. Компьютерлік зертханалық жұмыстарды физиканың дамуында маңызды роль алған тарихи эксперименттерді демонстрациялау үшін қолдануға болады. Сонымен қатар оларды қашықтықта оқытуда қолдануға болады. Компьютерлік зертханалық жұмыстарды нақты физикалық эксперимент мүмкін болмаған жағдайда қолданады. Мысалы, физиканың дамуында маңызды роль атқаратын ойша экспериментті нақтылауда қолдануға болады. Егер беретін материал өте қиын және оны оқыту кезінде көптеген көрнекілік қажет болса, компьютерлік зертханалық жұмыстарды қолдануға болады. Компьютерлік зертханалық жұмыстардың көрнекілігі өте жоғары болады. Компьютерлік экспериментті оқыту, қорытындылай «виртуалдық» құрамын оқыту физикалық объектілердің модельдеу әдісінің көмегімен жүргізіледі. Компьютерлік эксперимент жоғары демонстрациялық көрнекілікке ие, сондықтан ол «көзге көрінбейтін нәрселерді көруге», заттың құрылымын түсінуге мүмкіндік береді, бұл кезде шынайы эксперименттің дидактикалық белгілердің көпшілігі сақталады. Оқушылар үшін жылдам орындалады, олардың оқытылуы эксперименттің негізгі дағдыларын меңгеруге көмектеседі.

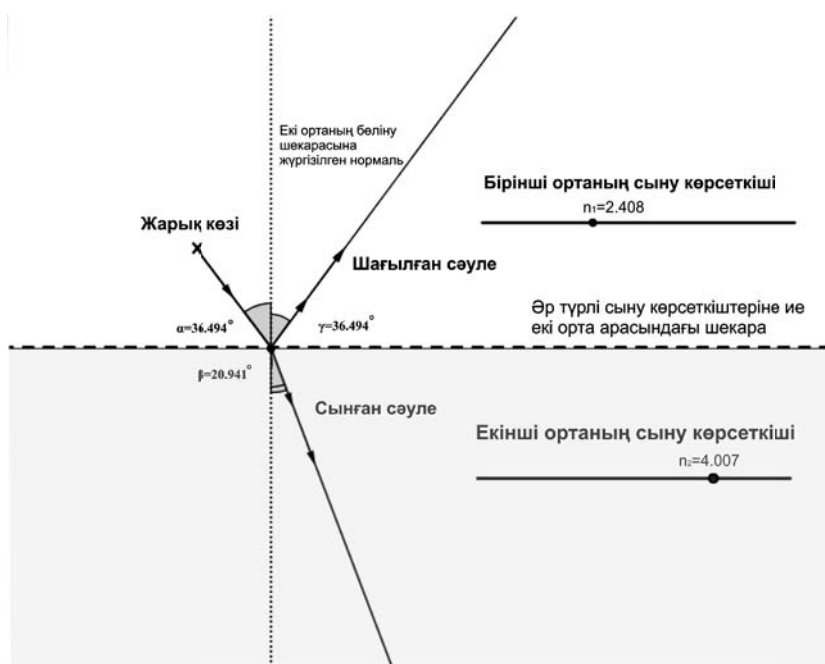
Геометриялық оптика тақырыптарын оқыту кезінде сабақтарда компьютерлік зертханалық сабақтардың мүмкіншіліктерін қарастырайық. Жарық құбылыстары тақырыбына сәйкесті «Жинағыш линзаның қасиеттерін оқып-үйрену», «Жарықтың сыну заңдарын оқып-үйрену», «Жинағыш линзада кескіндер құру», «Шашыратқыш линзада үшбұрыштың кескінін алу», «Ферманың ең аз уақыт принципі», «Жазық параллель пластинада сәулелердің жүрісі» компьютерлік зертханалық сабақтарға әдістемелік нұсқаулар ұсынылады. «Жинағыш линзаның қасиеттерін оқып-үйрену» атты компьютерлік зертханалық жұмыстың әдістемелік нұсқаулары «Лабораторные работы по физике» компьютерлік эксперимент жинағын пайдаланып, жасалынды [4]. Қалған бес компьютерлік зертханалық жұмыстар «Физика в школе и дома» Интернет сайтындағы «Виртуальный практикум по физике» бөліміндегі П.М.Анухин авторының оптика бойынша интерактивтік модельдері қолданылды [5]. Геометриялық оптика бойынша компьютерлік зертханалық жұмыстардың өңделген әдістемелік нұсқауларында зертханалық жұмыстың мақсаты, қысқаша теория, жұмыстың орындау реті, тапсырмалар, бақылау сұрақтар берілген.

Компьютерлік зертханалық жұмыс № 1. «Жинағыш линзаның қасиеттерін оқып-үйрену» (1-сур.). Жұмыстың мақсаты: жинағыш линзамен жұмыс істеуге үйрену, жұқа линзаның формуласын тексеру. Бұл зертханалық жұмысты орындауда оқушылар линзадан экранға дейінгі және жарық көзінен линзаға дейінгі арақашықтықтарды өзгерте отырып, экранның бетінде анық кескінді алу қажет. Жұмыс кестесіне ізделінген шамалардың мәндерін толтырып, тоғыс шамасын анықтайды. Тәжірибе барысында алынған тоғыс мәндерін салыстырып, өз қорытындыларын жасау қажет.

Компьютерлік зертханалық жұмыс № 2. «Жарықтың сыну заңдарын оқып-үйрену». Жұмыстың мақсаты: екі ортаның бөліну шекарасында жарықтың сыну заңдарын оқып-үйрену. Компьютерлік зертханалық жұмысты орындаудан бұрын оқушылар екі ортаның бөліну шекарасы арқылы жарықтың сынуының интерактивтік моделімен танысады (2-сур.). Берілген модельде жарық көзінің орнын және ортаның сыну көрсеткіштерін сәйкесті жүргізіштерді жылжыту жолымен өзгертуге болады. Оқушылар сыну көрсеткіштерінің мәндерін және жарықтың түсу бұрышын өзгерте отырып, сыну бұрышының қалай өзгеретінін бақылайды. Анықталған сыну көрсеткіші кезінде бірінше бақылаулар сериясын жүргізе отырып, жарықтың әр түрлі түсу бұрышы үшін жарықтың сыну бұрышын анықтайды. Бақылау нәтижелерін жұмыс кестесіне толтырады. Табылған бұрыштардың синустарын есептеп, сыну бұрышының синусының $\sin \beta$ түсу бұрышының синусынан $\sin \alpha$ тәуелділік графигін тұрғызады. Соңында қорытынды жасайды.



