

Ожандар

ISSN 0002-3221

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН
УЛУТТУК ИЛИМДЕР
АКАДЕМИЯСЫНЫН

КАБАРЛАРЫ



ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

*Серия физико-технических, математических,
горно-геологических наук*

2011

2

1

ISSN 0002-3221

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН
УЛУТТУК ИЛИМДЕР АКАДЕМИЯСЫНЫН

КАБАРЛАРЫ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

*Серия физико-технических, математических,
горно-геологических наук*

2011

БИШКЕК

№ 2

“ИЛИМ”



СОДЕРЖАНИЕ

MAZMUNU

CONTENTS

Редакционно-издательская коллегия:

академик *Ш.Ж. Жоробекова* (президент НАН КР) (главный редактор),
академик *В.М. Плоских* (вице-президент НАН КР) (зам. гл. редактора),
академик *Д.К. Кудаяров* (вице-президент НАН КР),
член-корр. *Т.Т. Оморов* (вице-президент НАН КР)

Редакционный совет:

академик *Ш.Ж. Жоробекова* (президент НАН КР) – председатель,
академик *В.М. Плоских* (вице-президент НАН КР) – зам. председателя,
академик *У.А. Асанов*, академик НАН КР *А.А. Айдаралиев*,
академик *И.Т. Айтматов*, академик НАН КР *Дж. А. Акималиев*,
академик *А.А. Борубаев*, академик НАН КР *А.Ч. Какеев*,
академик *Т.К. Койчуев*, академик НАН КР *М.Т. Мамасаидов*,
академик *Д.М. Маматканов*, академик НАН КР *Ж.Ш. Шаршеналиев*

Секретариат

член-корр. НАН КР *И.А. Ашимов* (отв. секретарь)

Журнал основан в 1966 г.

Редакторы – *Р.Д. Мукамбетова, Е.В. Комарова*

Компьютерная верстка – *А.Ж. Малдыбаев*

Дизайн обложки – *А.Ж. Малдыбаев*

Подписано в печать 10.09.11. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная.

Объем 20 п.л., 19.2 уч.-изд. л. Тираж 100 экз.

Издательство “Илим”,

720071, г. Бишкек, проспект Чуй, 265а

ОМОРОВ Т.Т. Итоги и перспективы развития науки отделения физико-технических, математических и горно-геологических наук нан кр 7

КР УИАнын Физика-техникалык, математикалык жана тоо-геологиялык илимдер бөлүмүндөгү илимдин өнүгүшүнүн жыйынтыктары

Results and prospects of science development of the division of physical-technical, mining and geological sciences of the national academy of sciences of the Kyrgyz Republic

ВОДНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

МАМАТКАНОВ Д.М., МУРТАЗАЕВ У.И., САИДОВ И.И. Роль малых и средних водохранилищ в защите от селевых потоков (на примере Таджикистана) 11

Сел ташкындарынан коргонуудагы орто жана кичи суу сактагычтардын ролу (Тажикстандын мисалында)

The role of small reservoirs protection from mudslides (For example Tajikistan)

МАМАТКАНОВ Д.М., ТУЗОВА Т.В. Оценка питания вод Токтогульского водохранилища уран-изотопным методом 14

Уран-изотоптук ыкмасы аркылуу Токтогул суу сактагычындагы суу азыктарынын бааланышы

Use of uranium-isotopic method for assesment of the Toktogulsky reservoir feeding

ДОВГАНЬ В.И., ФРОЛОВА А.Г. Записи событий на Токтогульской плотине, не связанных с пусками гидроагрегатов и землетрясениями 19

Жер титирөөлөр жана гидроагрегаттардын ишке киргизүүлөрү менен байланышпаган Токтогул плотинасындагы окуялардын белгиси

Records of events on the Toktogul dam, not connected with earthquakes and hydro-unit start-ups

ШАТРАВИН В.И., ТУЗОВА Т.В. Долгосрочное прогнозирование оледенения и оценка ледовых ресурсов Центральной Азии с помощью изотопных методов 24

Изотоптук ыкма аркылуу Борбордук Азиядагы мөңгү тонусунун узак мөөнөттүк маалыматы жана мөңгү ресурстарынын бааланышы

Long-term Forecast of Glaciation and Evaluation of Glacial Resources of the Central Asia with the Use of Isotopic Methods

РОМАНОВСКИЙ В.В., ТАШБАЕВА С.Э. Седиментационные процессы в береговой зоне озера Иссык-Куль 28

Ысык-Көлдүн жээктериндеги седиментациондук көрүнүштөр

Sedimentary processes in coastal zone of Issyk-Kul lake

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ

РАИМКУЛОВ М.Н. Новый взгляд на опыт ФИЗО 33

ФИЗОнун тажрыйбасына жаңы көз караш

The new view at FIZEAU experiment

ОРМОНБЕКОВ Т.О. Методы решения краевых задач осесимметричной теории упругости 36

Осесимметриялык серпилүү теориясынын крайлык маселелерин чечүү ыкмалары

Methods for salvation boundary problems of axisymmetric theory of elasticity

МОМБЕКОВ Ч. Наноминералогия и проблема диагностики тонкодисперсного золота в сульфидах	42
Наноминералогия жана майда дисперстүү алтындын сульфидте жайгашуусунун аныктоо маселеси	
Nanomineralogy and the problem of diagnostics of fine-dispersed gold in sulphides	
МАРУФИЙ А.Т., АЙТИЕВ М.А., ДЖУСУЕВ У.С. Изгиб бесконечной плиты на упругом основании с учетом неполного контакта с основанием в виде перекрестных траншей	45
Кесилишкен ноочолор түрүндөгү ийилчек негиз менен толук эмес байланышта болгон чексиз плитанын ийилүүсү	
Curse of interminable slab on vigilante base with account of incompletes contact with a crossing trenches base	
ЗАДИРАНОВ А.Н., ГРУЗД Н.С., ВИНОГРАДОВ В.В. Энергораспределение в процессах электроискрового легирования	49
Электрдик учкун легирлөөнүн процесстердеги электрдик бөлүштүрүүсү	
Distribution of energy in electrosark inclusion processes	

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ШАРШЕНАЛИЕВ Ж., БАКАСОВА А. О некоторых основах системного анализа динамических систем методом синергетического управления	55
Динамикалык системаларды синергетикалык башкаруу усулдары аркылуу системалуу анализдөөнүн айрым негиздери жөнүндө	
On some basis of system analysis of dynamic systems by the method of synergistic control	
КОЖЕКОВА Г.А., ОМОРОВ Т.Т. Адаптивное управление линейными нестационарными системами в условиях неопределенности	60
Сызыктуу стационардык эмес системаларды аныкталбаган шарттарда адаптивдик башкаруу	
Adaptive control by the linear nonstationary systems in the conditions of uncertainty	
БАТЫРКАНОВ Ж.И. Адаптивное управление программным движением	63
Программалык кыймылды ыңгайлаштырып башкаруу	
Adaptive control of programmed movement	
ПАНКОВ П.С. Энергетическое определение понятия «язык», Его применение и возможности технической реализации	66
Тил түшүнүгүн энергиялык аныктоо, аны колдонуу жана техникалык жүзөгө ашыруусунун мүмкүнчүлүктөрү	
Energetic definition of the notion "language", its applications and possibilities of technical implementation	
ДУЙШЕНАЛИЕВ Т.Б. Определение функций перемещения по элементам тензора Коши	71
Коши тензору элементтери боюнча функциялардын которулуштарын аныктоо	
Determination of the displacement on Cauchy tensor elements	
УРУСОВА Т.Э., УРУСОВА И.Р. Численное исследование электрической дуги во внешнем поперечном магнитном поле	76
Сырткы туурасынан кеткен магнит талаасындагы электр жаасын сандык изилдөө	
Numerical research of electric arc in external cross magnetic field	

КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ И ОСВОЕНИЕ НЕДР ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

БАКИРОВ А.Б., МЕЗГИН И.А., БЕКТЕМИРОВА Т.А., УСЕНОВ М. Строение палеогена Кызылтокойской впадины (южные предгорья Чаткальского хребта)	81
Кызылтокой ойдуңундагы палеогендин түзүлүшү (Чаткал кырка тоосунун түштүк этеги)	
The structure of Paleogene within the Kyzyltokoy depression (Southern foot of Chatkal ridge)	

ДЖУМАБАЕВА А.Б., ФОРТУНА А.Б. Результаты изучения кайнозойских отложений площади Чолпон-Ата, Северное Прииссыккулье	87
Кайнозой катмарларынын изилдөө жыйынтыгы ысык-көлдүн түндүк жээги, Чолпон-Ата участогу	
Results of cenozoic deposits' study in Cholpon-Ata test area, Northern Issyk-Kul lake region	
КОЖОГУЛОВ К.Ч., НИКОЛЬСКАЯ О.В. Основные принципы обеспечения безопасности при открытой разработке нагорных месторождений	91
Бөксө тоолуу кең чыгуучу жерлерди жер үстүндө иштетип чыгаруудагы коопсуздукту камсыздоонун негизги принциптери	
Main principles of maintenance of safety at open-cast mining of upland deposits	
АМАНАЛИЕВ А.А. Применение рядов Фурье в исследовании распределений остаточных напряжений в твердых телах	97
Катуу телолордогу калдыктуу чыңалууларды изилдөөдө Фурьенин катарларын колдонуу	
The using of series Fourier in distribution research of residual stresses in solid bodies	
АЛЕШИН Ю.Г. Оценка геотехнических рисков методами факторного анализа	100
Фактордук анализ усулдары аркылуу геотехникалык тобокелчиликтерди баалоо	
Estimation geotechnical risk by methods of the factor analysis	
ФРОЛОВА А.Г., ДЖАНУЗАКОВ К.Д., ПЕРШИНА Е.В., ШУКУРОВА Р., ЯНКЕВИЧ Т.Н. Параметры сейсмоактивных зон Кыргызстана: повторяемость землетрясений и вероятностная максимальная магнитуда	106
Кыргызстандагы сейсмоактивдүү тилкелеринин өлчөмдөрү: жер титирөөлөрдүн кайталанышы жана мүмкүн болуучу эң жогорку магнитудасы	
Parameters of seismoactive zones of Kyrgyzstan: repeatability of earthquakes and probably greatest magnitude	
ТАЖИБАЕВ К.Т., СУЛТАНАЛИЕВА Р.М. Остаточные напряжения разных масштабно-структурных уровней и анализ их изменения на основе структурно-механической модели неоднородного твердого материала	110
Ар кандай масштабдык-структуралык деңгээлдеги калдыктуу чыңалуулар жана алардын өзгөрүүлөрүн ар түркүн курамдуу катуу заттардын структуралык-механикалык моделинин негизинде иликтөө	
The residual stresses of different scale – structural levels and analysis theirs changes on basis of structural – mechanical model of heterogeneous solid material	
ЕРОХИН С.А., ТУЗОВА Т.В. Типы моренно-ледниковых комплексов как критерий регрессии оледенения Тянь-Шаня	115
Тянь-Шандагы тоңгон мөңгүлөрдүн регрессиясы суукар-мөңгү комплекстердин түрлөрүнүн критерийи катарында	
Types of moraine and glacial complexes as criterion of the regression of the Tien-Shan glaciation	
УСУПАЕВ Ш.Э. Инженерная геонимия и катастрофование основы Общей теории Земли	118
Инженердик геонимия жана катастрофалык изилдөө Жалпы Жердин теориясынын негизи.	
Engineering geonomic and Accident-conducting bases of the General Theory of the Earth	
СУЛТАНАЛИЕВ Б.С., МЕЛИС УУЛУ Д., СОЛПИЕВ С.Т. Создание конструкции вибропрессующего оборудования для брикетирования угольной мелочи	125
Көмүрдүн майда калдыктарын брикеттөө үчүн вибропресстөөчү шаймандын конструкциясын түзүү	
Creation of vibrating press facility for coal fines briquetting.	

НАНОТЕХНОЛОГИИ

- ТОКТОГОНОВ С.А., КОЖОЕВА С.Т., ТОКТОРБАЕВ Э.М. Лазерное испарение графитовых образцов в сильном электрическом поле 130
 Күчтүү электр талаасында графитти лазердик бууландыруу
 A laser the evaporation of graphite samples in a strong electric the field
- ЛАСАНХУ К.А., КАСМАМЫТОВ Н.К. Химическая устойчивость нано- и ультраструктурированных керамокомпозиционных материалов в концентрированных кислотах и щелочах 132
 Концентрацияланган кислоталарда жана жегичтерде керамокомпозициондук нано- жана ультратүзүлүштүрүлгөн материалдардын химиялык туруктуулугу
 The chemical stability for nano- and ultra structured ceramic composites materials in concentrates acids and alkalis
- АССАКУНОВА Б.Т., ИМАНАЛИЕВА Д.А. Наносистемы в вяжущих материалах 135
 Токулма материалдардын наносистемасы
 Nanosystems in knitting materials
- ЖЭЭНБЕКОВ А.А., АККОЗИЕВ И.А., ДЕМЬЯНОВИЧ П.Д. Исследование гальванических осадков с помощью сканирующего туннельного микроскопа 140
 Сканердик туннельдик микроскоптун жардамы менен гальваникалык чөкмөлөрдү изилдөө
 Investigation of galvanic precipitation from a scanning tunneling microscope
- АССАКУНОВА Б.Т., КИМ В. Малощелочные золоминеральные вяжущие вещества на основе песчаника 146
 Кумдун негизинде алынган щелочтуулугу төмөн золоминералдык токулма заттар
 Low-alkali zolomineralnye cementations material on the basis of sandstone
- КЕРИМБАЕВА А.Д. Получение и характеристика магнитоактивных нанокмозитов на основе гуминовых кислот и их производных 150
 Гумин кислотасынын жана анын туундуларынын негизинде алынган магниттик активдүү нанокмозиттердин алынышы жана мүнөздөмөсү
 Preparation and characterization of magnetically active nanocomposites based on humic acids and their derivatives

ЮБИЛЕИ

- А.Ж. ЖАЙНАКОВ 153
 Т.Т. ОМОРОВ 155
 М.И. ИМАНАЛИЕВ 157
 М.Х. ИМАЗОВ 159
 Ш. ЖАПАРОВ 160

УДК 001:62 (575.2)(04)

Итоги и перспективы развития науки отделения физико-технических, математических и горно-геологических наук НАН КР

Т.Т. ОМОРОВ – вице-президент НАН КР, член-корреспондент
НАН КР

Results and prospects of research studies development of research and development establishments of the Division of Physical-technical, mining and geological sciences of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic are presented in the article.