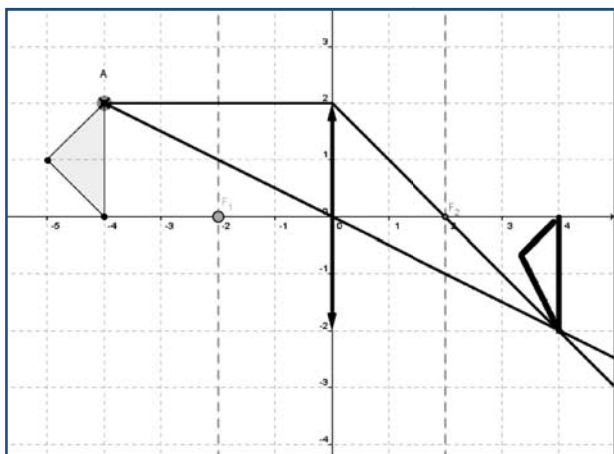
1-сурет. Компьютерлік зертханалық жұмыстың терезесі



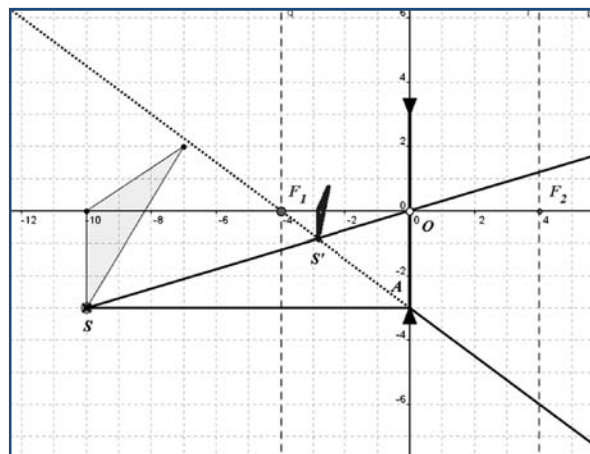
2-сурет. Екі ортаның бөліну шекарасы арқылы жарықтың сынуының интерактивтік моделі

Компьютерлік зертханалық жұмыс № 3. «Жинағыш линзада кескіндер құру». Жұмыстың мақсаты: жинағыш линзада кескіндер құру дағдысын меңгерту. Бұл интерактивтік модель сұлбасы жинағыш линзада үшбұрыштың кескінін құру үшін арналған. Бұл кескін үшбұрыштың бүкіл периметрі бойынша әр нүктелерін тізбектеп құру кезінде автоматты құрылады. Алғашқыда оқушылар интерактивтік сұлбаның жұмысымен танысады (3-сур.). Сұлбада тоғыстың орнын, бас тоғыстар мен фокаль жазықтықтардың орындарын; үшбұрыштың төбесін орнын өзгерту арқылы үшбұрыштың орнын; үшбұрыштың периметрі бойынша жарық S көзінің орнын өзгертуге болады. Оқушылар бас оптикалық жазықтығын қимайтындай етіп, үшбұрыштың үш төбесін бір кесінді бойында орналастырып, үшбұрыштың кескінін алады. Үшбұрыш төбесінің әр түрлі орнын өзгерте отырып, кескіндер түрлерін анықтайды. Оқушылар кесіндінің әр түрлі типті кескіндерін құрып (шын, жалған, үлкейтілген, кішірейтілген, тура, төңкерілген), әр түрлі сұлба үшін жұмыс кестесіне кесіндінің екі ұшы мен екі тоғыс координаталарын жазып алады. Кейін жұқа линзаның формуласын тексеріп, жұқа линзаның формуласының орындалуына қатысты қорытынды жасайды.

Компьютерлік зертханалық жұмыс № 4. «Шашыратқыш линзада үшбұрыштың кескінін алу». Жұмыстың мақсаты: шашыратқыш линзаның көмегімен кескіндерді тұрғызу дағдысын беру. Бұл сұлба шашыратқыш линзада үшбұрыштың кескінін құру үшін арналған (4-сур.). Бұл компьютерлік модельде линзаның тоғыс арақашықтығын, үшбұрыш төбелерінің орнын, үшбұрыштағы нүктенің орнын өзгертуге болады. Модельде автоматты түрде үшбұрыштың кескіні алынады. Жоғарыда келтірілген зерханалық жұмыс сияқты оқушылар жұқа линзаның формуласының орындалуына қатысты қорытынды жасау қажет.



3-сурет. Жинағыш линзада үшбұрыштың кескінін алу зертханалық жұмысының интерактивтік моделі



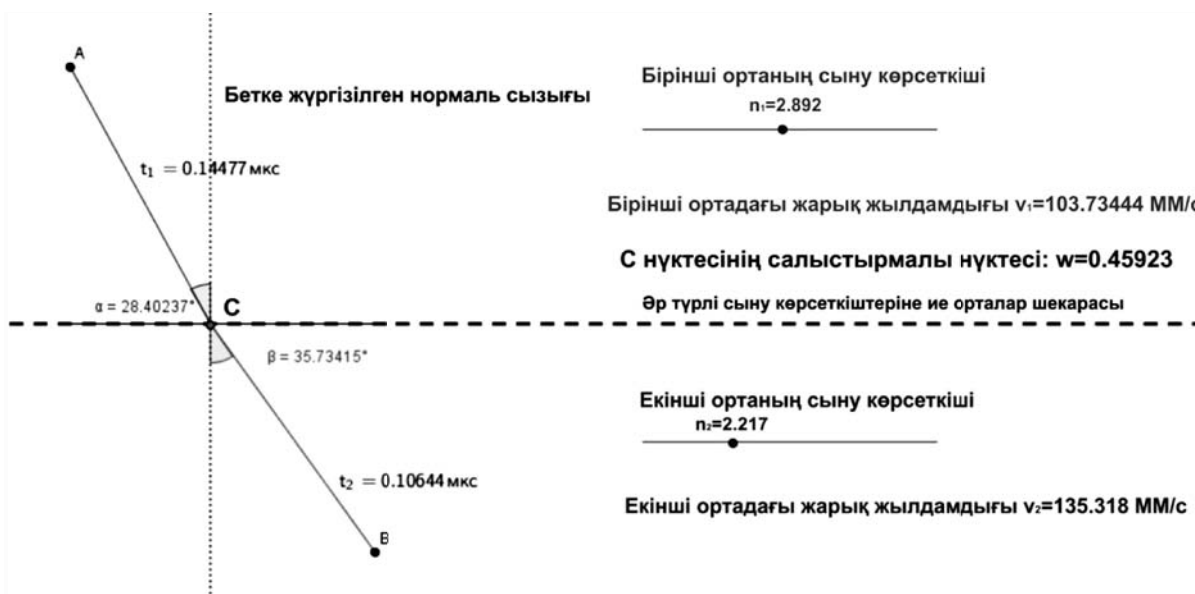
4-сурет. Шашыратқыш линзада үшбұрыштың кескінін алу зертханалық жұмысының интерактивтік моделі

Компьютерлік зертханалық жұмыс № 5. «Ферманың ең аз уақыт принципі». Жұмыстың мақсаты: тәжірибе жолымен $A-C-B$ сынығын өту үшін минималды уақытқа сәйкес келетін C нүктесінің орнын анықтау. Жарықтың сыну заңын дұрыстығын тексеру. Бұл модель (5-сур.) A — жарық көзі мен B — жарық қабылдағышының орындарын өзгертуге мүмкіндік береді. Жарық A нүктесінен B нүктесіне түсу керек. C нүктесі екі ортаның бөліну шекарасында перпендикуляр түсірілген негіздерін қосатын кесіндіге орналасады. C нүктесін бұл кесінді шегінде ғана жылжи алады. Бұл кезде кесінді ұштарына қатысты орны (w параметр) мен $A-C-B$ сынығын өту үшін жарыққа қажетті уақыты өзгереді. Ферма принципіне сәйкесті бұл уақыт минималды болады. Берілген модель автоматты түрде екі AC и CB кесінділер бойынша жарықтың өту уақытын келесі формулалар бойынша есептеуге мүмкіндік береді:

$$t_1 = |AC| \cdot n_1/c; t_2 = |CB| \cdot n_2/c,$$

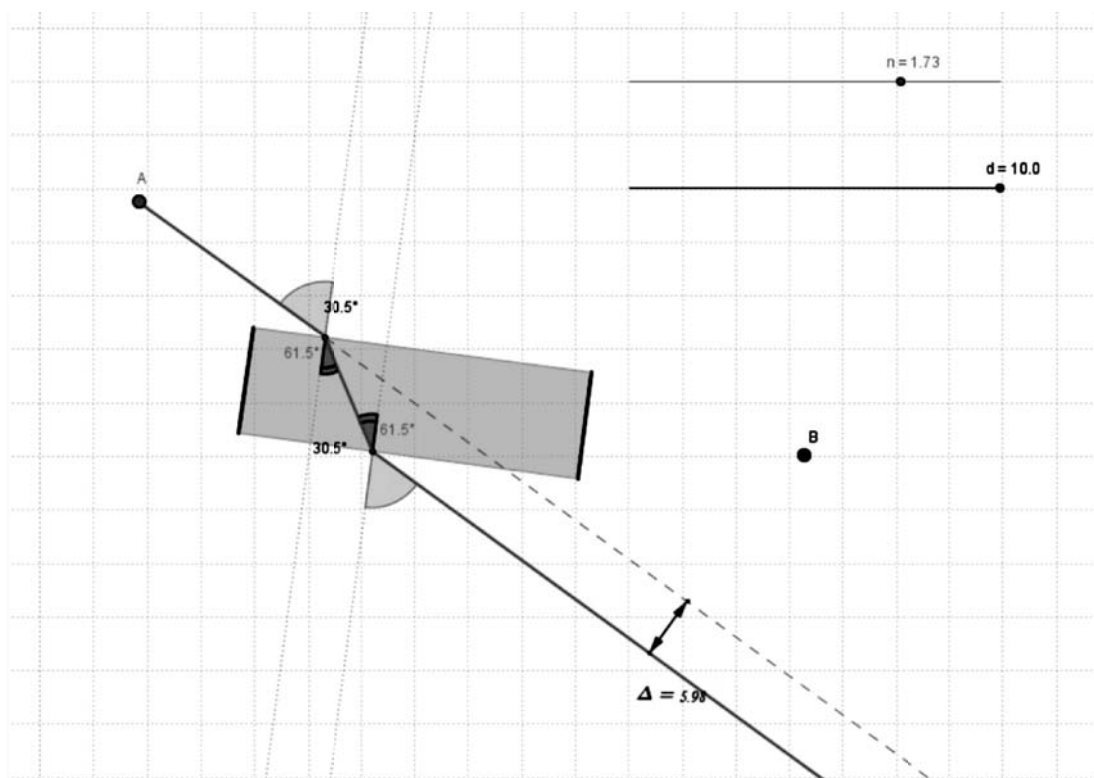
мұндағы n_1 мен n_2 — сәйкесті сыну көрсеткіштері (жүгіргіштер көмегімен беріледі); c — вакуумдағы жарық жылдамдығы (әмбебап әлемдік тұрақты).

Оқушылар сыну көрсеткіштерін мәндерін және бұл орталардағы жарық жылдамдықтарының мәндерін, жарық көзі мен қабылдағыштың орнын өзгерте отырып, AC және CB кесінділерін өту уақытының өзгересін және C нүктесінің орнын өзгерте отырып, оның қатысты орны — w параметрі қалай өзгередінін бақылау қажет. Кейін оқушылар Снелл заңының дұрыстығын тексеріп, қорытынды жасайды.