Социально-экономическое развитие современного общества основывается на достижениях науки, новых знаниях и передовых технологиях. Научная среда, институты науки, стратегия научного поиска – это не балласт рыночной экономики нашей страны, а важнейший ее двигатель и гарант конкурентоспособности экономики.

Поэтому деятельность институтов Отделения физико-технических, математических и горно-геологических наук Национальной академии наук КР ориентирована на решение важнейших задач экономики страны, нашими учеными внесен достойный вклад в освоение природных богатств кыргызской земли, создание новейших технологий, приборов, оборудования, машин и механизмов. Важнейшими приоритетами на сегодняшнем этапе становятся вопросы развития промышленности страны, проблемы энергетики и водных ресурсов, прогнозирования и предупреждения природных и природно-техногенных катастроф, развития информационно-коммуникационных и нанотехнологий.

Исследования выполняются в Институтах: машиноведения; физико-технических проблем и материаловедения; геомеханики и освоения недр, водных проблем и гидроэнергетики; геологии;

сейсмологии; автоматики и информационных технологий.

Одним из перспективных направлений восстановления и развития промышленности в республике может стать производство машин для горнорудной промышленности, гидротехнического, гражданского и дорожного строительства, добычи и обработки природного камня.

У нас имеются разработки, доведенные до опытных и промышленных образцов, которые могли бы выпускаться на базе машиностроительных заводов страны. Это даст возможность не только значительно сократить закупку аналогичной техники за рубежом, что происходит в настоящее время, но и привлечь инвестиции на развитие отечественной промышленности. К наиболее значимым импортозамещающим разработкам можно отнести гидравлические молоты различной энергией удара, станки для геологоразведочного бурения с взятием керна, автономные буровые агрегаты для определения грунтовых вод, буровзрывных и инженерных работ, вращательно-ударные бурильные механизмы с гидравлическим приводом, ручные инструменты и перфораторы. Ряд этих машин разработан по заказам горнодобывающих, строительных и металлургических предприятий Кыргызстана, России и Казахстана.

По технико-эксплуатационным показателям машины не уступают зарубежным аналогам, а по стоимости в 2–3 раза ниже.

Значительное внимание ученые Отделения ФТМиГН уделяют разработке современных наукоемких технологий с использованием местного сырья. Созданы технологии получения синтетических алмазов с использованием местного углеродсодержащего сырья и разработаны технологии изготовления высокоэффективных композиционных алмазосодержащих материалов инструментального назначения. Незаменимой для нашей промышленности может стать технология получения нитрида кремния на базе отходов полупроводниковой промышленности республики. Изделия из нитрида кремния имеют уникальные свойства по прочностным характеристикам, термоциклической стойкости, стойкости в агрессивных средах и в то же время значительно легче сплавов железа. Плазменные технологии могут найти широкое применение в восстановлении и упрочении деталей машин для автомобильной, дорожно-строительной и сельскохозяйственной техники и переработки твердых бытовых и медицинских отходов.

Актуальными и особенно важными для страны являются изучение водноэнергетического потенциала малых рек и водотоков, исследование их возможностей для установки малых и микроГЭС с целью обеспечения электроэнергией удаленных горных территорий. Так, оценка гидроэнергетических ресурсов Джеты-Огузского района позволила установить территории для размещения 12 микроГЭС на реках этого региона и определить оптимальную конструкцию микроГЭС для горных регионов Кыргызстана.

Сегодня остро стоит вопрос совершенствования системы учета и контроля потребляемой электроэнергии, которая обеспечивала бы снижение коммерческих потерь, и в первую очередь в распределительных сетях. В Академии наук создана автоматизированная система дистанционного контроля, учета и обработки информации о потребляемой электроэнергии, которая обеспечивает снижение уровня коммерческих потерь путем исключения случаев искажения показателей фактического потребления. Опытный образец системы прошел апробацию на одной из подстанций АО «Северэлектр».

Учитывая, что Кыргызстан находится в зоне, подверженной землетрясениям, оползням, обвалам и другим катастрофическим явлениям,

Институты наук о земле проводят активные исследования по оценке территорий, подверженных проявлениям стихийно-разрушительных процессов, выявлению причин их возникновения как природного, так и антропогенного характера и подготовке рекомендаций по снижению риска и последствий этих явлений.

Учеными Академии наук накоплен определенный опыт создания и изготовления приборов геофизического и геомеханического контроля, которые позволяют на ранних стадиях геотехнического освоения породного массива, в строительстве и реабилитации горных дорог, гидротехническом строительстве оценить степень потенциального риска проявления природно-техногенных катастроф, таких, как оползни, обрушения, горные удары, техногенные землетрясения.

Опытные образцы приборов используются при оценке устойчивости откосов и склонов при реабилитации автодороги Бишкек–Ош и Токтогульского водохранилища, на карьерах Макмал и Кумтор, для мониторинга оползневых процессов в районе размещения хвостохранилищ г. Майлуу-Суу, в проектах реабилитации хвостохранилищ бывших урановых производств, финансируемых Азиатским банком.

Ряд рекомендаций ученых-горняков используется при составлении ТЭО месторождения Джеруй, золотосодержащих месторождений Талды-Булак Левобережный и Андаш.

Результаты исследований в области сейсмологии способствуют снижению ущерба от ожидаемых землетрясений и получению экономического эффекта при проектировании и строительстве объектов гражданского и производственного назначения.

Созданные карты сейсмического районирования различных территорий республики и карты сейсмического микрорайонирования городов и населенных пунктов Кыргызстана систематически передаются в Госархстрой КР и МЧС КР и являются основой для разработки нормативных документов в строительстве и рациональном землепользовании. Кроме того, они используются для планирования мероприятий с целью уменьшения возможного риска и экономического ущерба от сейсмодкатастроф.

Значительное внимание сейсмологи уделяют переоснащению сейсмических станций современным цифровым оборудованием. С помощью американских коллег было заменено 10 аналоговых станций на цифровые. В настоящее время достиг-

нута договоренность с норвежскими учеными о переоборудовании еще 10 аналоговых сейсмических станций.

Использование информационных технологий является одним из основных факторов развития общества, повышения уровня развития экономики, улучшения социальной сферы. Информационно-коммуникационные технологии объявлены в нашей стране приоритетным направлением развития науки и общества.

В Институте автоматизации и информационных технологий разработаны и внедрены: геоинформационная система для инженерно-коммуникационных служб городов (внедрена в АО «БГТС» и «Кыргызгаз»); компьютерная система управления процессами выращивания поликристаллического кремния; микропроцессорная система управления поливом сельскохозяйственных культур, позволяющая экономить поливную воду и повысить урожайность культур за счет оптимизации влажностного режима. Разрабатывается информационная система мониторинга селевой опасности и оповещения о возможных катастрофических явлениях. В области технической кибернетики создано новое направление – теория систем управления с гарантируемой динамикой, в рамках которой предложен новый, достаточно универсальный подход к динамическому проектированию систем автоматического управления (САУ) техническими объектами и технологическими процессами непосредственно по инженерным критериям качества. Существенное развитие получили теория и методы оптимизации САУ сложными динамическими объектами с разделяемым движением. Результаты исследований нашли практическое применение при проектировании систем управления промышленными электроприводами, энергетическими и другими объектами. Они являются основой для создания алгоритмического и программного обеспечения автоматизированных информационных систем управления в различных отраслях промышленности.