5-сурет. «Ферманың ең аз уақыт принципі» зертханалық жұмыстың компьютерлік моделі

Компьютерлік зертханалық жұмыс № 6. «Жазық параллель пластинада сәулелердің жүрісі». Жұмыстың мақсаты: жазық параллель пластинада сәулелердің жүрісін салу дағдысын меңгерту. Пластина қалыңдығын, пластина затының сыну көрсеткішін өзгерте отырып, сәуленің түсу мен сыну бұрыштарын, ығысу шамасын анықтау қажет. Пластинадан өткен кезіндегі сәулелердің ығысу шамасының түсу бұрышынан, пластинадан өткен кезіндегі сәулелердің ығысу шамасының пластина қалыңдығынан, пластинадан өткен кезіндегі сәулелердің ығысу шамасының пластинаның сыну көрсеткішінен тәуелділік графиктерін тұрғызу қажет. Соңында оқушылар жүргізілген бақылаулардан қорытынды жасайды.



6-сурет. Жазық параллель пластинада жарық сәулелерінің жүрісінің моделі

Осылайша, осы заманғы орта білім жағдайындағы ғылыми-техникалық үдеріс оны жаңа компьютерлік технологиялар деңгейге шығара отырып, дәстүрлі білім берудің бай педагогикалық әлеуетін пайдалануға бағытталған. Бұдан басқа, компьютерлік ақпараттық-оқыту зертханалары жағдайында оқу модельдері арқылы білімнің жаңа салаларын зерттеуде оқушыларда қоршаған орта құбылыстарын танып-білуде өздігінен жұмыс істеу қабілеті артады, өмір сүру барысында туындайтын міндеттерді шешу жолдарын өздігінен табу мүмкіндігі қалыптасады, алынған білімді тәжірибе жүзінде пайдалануға даярлығы артады. Ендеше, оқушылардың өздігінен жұмыс істеуіне септігін тигізетін компьютерлік зертханаларды пайдалану электронды білім беретін компьютерлік өнімді ендіру стратегиясындағы сәттіліктің ажырамас бөлігі болып табылады.

Егер компьютер оқыту іс-әрекетін басқару функциясы ретінде қолданылатын болса, оқыту құралы ролін атқарады. Яғни оқыту үрдісін модельдейді, оқушының сұрақтарына жауап бере алады, онымен интерактивті қарым-қатынасқа түседі. Қазіргі компьютерлік оқыту сапалық жағынан өте жоғары бағдарламалармен қамтамасыз етілген. Енді мұғалімнің міндеті қазіргі әдістемелік, педагогикалық-психологиялық талаптарға сай бағдарламаларды дұрыс таңдап, оларды шебер қолдана алуға саяды. Модельдеу үрдісі — ертеден қолданылып келе жатқан құбылыс. Компьютерлік модельдеудің пайда болып, қауырт дамуы жаңа теориялармен және модель түсінігінің жүйеленген ұғымдарымен толыға түсті. Нақты физикалық модельдерге қарағанда виртуалды модельдер әлдеқайда арзан, мобильді және кейбір жағдайларда функционалдылығы жоғары болып келеді. Тез немесе өте баяу үрдістерді виртуалды модельдерде қалаған жылдамдықта зерделей аламыз, сонымен қатар мектеп жағдайында жүргізуге мүмкін болмайтын қымбат немесе қауіпті үрдістер виртуалды зертханалық жұмыс арқылы жүзеге асырылады. Компьютерлік модельдерді қолдану терең сапалық және сандық талдау жасауға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Толстик А.М. Роль компьютерного эксперимента в физическом образовании // Физическое образование в вузах. — 2002. — Т. 8, № 2. — С. 94–102.
- 2 Якушкина А.А., Алексеева Е.В. Виртуальные лаборатории // Вопросы информатизации образования. — 2005. — № 7. — С. 145–148.
- 3 Михайлов В.Ю., Гостев В.М., Кузуркова В.В., Чузунов В.А. Виртуальная лаборатория как средство обеспечения коллективной научно-методической работы // ИТО-2002: Сб. тр. XII Междунар. конф. — М.: Проспект, 2002. — 320 с.
- 4 [ЭР]. Қолжетімділік тәртібі: <http://wiki.vspu.ru/workroom/ikto/m5/dimav/index>
- 5 [ЭР]. Қолжетімділік тәртібі: http://school-physics.spb.ru/tiki-index.php?page=virt_optics

К.А.Омарқұлов, С.Е.Сақыпова, Р.И.Жуманова, Ж.Т.Камбарова

Методика проведения компьютерных лабораторных работ по геометрической оптике

Статья посвящена методике проведения компьютерных лабораторных работ по геометрической оптике. Проведение компьютерных лабораторных работ на уроках физики дает возможность повысить эффективность изучения теоретических моделей физических процессов. Авторы показывают, что методические разработки уроков с использованием учебных компьютерных курсов направлены на формирование и развитие основных понятий геометрической оптики у учащихся, а также на закрепление и расширение знаний по данной теме. При проведении занятий с использованием компьютерных технологий предлагается сделать акцент на групповой форме работы исследовательского характера и организации самостоятельной работы в рамках данного исследования.

К.А.Омарқұлов, С.Е.Сақыпова, Р.И.Жуманова, Ж.Т.Камбарова

Methodology of computer lab works on geometrical optics

This work is dedicated to the methodology of computer labs on geometrical optics. Holding computer lab works on the lessons of physics gives the possibility of increasing the efficiency of the study of theoretical models of physical processes. Methodical development of lessons using computer educational courses are

aimed at the formation and development of the basic concepts of geometrical optics at students, and the consolidation and expansion of knowledge on the present theme. When conducting lab works with using of computer technology, focusing to the group form of exploratory nature and organization of individual work within the framework of this study is offered.