В Институте водных проблем и гидроэнергетики создана Географическая информационная система «Иссык-Куль» (ГИСИК), включающая базу данных по водным объектам (реки, гидрологические посты, водозаборы и др.) и электронные карты региона.

В Национальной академии наук при содействии японского правительства создан Национальный центр информационных технологий Кыргызской Республики, задачей которого явля-

ется подготовка инженерных кадров для становления и развития информационно-технологической промышленности в Кыргызстане.

Институтом физико-технических проблем и материаловедения проводятся исследования возможностей использования нанотехнологий при создании новых материалов и совершенствовании оптико-информационных технологий.

В рамках интеграционного проекта «Разработка и исследование получения наноразмерных периодических структур в пленках аморфного кремния и практическое применение лазерных технологий для обработки материалов» совместно с Институтом автоматизации и электрометрии СО РАН проводится окончательная отработка и написание технологии получения наноразмерных элементов на неметаллических пленочных материалах с управляемой структурой.

В настоящее время на основе результатов фундаментальных и прикладных исследований институтов Отделения разрабатываются инновационные проекты, направленные на решение конкретных экономических проблем. Реализация этих проектов даст возможность создать предприятия для выпуска наукоемкой продукции различного назначения, в частности:

- импортозамещающих гидравлических молотов с различной энергией удара и буровой техники для использования в строительной, горнодобывающей и металлургической промышленности;
- синтетических алмазов и обрабатывающих инструментов различного назначения с их использованием;
- изделий из сверхтвердого композиционного материала – нитрида кремния на основе местного сырья;
- систем и установок на основе возобновляемых источников энергии;
- минеральных удобрений с использованием местных агроруд;
- программных продуктов различного назначения.

Первостепенными задачами Отделения являются повышение эффективности НИР в институтах, оптимизация управления научным и инновационным процессами. В связи с этим деятельность Отделения должна быть направлена на принятие комплексных мер научно-организационного характера. Основными из них являются:

1. Формирование системы научного менеджмента в Отделении и его Институтах.

2. Переход от финансирования институтов к финансированию целевых проектов фундаментальных и прикладных НИР на конкурсной основе и обеспечение оптимального их соотношения в соответствии с мировой практикой.

3. Создание и совершенствование системы рейтинговой оценки эффективности деятельности институтов, лабораторий и отдельных сотрудников.

4. Разработка и реализация междисциплинарных совместных проектов НИР. В настоящее время выполняются два проекта с участием четырех институтов.

5. Создание центра коллективного пользования уникальным научно-техническим оборудованием.

6. Усиление международного сотрудничества и создание Международных научных центров на базе институтов Отделения. В настоящее время идут работы с научными учреждениями стран СНГ по организации двух таких центров на базе институтов водных проблем и гидроэнергетики, геомеханики и освоения недр и Южного Отделения НАН КР.

7. Создание совместно с вузами и производственными предприятиями научных, научно-образовательных и научно-производственных структур по приоритетным направлениям. При институтах геомеханики и освоения недр, автоматизации и информационных технологий функционируют совместные кафедры с КГТУ и КРСУ.

8. Подготовка научных кадров в Центре научно-образовательных программ НАН КР по магистерским программам на базе институтов Отделения. В настоящее время в центр приняты магистранты по двум направлениям (информатика и вычислительная техника, прикладная математика).

9. Активизация инновационной деятельности, создание инновационных структур при институтах Отделения и содействие в развитии Технопарка НАН КР.

Несмотря на определенные достижения в области науки и инноваций, имеется ряд серьезных проблем, которые являются тормозом дальнейшего их развития (остаточный принцип финансирования; отсутствие необходимой нормативно-правовой базы, программ развития инноваций, соответствующей инфраструктуры, инвестиций и др.). В связи с этим представляется целесообразным:

1. Разработать и утвердить Национальную программу создания и развития инновационной системы Кыргызской Республики.

2. Создать необходимую нормативно-правовую базу для развития науки и инновационной деятельности (принять законы КР «О науке и инновационной деятельности в КР», «Об инновационных зонах и технопарках» и др.).

3. Разработать и принять концепцию развития фундаментальной и прикладной науки в Кыргызской Республике на период до 2015 года.

4. Разработать и реализовать на практике различные формы государственной поддержки научно-технической и инновационной деятельности.

5. Осуществить подготовку кадров для инновационной деятельности в вузах страны.

6. Создать необходимые условия для развития инновационных структур и венчурных фондов для коммерциализации результатов научных исследований.

7. Обеспечить финансирование фундаментальных и прикладных исследований и инновационной деятельности в необходимом объеме.

ВОДНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

УДК 550.835:550.481(575.3)

Роль малых и средних водохранилищ в защите от селевых потоков (на примере Таджикистана)

Д. М. МАМАТКАНОВ – академик НАН КР,
У. И. МУРТАЗАЕВ – проф. Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни, докт. геогр. наук,
зав. кафедрой физической географии,
И. И. САИДОВ – гл. научн. сотр. Института водных проблем,
гидроэнергетики и экологии АН РТ, канд. техн. наук,
докторант ИВПиГЭ НАН КР.

The paper presents a value as reservoirs of man-made factors minimize the serious consequences of natural disasters (landslides, floods, etc.). The major areas of engineering protection of the territory of Tajikistan from debris phenomena is proposed include the creation of small and average reservoirs, as well as for detention mountains torrent for mountains torrent storage.

Для большинства речных бассейнов Таджикистана число маловодных лет превышает количество многоводных. Поэтому так велика здесь роль водохранилищ в регулировании речного стока, поскольку именно они являются важнейшим фактором водохозяйственного обустройства территории. В статье представлено значение водохранилищ как техногенного фактора минимизации тяжелых последствий от стихийных бедствий (сели, наводнения и пр.). К числу главных направлений инженерной защиты территории Таджикистана от селевых явлений предлагается отнести создание малых и средних водохранилищ как для селезадержания, так и для селехранения.

Распространение на территории Таджикистана овражно-балочной сети способствует созданию водохранилищ, вовлекая в сельскохозяйственное производство свободные земли. Районы с повышенной расчлененностью рельефа (Юж-

ный и Северный Таджикистан) более благоприятны для выбора мест под строительство малых и средних водохранилищ. Здесь густота овражно-балочного расчленения достигает 100-120 м / км². Именно в этих районах запроектировано строительство Ховалингского, Бальджуанского, Джарского и других водохранилищ [1].

Не менее важным представляется и значение водохранилищ как техногенного фактора минимизации тяжелых последствий от стихийных бедствий (сели, наводнения и пр.). Вне зависимости от преобладающих элементов затопленного рельефа (руслые, долинные, наливные) почти все инженерные сооружения, включая водохранилища и стокорегулирующие сооружения (запруды, барражи, селехранилища), используются в противоселевых целях.

К числу главных направлений инженерной защиты территории Таджикистана от селей мож-

но отнести: систематические наблюдения за состоянием селевых долин, агролесомелиорацию, организацию сбора стока поверхностных вод в зонах зарождения селей с помощью водосборных лотков и каптажа родников, укрепление и расчистку русел, ограничение или запрещение освоения селевых зон, создание селезадерживающих запруд и селехранилищ. Последние, представляющие собой, по сути, малые водохранилища, являются наиболее рациональными типами гидротехнических противоселевых сооружений, поскольку аккумулируют сток селевых вод, объем которых может достигать достаточно больших величин.

К примеру, до строительства Каттасайского водохранилища, защищающего г. Истравшан от селей, сток селевых потоков в долине р. Каттасай достигал, по данным Средазгипроводхлопка, в 1939 г. – 3,8, в 1940 г. – 5,6, в 1941 г. – 1,3, в 1942 г. – 2,5, в 1943 г. – 0,1 млн.м³. Таким образом, среднегодовой сток селевых вод был равен 2,66 млн.м³, что соответствует среднегодовому расходу 0,084 м³ / с. Позднее в этом районе были отмечены еще большие по размерам сели: 29–30 апреля 1954 г. (продолжительность – 5 ч. 30 мин., максимальный расход – 320 м³ / с), 5 мая 1955 г. (продолжительность – 5 часов, максимальный расход – 615 м³ / с) [1].

Опыт эксплуатации построенных противоселевых сооружений показывает, что они иногда не полностью оправдывают свою защитную функцию. Наблюдаются случаи прорывов дамб, как это имело место на реках Сашубсай (1969 г.) и Саргазон (1986 г.) [1]. Тем не менее противоселевые сооружения должны строиться и в будущем.

Возникает необходимость наращивать высоту защитных дамб, что имеет технические ограничения, или удалять русловые отложения. При проектировании противоселевых сооружений особое внимание должно быть обращено на характер прохождения селей, объемы их выноса и важность защищаемых объектов.

Эффект запруд и селехранилищ сказывается сразу же после их сооружения, поскольку проведение фитомелиоративных мероприятий в предгорьях и на адырах Северного Таджикистана, где расположены Каттасайское и Даганасайское водохранилища и будет построено новое – Джарское, затруднено глубоким залеганием грунтовых вод, малым среднегодовым количеством осадков и незначительной толщиной мелкозернистого почвенного покрова.

Учитывая особую значимость малых и средних водохранилищ для орошения, селезащиты,

рекреации и коммунально-бытового водоснабжения, можно надолго продлить срок их службы, сохранив их мертвые объемы путем устройства запруд-селеуловителей для фиксации базиса эрозии. Это будет способствовать прекращению наиболее опасной глубинной эрозии и уменьшению расходов селевых потоков за счет самонасыщения рыхлых русловых отложений. На основе накопленного эксплуатационного опыта рекомендуется размещать запруды на продольном профиле по возможности в местах выхода скальных пород, что обеспечивает их хорошую устойчивость. В створах, за которыми вверх по течению следует значительное расширение русла, рационально размещать основные запруды высотой до 8–10 м, а между ними запруды высотой в 2 раза меньшей – 4–5 м [2]. При этом расстояние между запрудами должно составлять 60–120 м для селей, транспортирующих обломки крупнее 0,5 м, и 40–60 м – для селей средней мощности, транспортирующих обломки менее 0,5 м, с тем, чтобы обеспечить равномерное установившееся движение селевого потока, при котором происходит прекращение транспорта наносов указанных размеров [3, 4].

Запруды-селеуловители сооружают чаще всего из бута на цементном растворе, бетона и сборного железобетона. Их основные параметры следующие: высота – 4–5 (8–10) м; ширина по гребню – 1–1,5 м; заложение откосов: низового – 1:0,5, верхового – 1:0,25 – 1:0,5; глубина заложения фундаментов 1,5–2,5 м [5].

В целях селезащиты необходимо устраивать селехранилища, гораздо большие по размерам, чем запруды-селеуловители. Основная функция селехранилищ – не полная аккумуляция стока, а частичное регулирование его (в этом плане они схожи с водохранилищами суточного и недельного регулирования). Размещают их, как правило, в верхней части конуса выноса рек, т.е. в месте перехода транзитной зоны в зону рассеяния стока. Створы селехранилищ располагают в наиболее узких участках с наименьшим уклоном и расширенным руслом, что позволяет иметь больший, при прочих равных условиях, объем и небольшое поступление донных наносов. Плотина в этом случае отсыпается из грунта и камня, вынутаго из котлована, высотой от 3 до 8 м [6]. В зависимости от конкретных физико-географических условий плотины селехранилищ могут быть различной высоты. Строительство селехранилищ высотой более 10 м сложно и не всегда выгодно, поскольку

ку затраты материалов на их создание растут пропорционально квадрату высоты [7].

В 1974–1979 гг. в русле селеносного оврага в южных отрогах Гиссарского хребта были построены 3 запруды высотой плотины 3,5 м, задержавшие за это время около 300 м³ селевых наносов и возвративших в сельскохозяйственный оборот ранее заносимые селями земли. Имеется опыт удачного использования селехранилищ в районах расположения малых и средних водохранилищ Таджикистана. Так, в 1963 г. в 600 м выше канала Танапчи были построены, а в 1985 г. модернизированы перегораживающая дамба и отводящий канал, в результате чего селевые воды стали использоваться для заполнения Сельбурского водохранилища. Полный объем селехранилища достиг при этом 125 тыс.м³ и позволил существенно снизить ущерб, наносимый ранее ливневыми водами и составивший в 1960–1963 гг. 42,74 тыс. руб., или в среднем за год 10,68 тыс.руб. (в ценах тех лет) [1].

В настоящее время в республике вполне реально по сравнению с прежней возможностью гораздо более интенсивного строительства в горных ущельях малых и средних водохранилищ, предназначенных для локального орошения горных земель. При этом приостанавливается процесс эрозии почв и в значительной степени уменьшается селеопасная обстановка [8].

Благодаря строительству запруд и селехранилищ можно значительно интенсифицировать сельскохозяйственное производство на тысячах гектарах плодородных богарно-пастбищных предгорных земель в результате использования осветленного жидкого стока для их орошения. Окупаемость капитальных вложений в строительство подобных сооружений, согласно проектным проработкам планирующих организаций, учитывающих ежегодную прибыль от реализации дополнительной сельскохозяйственной продукции, полученной в результате предотвращенного ущерба, составит 8–10 лет [1], т.е. является вполне допустимой с точки зрения эффективного использования денежных средств в сельском хозяйстве. Контроль за обеспечением надлежащего состояния сооружений необходимо возложить на специальную службу эксплуатации.

Исследования селехранилищ предгорной части Ферганской долины показали, что средняя интенсивность их заиливания составляет в Согдийской области 0,5–1,7 % в год [9]. То есть полное заиливание селехранилищ может произойти через 60–100 лет. Ограничивают срок их службы до 35

лет другие факторы эндогенного и экзогенного характера (последние проявляют себя наиболее интенсивно). В любом случае срок службы запруд и селехранилищ можно увеличить путем:

- сброса максимально возможных расходов воды, которые могут безаварийно пропустить селебросные тракты; при этом большая часть взвешенных наносов будет сбрасываться в нижний бьеф и лишь незначительное количество осаждаться в селехранилище;
- последовательного наращивания, по мере заполнения твердой селевой массой бортов напорных граней запруд;
- периодической очистки селехранилищ.