References

- 1 Tolstik A.M. *Physics in Higher Education [Fizicheskoye obrazovaniye v vuzakh]*, 2002, 8(2), p. 94–102.
- 2 Yakushkina A.A., Alekseeva Ye.V. *Questions of education informatization [Voprosy informatizazii obrazovaniya]*, 2005, 7, p. 145–148.
- 3 Mikhailov V.Yu., Gostev V.M., Kugurakova V.V., Chugunov V.A. *ITO-2002: XII Int. Conf. Proc.*, Moscow: Prospect, 2002, 320 p.
- 4 <http://wiki.vspu.ru/workroom/ikto/m5/dimav/index>
- 5 http://school-physics.spb.ru/tiki-index.php?page=virt_optics

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Aikeyeva, A.A.** — Candidate of Technical Sciences, Docent, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Aitpayeva, Z.K.** — Candidate of chemical sciences, Docent, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Akilbekov, A.T.** — Doctor of phys.-math. sciences, Professor, Dean of the Physical and Technical department, L.N.Gumilev Eurasian National University, Astana.
- Alpysova, G.K.** — Lecturer, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Barashkov, N.N.** — Doctor of chemical sciences, Professor, «Micro-Tracers» Inc., Department of R&D, San Francisco, CA.
- Baysagov, Ya.Zh.** — Undergraduate, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Berdaliyev, D.T.** — Candidate of phys.-math. sciences, Head of Physics and Mathematics Chair, South Kazakhstan State Pedagogical Institute, Shymkent.
- Botpayev, N.K.** — Student, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Guchenko, S.A.** — Junior researcher, Research Centre for ion-plasma technologies and modern instrumentation, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Irgibayeva, I.S.** — Doctor of chemical sciences, Professor, Department of Chemistry, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana.
- Kambarova, Zh.T.** — PhD, Senior lecturer, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Kolesnikov, V.A.** — Junior researcher, Research Centre for ion-plasma technologies and modern instrumentation, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Kusaiynov, K.** — Doctor of technical sciences, Professor, Head of the chair, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Laurinas, V.Ch.** — Candidate of phys.-math. sciences, Docent, Head of department, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Maksimkin, O.P.** — Doctor of phys.-math. sciences, Head of the Laboratory of radiation materials, Institute of Nuclear Physics, Almaty.
- Mazhenov, N.** — Candidate of phys.-math. sciences, Docent, Karaganda State Technical University.
- Mukhtarova, P.A.** — Assistant, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Naltayev, A.** — Candidate of phys.-math. sciences, Senior lecturer, South Kazakhstan State University, Shymkent.
- Nusupbekov, B.R.** — Candidate of technical sciences, Docent, Dean of the Physical and Technical department, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Omarkulov, K.A.** — Doctor of phys.-math. sciences, Professor, Head of the Mathematics and Physics Chair, Arkalyk State Pedagogical Institute named after I.Altynsarin.
- Omarov, N.N.** — Engineer, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Ospanova, D.A.** — Senior lecturer, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Rakhashev, B.K.** — Candidate of phys.-math. sciences, Senior lecturer, South Kazakhstan State Pedagogical Institute, Shymkent.
- Ranova, G.A.** — Engineer, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Russakova, A.V.** — Candidate of phys.-math. sciences, PhD student, L.N.Gumilev Eurasian National University, Astana.

- Sakhno, T.V.** — Doctor of chemical sciences, Professor, Poltava University of Economics and Trade, Ukraine.
- Sakhno, Yu.E.** — Doctor of sciences, Researcher, Poltava University of Economics and Trade, Ukraine.
- Sakipova, S.Ye.** — Candidate of phys.-math. sciences, Docent, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Sychkova, S.T.** — Graduate student, Poltava University of Economics and Trade, Ukraine.
- Takiyeva, A.M.** — Candidate of phys.-math. sciences, Senior lecturer, South Kazakhstan State University, Shymkent.
- Tanashev, E.T.** — Engineer, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Tanasheva, N.K.** — PhD student of the second course of Physical Technical Faculty, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Tolynbekov, A.B.** — Student of the 4 course of Physical Technical Faculty, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Turgunov, M.M.** — Undergraduate, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Yurov, V.M.** — Candidate of phys.-math. sciences, Docent, Director, Research Centre for ion-plasma technologies and modern instrumentation, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Zavatskaya, O.N.** — Undergraduate, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Zhakatayev, T.A.** — Doctor of technical sciences, Docent, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Zhautikov, B.A.** — The first Vice-Chancellor, Professor, Doctor of Technical Sciences, Kh.Dosmukhamedov Atyrau State University.
- Zhautikov, F.B.** — Assistant, Ye.A.Buketov Karaganda State University.
- Zhumanova, R.I.** — Head of the Physics Chair, Regional specialized boarding school for gifted children «Daryn», Karaganda.

**2013 жылғы «Қарағанды университетінің хабаршысында»
жарияланған мақалалардың көрсеткіші.
«Физика» сериясы**

№ б.