Вынутый при этом грунт рекомендуется использовать для рекультивационных работ (засыпки различных промоин, оврагов) или в качестве инертных заполнителей при производстве сезонных работ.

Таким образом, на примере горных речных бассейнов Таджикистана показано, что все инженерные сооружения, рассмотренные выше, включая малые и средние водохранилища, запруды, барражи, селехранилища, целесообразно использовать в противоселевых целях. Этот опыт в полной мере можно использовать и для Кыргызстана, поскольку многие речные бассейны наших республик аналогичны по селеопасности.

Литература

1. Муртазев У.И. Водохранилища Таджикистана и их влияние на прилегающие ландшафты. – Душанбе: Ирфон, 2005. – С.256–261.
2. Каганов Я.И., Костецкий В.И., Красицкий П.Р. Методические рекомендации по размещению системы запруд на горных потоках. – Львов, Львовский СХИ, 1971. – 36 с.
3. Флейшман С.М. Система запруд – главное средство борьбы с селями // Гидротехника и мелиорация. – 1967. – № 8. – С. 39–46.
4. Флейшман С.М. Сели. – Л.: Гидрометиздат, 1978. – 352 с.
5. Рождественский Г.Д. Основные элементы комплекса противоселевых инженерных мероприятий (применительно к горной системе Заилийского Алатау // Динамика и термика речных потоков. – М.: Наука, 1972. – С. 95–108.
6. Панова О.Г. Гидротехнические сооружения противоселевых потоков // Хлопководство. – 1968. – № 10. – С. 32.
7. Херхеулидзе И.И. Вопросы регулирования (стабилизации) селевых русел сквозными се-

леувителями из сборного железобетона // Селевые потоки и горные русловые процессы. – Ереван, 1968. – С. 35–54.

8. Клецельман У.Х. Экономико-географические проблемы освоения горных районов Таджикской ССР // Экономико-географические исследова-

ования горных районов: состояние и задачи. – М.: ИГАН, 1987. – С. 66–76.

9. Исмаилов Х., Туляганов С.Х. Заиление селехранилищ предгорной части Ферганской долины // Труды САНИИРИ. – 1976. – Вып. 151. – С.12–15.

УДК 627.8:550.835:551.482(575.2)

Оценка питания вод Токтогульского водохранилища уран-изотопным методом

Д.М.МАМАТКАНОВ – директор ИВПиГЭ, академик НАН КР,
Т.В.ТУЗОВА – гл. научн. сотр., канд. физ.-мат. наук

Proportions of water mix of different genesis influencing feeding of rivers of the Toktogulsky reservoir were calculated basing on the results of study of uranium content and ratio of its even isotopes. Constancy of ratio of uranium isotopes in the waters of the Toktogulsky reservoir was shown, which can be used as a natural indicator during assessment of pollution of waters of the Naryn River basin by lower uranium tailing dumps.

Воды бассейна р. Нарын на содержание и изотопный состав урана изучались ранее сотрудниками радиометрической лаборатории Института физики НАН КР [1,2] в связи с возможностью их загрязнения хвостохранилищами отработанных урановых месторождений [3, 4]. В отличие от авторов [3, 4], считающих, что бассейн р. Нарын радиологически крайне неблагоприятен, авторы [1,2] приводят убедительные доказательства отсутствия радиологического заражения вод р. Нарын до и после Токтогульского водохранилища (далее вдхр) в настоящее время.

Систематическое изучение поверхностных и подземных вод бассейна Токтогульского вдхр изотопными методами никем не проводилось. Имеются лишь довольно противоречивые данные авторов [1, 2] об эпизодическом опробовании на изотопный состав ($\gamma = {}^{234}\text{U} / {}^{238}\text{U}$) и общее содержание урана ($C, 10^{-6}$ г/л) поверхностных вод бас-

сейна р. Нарын выше и ниже водохранилища в 2003–2006 гг., которые приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что и содержание урана, и соотношение его четных изотопов в водах р. Нарын значительно меняются и вдоль по течению, и во времени. Эти данные требуют подтверждения, что и являлось одной из задач данной работы. Цель исследований – оценить вклад вод различного генезиса в питание водохранилища.

В 2007–2008 гг. были отобраны пробы вод на изотопный состав и содержание урана из Токтогульского вдхр и 17 источников бассейна, включая 10 рек, 5 родников и 2 скважины (рис. 1, табл. 2–4).

Из этих проб в полевых условиях уран концентрировался на активированном угле из объемов 10–20 л воды с добавлением трассера ${}^{232}\text{U}$, а в лабораторных условиях сотрудниками радиометрической лаборатории Института физики НАН КР проводилась его радиохимическая очистка,

Таблица 1

Изотопный состав урана в поверхностных водах бассейна р. Нарын по данным [1, 2]

Название рек	Зима 2003 г.		Весна 2004 г.		Осень 2004 г.		Осень 2006 г.	
	γ	C	γ	C	γ	C	γ	C
Кичи-Нарын	1,52±0,05	1,2	1,53±0,03	3,9	1,46±0,01	7,9		
Чон-Нарын	1,53±0,05	0,9	1,47±0,02	3,3	1,47±0,01	6,0		
Нарын перед г. Нарын	1,86±0,05	0,5	1,56±0,03	2,8	1,50±0,02	6,2	1,49±0,02	4,8
Атбаши	1,69±0,05	0,8	1,53±0,02	2,6	1,49±0,03	3,3		
Нарын после р. Атбаши	1,61±0,05	0,8	1,65±0,02	3,3	1,57±0,04	5,1		
Чичкан	1,27±0,03	1,3	1,28±0,02	4,0				
Нарын перед Токтогульским вдхр	1,70±0,02	1,9	1,62±0,02	5,7				
Токтогульское вдхр.	1,86±0,02	1,0	1,59±0,02	3,8			1,76±0,02	9,4
Нарын после вдхр	1,77±0,02	1,0	1,56±0,02	3,5				

электроосаждение на металлические диски и определение содержания урана C (мкг/л) и соотношения изотопов $\gamma = {}^{234}\text{U} / {}^{238}\text{U}$ в единицах активности по методикам, описанным ранее [5–8].

Среди опробованных источников подземных вод Токтогульского бассейна можно выделить три генетических типа вод.

I – метеорные воды атмосферных осадков, циркулирующие в породах, обогащенных ураном. В этих водах максимальное общее содержание урана (10^{-5} г/л) и почти равновесно соотно-

шение его четных изотопов $\gamma = 1,05 – 1,10$. Они представлены в табл.2 пробами Kg-98, Kg-99, Kg-105.

II – метеорные воды четвертичных отложений зоны активного водообмена со средними значениями изотопных сдвигов и общего содержания урана $\gamma = 1,3 – 1,5$; при содержаниях урана $C = (1 – 3) \times 10^{-6}$ г/л. К этой группе относятся пробы Kg-100, Kg-1608s.

III – воды глубокой циркуляции в породах гидрогеологических массивов с максимальными

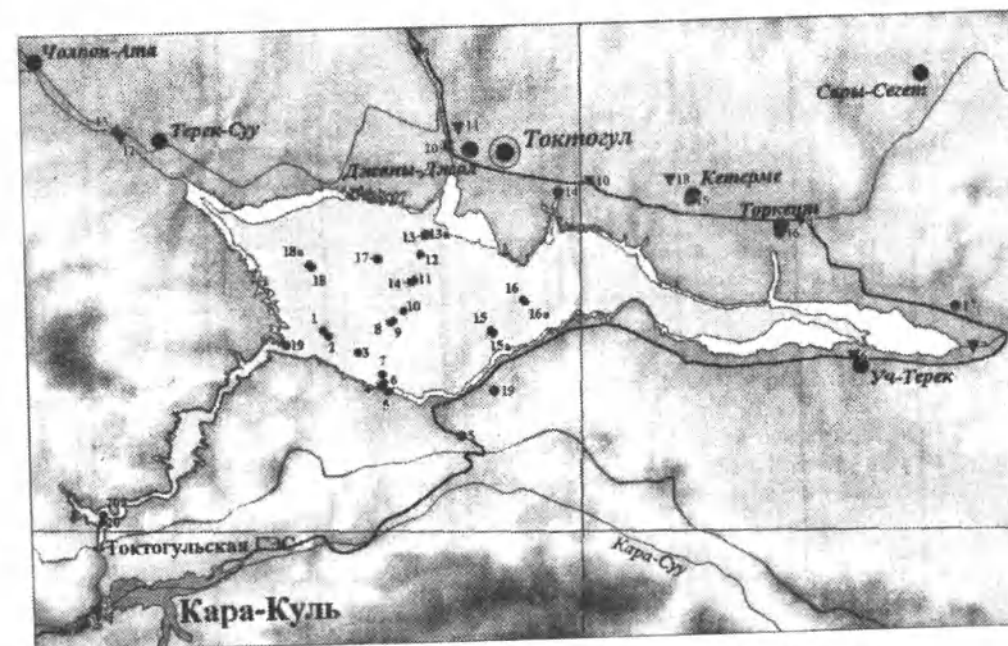


Рис. 1. Схема опробования вод бассейна Токтогульского вдхр.

Таблица 2

Изотопный состав и содержание урана в подземных водах Токтогульского бассейна

Шифр проб	Координаты	Местонахождение	$^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$	$C_U \cdot 10^{-6} \text{ г/л}$	Доля генетических составляющих стока, %		
					I	II	III
Kg-98-040407	41°41,46 72°56,49	Родник слева от трассы Ош–Бишкек	1,10±0,01	16,0±0,8	90±10	<5	<5
Kg-99-040407	41°42,47 72°55,50	Родник слева от трассы в сторону старой дороги	1,00±0,01	18,8±0,9	90±10	<5	<5
Kg-100-40407	41°43,81 72°50,73	Родник в селе в районе профилактория Нарынстрой слева от трассы Ош–Бишкек	1,34±0,03	3,0±0,1	9±5	88±10	<4
Kg-101-40407	41°44,28 72°55,95	Родник справа от трассы Ош–Бишкек	1,29±0,01	32,2±1,6			
T 1807 f	41°44,48 72°55,97	Родник справа от трассы Ош–Бишкек, южнее автодороги	1,28±0,01	35±2	90±10	<5	<5
		Среднее	1,28±0,01	33±2			
Kg-104-01107	41°46,97 73°16,47	Село Кара-Джыгач, самоток родников в резервуар	2,43±0,02	6,0±0,3			
T1307f	41°47'33" 73°16'56"	Село Кара-Джыгач, каптированные родники, колонка около промежуточного резервуара	2,55±0,03	5,2±0,3			100 (1)
		Среднее	2,49±0,06	5,6±0,4			
Kg-105-01107	41°51,58 72°58,93	Родник Кара-Булак, село Каратектер (Комсомол), суммарный сток разгрузки поверхностных вод на протяжении 300–500 м на контакте Q1 и N	1,10±0,01	24±1	100		
Kg-106-0408s	41°53'71" 72°54'36"	Родник Балачичкан, село Жаныжол	1,36±0,04	1,8±0,1	<7	<90	<3
Kg-107-01107	41°53,50 72°38,95	Скв. 1819, село Чон-Арык	1,48±0,02	3,6±0,2	<3	78±8	22±5
T-1407f	41°53'30" 72°38'56"	Скв. 1819, село Чон-Арык	2,13±0,02	3,4±0,2	<2	55±8	43±5
T-1007f		Скв. в селе Кетерме у школы	1,57±0,01	13,9±0,7			
KgT-1508s	41°51'12" 73°04'52"	Скв. в селе Кетерме у школы	2,26±0,03	15,2±0,8			100 (2)
KgT-1608s	41°50'05" 73°08'57"	Родник в правом борту р. Торкент, южнее с. Торкент	1,50±0,01	1,10±0,05		100	

изотопными сдвигами $\gamma = 2,0 - 2,5$ и различным содержанием урана $C = 10^{-6} - 10^{-5} \text{ г/л}$ – пробы KgT-1508, N-1307f.

В табл. 2 приведены результаты оценки вклада вод этих трех типов в питание остальных опробованных подземных источников Токтогульского бассейна, а в табл. 3 – в питание рек, впадающих в Токтогульское водохранилище.

Как видно из табл. 2, питание рек Токтогульского бассейна осуществляется в основном за счет метеорных вод, погружающихся в четвертич-

ные отложения зон активного водообмена данного региона, доля которых составляет 70–90% при погрешностях не более 10%. Исключение составляют лишь воды р. Саргата (юго-восточная часть бассейна), источником которых до 70% служат воды гидрогеологического массива и около 30% – атмосферные осадки, циркулирующие в обогащенных ураном породах.

В табл. 4 сведены результаты определений изотопного состава и содержания урана в водах Токтогульского водохранилища при опробовании

Таблица 3

Изотопный состав и содержание урана в поверхностных водах Токтогульского бассейна

Шифр проб	Координаты	Местонахождение	$^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$	$C_U \cdot 10^{-6} \text{ г/л}$	Доля генетических составляющих стока, %		
					I	II	III
Kg-06-221004	41°56,31' 72°52,93'	р. Чичкан, пост ГАИ	1,28±0,02	4,0±0,2	11±5	85±10	<5
Kg-106-01107	41°53,71 72°54,36	р. Бала-Чичкан, с. Жаныжол	1,36±0,04	1,8±0,1	<5	96±6	<1
T1607f	41°53'04,8 72°54'07,1	р. Чичкан, 3 км ниже впадения р. Бала-Чичкан	1,46±0,01	3,7±0,2	9±5	80±10	13±5
Kg-96-061006	41° 50, 32' 73° 09, 60'	р. Торкент	1,45±0,02	4,6±0,2	12±5	73±10	17±5
Kg-97-061006	41° 52, 70' 72°40, 52'	р. Узун-Ахмат, с. Терек-Суу	1,44±0,03	2,3±0,1			
Kg-108-30107	41°53,40 72°39,25	р. Узун-Ахмат у моста в селе Чон-Арык	1,36±0,04	1,5±0,1			
17T	41°53'25" 72°39'14,"	р. Узун-Ахмат, с. Чон-Арык	1,36±0,05	1,9±0,4	<5	99±6	<1
		Среднее	1,40±0,02				
Kg-16-231004	41°37,83" 72°39,30'	р. Кара-Суу перед впадением в р. Нарын	1,39±0,23	1,4±0,1			
Kg-90-100606	41°37,74' 72°40,97'	р. Кара-Суу, в районе г. Кара-Куль	1,38±0,02	2,8±0,1			
7T		р. Кара-Суу, устье	1,31±0,15	2,1±0,7	<9	92±10	<1
		Среднее для р. Кара-Суу	1,36±0,02				
Kg-94-061006	41° 45, 90' 72° 12, 49'	р. Саргата	1,76±0,02	9,4±0,5			
19T	41°45,51,9 73°12,27,2	р. Саргата	1,72±0,03				
Kg-94-040608	41° 45, 89' 72° 12, 43'	р. Саргата	1,74±0,02	9,4±0,5	27±5	<3	70±10