КОНДЕНСАЦИЯЛАНҒАН КҮЙДІҢ ФИЗИКАСЫ

<i>Алонцева Д.Л., Прохоренкова Н.В.</i> Болат төсеніштерге плазмалық ағынмен қондырылған ұнтақтық жабындының құрылымдық-фазалық күйі мен қасиеттерін сәулелендірумен модификациялау..	3	4
<i>Әбуова Ф.У., Ақылбеков А.Т., Үсейінов А.Б., Әбуова А.У., Қаптағай Г.</i> MgF ₂ кристалындағы Н-орталықтарының тұрақтылығы. Алғашқы принциппен есептеу.....	1	3
<i>Барашков Н.Н., Сахно Т.В., Сычкова С.Т., Иргібаева И.С., Сахно Ю.Е.</i> Сутартқыштығын көтермелеу мақсатымен политетрафторэтилен (ПТЭФ) нанобөлшектер бетінің түрөзгертушілік әдістері	4	4
<i>Дёмина И.А., Попова Г.В., Старостенков М.Д.</i> Cu ₃ Au құймасын реттеу үрдісіне нүктелік ақаулар кешенінің әсері.....	3	11
<i>Ермағанбетов Қ.Т., Чиркова Л.В., Қасенов Б.К., Сағынтаева Ж.И., Қасенова Ш.Б.</i> Алып магниттік кедергі — іргелі ғылымның салтанаты.....	3	17
<i>Жарекешев И.Х.</i> Холлдың кванттық эффектіндегі спектралдық корреляциялардың статистикасы..	1	8
<i>Зейниденов А.К., Оспанова Ж.Ж., Тенчурина А.Р., Савельева Н.А.</i> Қатты әдіспен алынған нанокеуекті алюминий оксидінің фотолюминесценциясы.....	3	28
<i>Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Крысина О.В., Шугуров В.В., Лопатин И.В.</i> Төмен қысымды доғалық разрядта титан нитридi негізінде жасалған көпкомпонентті нанокристалдық бүркемелерді синтездеу	3	34
<i>Құсайынов Қ., Сақыпова С.Е., Нүсіпбеков Б.Р., Айтпаева З.К., Оспанова Д.А.</i> Құрамында металл бар техногенді шикізаттың физика-химиялық қасиеттеріне электр импульстік өңдеудің әсерін зерттеу.....	4	48
<i>Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Завацкая О.Н.</i> Көпфазалы ионды-плазмалы жабындының құрылымы және қасиеттері.....	4	23
<i>Лауринас В.Ч., Завацкая О.Н., Гученко С.А.</i> Композициялық бүркемелердің қасиеттері мен құрылымдық-фазалық құрамы.....	3	45
<i>Максимкин О.П., Тақиева А.М., Налтаев А., Маженов Н., Бердалиев Д.Т., Рахашев Б.К.</i> Жылулық нейтрондармен сәулеленген реакторлық тоттанбайтын 12X18H10T болаттың шоғырланған деформациясының және физика-механикалық қасиеттерінің ерекшеліктері.....	4	34
<i>Русакова А.В., Ақылбеков А.Т.</i> Ауыр және жеңіл жоғарғы энергетикалық иондармен сәулеленген литий фторид кристалында бояу орталықтарының және агрегаттардың түзілуі	4	43
<i>Селиверстова Е.В., Ыбыраев Н.Х., Сейсенбаева Г.С.</i> Миристинат родамин 6 Ж және кумарин 7 молекуласы арасындағы индуктивті-резонанстық энергия алмасулары	2	4
<i>Старостенков М.Д., Обидина О.В., Захаров П.В., Маркидонов А.В., Дёмина И.А., Попова Г.В.</i> Ni–Al, Ni–Fe және Pt–Al биметалдар бөлімі шегіндегі атомдар кешенінің кооперативті жылжуы	2	11
<i>Ыбыраев Н.Х., Аймұханов А.К., Серіков Т.М.</i> Родамин бояғыштарымен сенсбилизацияланған Гретцель ұяшықтарының фотовольтаикалық қасиеттері.....	1	15
<i>Юров В.М.</i> Металдық нанокұрылымдардың механикалық беріктігі	3	56
<i>Юров В.М., Лауринас В.Ч.</i> Жамылғыны жауып жатқан жылулық өріс.....	4	16

АСПАПТАР ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕХНИКАЛАРЫ

<i>Үмбетов Ә.Ү., Садықова Б.С.</i> Лазерлік өлшегіш құралдар	2	65
--------------------------------------------------------------------	---	----

ТЕХНИКАЛЫҚ ФИЗИКА

<i>Антощенко В.С., Францев Ю.В., Жарекешев И.Х., Лаврищев О.А.</i> Концентраторлық күн элементтері негізінде жасалған жылу фотоэлектрлік түрлендіргіш	2	26
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	----

<i>Босяков М.Н., Бондаренко С.В., Жук Д.В., Козлов А.А., Поболь И.Л.</i> Машиналар мен механизмдердің бөлшектерін беріктендіруге арналған иондық-плазмалық азоттандыру құрылғылары және оларды қолдану	3	76
<i>Горлов Н.И., Мехтиев А.Д., Эйрих В.И., Югай В.В., Кишлова А.А.</i> Берілістің талшықты-оптикалық желілерінің мониторинг мақсаттары	1	31
<i>Горлов Н.И., Мехтиев А.Д., Эйрих В.И., Югай В.В., Оганезов Э.С.</i> Мониторинг жүйелерін құру принциптері және салыстырмалы талдауы	1	36
<i>Жәутіков Б.А., Айкеева А.А., Жәутіков Ф.Б., Мұхтарова П.А.</i> Электрмагниттік көтергіш қондырғысын жасау жолымен тау-кен массасын тасымалдау үшін энергия үнемдеу технологиясын енгізу	4	62
<i>Исмайылов Ж.Т., Колесников В.А., Закиев Д.М.</i> Ақпараттық-өлшеуіш жүйенің әмбебап таратқышының құрылымдық сұлбесін жасау	2	32
<i>Колесников В.А., Байсағов Я.Ж.</i> Жүйелердің ақпараттық-өлшегіштік ұқсастықтар әдісі және жобалау	1	44
<i>Колесников В.А., Халенов О.С., Байсағов Я.Ж., Юров В.М.</i> Композиттік электролиттердің иондық өткізгіштігіне ығалдың әсері	3	86
<i>Колесников В.А., Юров В.М., Байсағов Я.Ж.</i> Үдемелі өлшеудің теориялық жақтары	4	68
<i>Колесников В.А., Юров В.М., Исмайылов Ж.Т.</i> Ақпараттық-өлшеуіш жүйелерінің технологиялық мұрасы	2	38
<i>Құсайынов Қ., Алтысова Г.К., Танашиев Е.Т., Толынбеков А.Б., Танашиева Н.К.</i> Көмір сулы отын қасиеттеріне пластификаторлардың әсерін зерттеу	4	75
<i>Құсайынов Қ.Қ., Жақатаев Т.А., Нүсіпбеков Б.Р., Ботпаев Н.К.</i> Жел генераторының дөңгелек контурында магнит өрісін есептеу	4	80
<i>Лауринас В.Ч., Завацкая О.Н., Юров В.М., Гученко С.А.</i> Ионды-плазмалық жабуларды қалыптастырған кездегі автотолқынды процестер	1	56
<i>Лауринас В.Ч., Завацкая О.Н., Юров В.М., Гученко С.А.</i> Микроқаттылыққа және көпфазалы жамылғылардың трибологиялық қасиеттеріне термиялық өңдеудің әсері	2	48
<i>Мехтиев А.Д., Әлімов М.Ш., Боборыкин И.В., Дворкин С.В., Муравлев В.С.</i> Мониторингқа және жергілікті орналастыруына арналған сенсорлық торлардың өндірісте қолданысы	1	67
<i>Одинокое В.В., Долгополов В.М., Павлов Г.Я., Ращинский В.П., Шпаков А.Н., Шубников А.Н.</i> Инновациялық технологияларға қажетті вакуумдық-плазмалық және физика-термиялық қондырғылар	3	67
<i>Самоделькина С.В., Таткеева Г.Г., Оразғалиев Г.Ш., Эйрих В.И., Мехтиев А.Д., Югай В.В.</i> Телекоммуникациялық жүйені басқару және ақпаратты беру үрдістеріне қабылдаудың әсері	2	58

ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

<i>Арынгазин Қ.М., Мүсенова Э.К., Сейсембекова Т.Е.</i> Геометриялық ойлардың нанотехнологиядағы ролі	2	70
<i>Бадаева Л.С., Ильина Л.Ф.</i> Интерактивтік технологияларды қолдана отырып мектепте және жоғарғы білім беретін орындарда термодинамика бойынша сабақ өткізу әдістері	3	95
<i>Ермаганбетов Қ.Т., Чиркова Л.В., Аринова Е.Т.</i> «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» оқу бағдарламасының пәндерінде дәстүрлі емес дәрістерді қолдану	2	75
<i>Ильина Л.Ф., Құралбаева Ж.Ш.</i> Дәстүрлі және интерактивті технологияларды қолдана отырып Максвелл теориясы бойынша есеп шешімдеріне салыстырмалы сараптама жүргізу	3	105
<i>Омарқұлов К.А., Сақыпова С.Е., Жұманова Р.И., Қамбарова Ж.Т.</i> Геометриялық оптика тақырыбы бойынша компьютерлік зертханалық жұмыстарды өткізу әдістемесі	4	88

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ

<i>Құсайынов Қ., Дүйсенбаева М.С., Алтысова Г.К., Танашиев Е., Толынбеков А.</i> Суасты ұшқын разрядының шұбаркөл көмірінің құрылымына әсері	1	21
<i>Құсайынов Қ., Жуандықова Г.А., Ахмадиев Б.А., Шуюшбаева Н.Н., Қужуханова Ж.А.</i> Жылу сорғыларындағы жылу сорғыш элементтерін орналастыру үшін ұңғыларды бұрғылаудың электрогидроимпульстік технологиясын жасау	2	20

<i>Құсайынов Қ., Қамбарова Ж.Т., Тұрғынов М.М., Омаров Н.Н., Ранова Г.А.</i> Беттік пішіні динамикалық өзгермелі қалақшалы жел турбинасы моделінің аэродинамикалық сипаттамаларын зерттеу.....	4	55
<i>Нүсіпбеков Б.Р., Хасенов А.Қ., Ахметова Г.Қ., Дүйсембекова Ә.С., Бейсенбек А.Ж.</i> Электрондық өндірісте қолданылатын шикізатты өңдеу технологиясы.....	1	26
<i>Стоев М., Құсайынов Қ., Тұрдыбеков Қ.М., Шуюшбаева Н.Н., Құжуханова Ж.А.</i> Тасты жердегі жылу алмасу ұңғыларды бұрғылаудың электротехнологиясы.....	3	62

**Указатель статей, опубликованных
в «Вестнике Карагандинского университета» в 2013 году.
Серия «Физика»**

№ с.

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

<i>Barashkov N.N., Sakhno T.V., Sychkova S.T., Irgibayeva I.S., Sakhno Yu.E.</i> Methods of modification of the surface of PTFE nanoparticles with a purpose to increase their hydrophilic properties	4	4
<i>Jurov V.M., Laurinas V.Ch.</i> Thermal field of besieged coverings.....	4	16
<i>Koval N.N., Ivanov Yu.F., Krysin O.V., Shugurov V.V., Lopatin I.V.</i> Synthesis of multicomponent nanocrystalline coatings based on titanium nitride in arc low-pressure discharges.....	3	34
<i>Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N.</i> Structure and properties of multiphase ionic-plasma coverings.....	4	23
<i>Абуова Ф.У., Акылбеков А.Т., Усеинов А.Б., Абуова А.У., Каптагай Г.</i> Стабилизация Н-центров в кристалле MgF ₂ . Расчеты из первых принципов.....	1	3
<i>Алонцева Д.Л., Прохоренкова Н.В.</i> Модификация облучением структурно-фазового состояния и свойств порошковых покрытий, нанесенных плазменной струей на стальные подложки.....	3	4
<i>Дёмина И.А., Попова Г.В., Старостенков М.Д.</i> Влияние комплексов точечных дефектов на процесс разупорядочения сплава Cu ₃ Au.....	3	11
<i>Ермаганбетов К.Т., Чиркова Л.В., Касенов Б.К., Сагинтаева Ж.И., Касенова Ш.Б.</i> Гигантское магнетосопротивление — триумф фундаментальной науки	3	17
<i>Жарекешев И.Х.</i> Статистика спектральных корреляций в квантовом эффекте Холла	1	8
<i>Зейниденов А.К., Оспанова Ж.Ж., Тенчурина А.Р., Савельева Н.А.</i> Фотолуминесценция нанопористого оксида алюминия, полученного жестким методом анодирования	3	28
<i>Ибраев Н.Х., Аймуханов А.К., Сериков Т.М.</i> Фотovoltaические свойства ячеек Гретцеля, sensibilizированных родаминовыми красителями.....	1	15
<i>Кусаиынов К., Сакипова С.Е., Нусунбеков Б.Р., Айтпаева З.К., Оспанова Д.А.</i> Исследование влияния электроимпульсной обработки на физико-химические свойства металлсодержащей руды	4	48
<i>Лауринас В.Ч., Завацкая О.Н., Гученко С.А.</i> Структурно-фазовый состав и свойства композиционных покрытий.....	3	45
<i>Максимкин О.П., Такиева А.М., Налтаев А., Маженов Н., Бердалиев Д.Т., Рахашев Б.К.</i> Особенности локализованной деформации и физико-механические свойства реакторной нержавеющей стали 12X18H10T, облученной тепловыми нейтронами.....	4	34
<i>Русакова А.В., Акылбеков А.Т.</i> Образование центров окраски и агрегатов в кристаллах фторида лития, облученных высокоэнергетическими легкими и тяжелыми ионами	4	43
<i>Селиверстова Е.В., Ибраев Н.Х., Сейсенбаева Г.С.</i> Индуктивно-резонансный перенос энергии между молекулами кумарина 7 и миристината родамина 6Ж.....	2	4
<i>Старостенков М.Д., Обидина О.В., Захаров П.В., Маркидонов А.В., Дёмина И.А., Попова Г.В.</i> Кооперативные смещения комплексов атомов на границе раздела биметаллов Ni–Al, Ni–Fe и Pt–Al.....	2	11
<i>Юров В.М.</i> Механическая прочность металлических наноструктур	3	56

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

<i>Stoyev M., Kussaiynov K., Turdybekov K.M., Shuyushbayeva N.N., Kuzhukhanova Zh.A.</i> Electro technology of heat exchange drilling in rocky soil.....	3	62
<i>Кусаиынов К., Дүйсенбаева М.С., Алтысова Г.К., Танаишев Е., Толынбеков А.</i> Влияние подводного искрового разряда на структуру шубаркольских углей	1	21
<i>Кусаиынов К., Жуандыкова Г.А., Ахмадиев Б.А., Шуюшбаева Н.Н., Кужуханова Ж.А.</i> Разработка электрогидроимпульсной технологии бурения скважин для установки теплосъемных элементов тепловых насосов	2	20
<i>Кусаиынов К., Камбарова Ж.Т., Тургунов М.М., Омаров Н.Н., Ранова Г.А.</i> Исследование аэродинамических характеристик модели ветротурбины с динамически изменяемой формой поверхности лопастей	4	55

<i>Нусупбеков Б.Р., Хасенов А.К., Ахметова Г.К., Дюсембекова А.С., Бейсенбек А.Ж.</i> Технология обработки сырья для электронной промышленности	1	26
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	----

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

<i>Kolesnikov V.A., Jurov V.M., Bajisagov J.Z.</i> Theoretical aspects dynamic weighings.....	4	68
<i>Антощенко В.С., Францев Ю.В., Жарекешев И.Х., Лаврищев О.А.</i> Концентраторный тепло-фото-электрический преобразователь солнечной энергии	2	26
<i>Босяков М.Н., Бондаренко С.В., Жук Д.В., Козлов А.А., Поболь И.Л.</i> Оборудование и применение ионно-плазменного азотирования для упрочнения деталей машин и механизмов	3	76
<i>Горлов Н.И., Мехтиев А.Д., Эйрих В.И., Югай В.В., Кишалова А.А.</i> Задачи мониторинга волоконно-оптических линий передачи.....	1	31
<i>Горлов Н.И., Мехтиев А.Д., Эйрих В.И., Югай В.В., Оганезов Э.С.</i> Сравнительный анализ и принципы построения систем мониторинга.....	1	36
<i>Жаутиков Б.А., Айкеева А.А., Жаутиков Ф.Б., Мухтарова П.А.</i> Внедрение энергосберегающей технологии транспортировки горной массы путем создания электромагнитной подъемной установки.....	4	62
<i>Исмаилов Ж.Т., Колесников В.А., Закиев Д.М.</i> Разработка структурной схемы универсального передатчика информационно-измерительной системы	2	32
<i>Колесников В.А., Байсагов Я.Ж.</i> Метод аналогий и проектирование информационно-измерительных систем	1	44
<i>Колесников В.А., Халенов О.С., Байсагов Я.Ж., Юров В.М.</i> Влияние влажности на ионную проводимость композитных электролитов.....	3	86
<i>Колесников В.А., Юров В.М., Исмаилов Ж.Т.</i> Технологическая наследственность информационно-измерительных систем	2	38
<i>Кусаиынов К.К., Алтысова Г.К., Танашев Е.Т., Толынбеков А.Б., Танашева Н.К.</i> Исследование воздействия пластификаторов на свойства водоугольного топлива	4	75
<i>Кусаиынов К.К., Жакатаев Т.А., Нусупбеков Б.Р., Ботпаев Н.А.</i> К расчету магнитных полей в замкнутых кольцевых контурах ветровых электрогенераторов.....	4	80
<i>Лауринас В.Ч., Завацкая О.Н., Юров В.М., Гученко С.А.</i> Автоволновые процессы при формировании ионно-плазменных покрытий	1	56
<i>Лауринас В.Ч., Завацкая О.Н., Юров В.М., Гученко С.А.</i> Влияние термической обработки на микротвердость и трибологические свойства многофазных покрытий.....	2	48
<i>Мехтиев А.Д., Алимов М.Ш., Боборыкин И.В., Дворкин С.В., Муравлев В.С.</i> Применение сенсорных сетей для мониторинга и локального определения местоположения в промышленности	1	67
<i>Одинокоев В.В., Долгополов В.М., Павлов Г.Я., Рацинский В.П., Шпаков А.Н., Шубников А.Н.</i> Вакуумно-плазменное и физико-термическое оборудование для инновационных технологий	3	67
<i>Самоделькина С.В., Таткеева Г.Г., Оразгалиев Г.Ш., Эйрих В.И., Мехтиев А.Д., Югай В.В.</i> Влияние отказов на процессы управления телекоммуникационной системой и передачи информации в ней	2	58

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

<i>Ermaganbetov K.T., Chirkova L.V., Arinova E.T.</i> Use of nonconventional lectures in disciplines of the specialty «Radio engineering, electronics and telecommunications».....	2	75
<i>Il'ina L.F., Kuralbayeva Zh.Sh.</i> Comparative analysis of solutions the problems on the Maxwell theory with the use of traditional and interactive technologies.....	3	105
<i>Арынгазин К.М., Мусенова Э.К., Сейсембекова Т.Е.</i> Роль геометрических идей в нанотехнологии....	2	70
<i>Бадаева Л.С., Ильина Л.Ф.</i> Использование интерактивных технологий при изучении основ термодинамики в школе и вузе	3	95
<i>Омаркулов К.А., Сакипова С.Е., Жуманова Р.И., Камбарова Ж.Т.</i> Методика проведения компьютерных лабораторных работ по геометрической оптике.....	4	88

ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

<i>Умбетов А.У., Садыкова Б.С.</i> Лазерные измерительные устройства.....	2	65
---------------------------------------------------------------------------	---	----