Таблица 4

Изотопный состав и содержание урана в водах акватории Токтогульского водохранилища

Шифр проб	Глубина отбора проб, м (№ GPS)	Координаты		$^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$	$C_U \cdot 10^{-6} \text{ г/л}$
KgT-01-07f	70	41°48'31.4"	72°52'16.0"	1,49±0,02	1,8±0,1
KgT-02-07f	С поверхности	41°48'35.9"	72°52'56.1"	1,51±0,02	1,8±0,1
KgT-03-07f	То же	41°48'35.9"	72°52'56.1"	1,55±0,02	1,8±0,1
6T	То же			1,52±0,08	
KgT-04-07f	То же	41°46'44.8"	72°55'55.7"	1,45±0,02	1,9±0,1
Kg-95-061006	То же	41°47'44.8"	73°09'40.7"	1,53±0,02	3,4±0,2
Kg-08-221004	То же	41°44'54.8"	72°54'59.1"	1,60±0,02	3,8±0,2
Kg-102-291107	Токтогульская ГЭС, верхний бьеф плотины	41°39,45'	72°38,09'	1,47±0,02	2,0±0,1
Kg-103-291107	Токтогульская ГЭС, нижний бьеф плотины	41°39,45'	72°38,09'	1,52±0,02	2,0±0,1
KgT-16-08s	12 (279)	41°49'36.3"	72°52'59.1"	1,48±0,01	1,0±0,1
KgT-17-08s	0 (280)	41°50'10.2"	72°51'54.2"	1,50±0,02	1,8±0,1
KgT-22-08(0)s	0 (283)	41°47'50.1"	72°50'21.5"	1,48±0,01	1,05±0,05
KgT-22-08s	71 (283)	41°47'50.1"	72°50'21.5"	1,52±0,03	1,03±0,05
KgT-25-08s	67 (289)	41°46'45.2"	72°47'33.2"	1,55±0,02	0,91±0,04
KgT-28-08s	17 (292)	41°49'09.5"	72°50'21.5"	1,48±0,02	0,73±0,04
			Среднее	1,51±0,02	0,7 – 4,0

Таблица 5

Изотопный состав и содержание урана в водах р. Нарын

Шифр проб	Координата	Время отбора	Местонахождение точки отбора	$^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$	$C_{\text{U}}, 10^{-6} \text{ г/л}$
Kg-07-221004	41°46,22' 73°17,46'	11.2007	р. Нарын перед Токтогульским водохранилищем, гидропост Уч-Терек	1,62±0,02	5,7±0,3
12Т 7Т	То же	04.2008	Там же р. Нарын ниже Токтогульского водохранилища Среднее	1,60±0,08 1,57±0,07 1,60±0,02	

вод в разные сезоны – октябрь 2007 г. и апрель 2008 г. Как видно из табл.4, за пределы трехкратной ошибки отдельных измерений γ выходит лишь одна проба $\gamma = 1,59$ при среднем значении $1,51 \pm 0,02$. Постоянство величин γ в разные сезоны года говорит не только о хорошей перемешиваемости вод по всей акватории водохранилища, но и о том, что его питание происходит за счет одного источника, которым являются поверхностные воды р. Нарын (табл. 5). Доля остальных источников не превышает 10 % при такой же погрешности уран-изотопных расчетов.

Для определения источников питания самой р. Нарын необходима постановка специальных исследований с опробованием на изотопный состав вод притоков в верхней части бассейна р. Нарын.

Таким образом, на основе результатов уран-изотопных исследований показано, что воды рек Токтогульского бассейна формируются в основном за счет метеорных вод, погруженных в четвертичные отложения зоны активного водообмена.

Воды Токтогульского водхр. питаемого в основном рекой Нарын, отличаются постоянством изотопного соотношения четных изотопов урана, которое может быть использовано в качестве оценки загрязнения водами нижележащих хвостохранилищ.

Литература

- Орозобаков Т.О., Васильев И.А., Алехина В.М., Маматибраимов С. Радиационная опасность Майлуу-Суу. Миф или реальность? // Изв. НАН КР. – 2007, – № 2. – С. 62–68; 2006. – № 2. – С. 108–118.
- Орозобаков Т.О., Васильев И.А., Алехина В.М. Об использовании формул изотопного разбавления

для определения расходов поверхностных водотоков // Изв. НАН КР, 2007. – № 3. – С. 27–29.

- Айтматов И.Т., Торгоев И.А., Алехин Ю.Г. Геоэкологические последствия добычи и переработки урановых руд на юге Кыргызстана // Эко науки. – 1988. – № 4. – С. 21–29.
- Нарметов Э.Н., Гольдштейн Р.И. Проблемы экологической напряженности в Ферганской долине // Международный фонд экологии и здоровья «Экосон» // Международный семинар ОБСЕ «Содействие устойчивому развитию окружающей среды в бассейне Аральского моря». – Ташкент, 1996. – С. 23–28.
- Чалов П.И. Неравновесный уран как индикатор процессов в гидросфере // Водные ресурсы. – 1982. – № 5. – С. 24–38.
- Tuzova T.V. Investigations of Waters of the Issyk-Kyl Basin with the Use of Uranium Isotopic Method // Study of the Issyk-Kyl Lake Hydrodynamics with the Use of Isotopic Methods. Part II. Institute of water problems and hydropower, NAS KR:ISTC. – Bishkek: Ilim, 2006. – P. 102–108.
- Маматканов Д., Тузова Т.В. Изотопы урана в водах Токтогульского водохранилища //
- Изучение факторов формирования и оценка влияния водохранилищ Нижне-Нарынского каскада ГЭС на качество водных ресурсов бассейна реки Нарын изотопными методами, Бишкек, Международный научно-технический центр. НАН КР, ИВПиГЭ, 2010. – Ч.1. – С. 104–109. – Ч.2. – С. 101–107.
- Алехина В.М., Васильев И.А. Изотопный состав урана и физико-химические параметры природных вод в районе Токтогульского водохранилища // НАН КР, ИВПиГЭ, 2010. – Ч.1. – С. 87–103. – Ч.2. – С. 85–100.

УДК 550.34

Записи событий на Токтогульской плотине, не связанных с пусками гидроагрегатов и землетрясениями

В.И. ДОВГАНЬ – канд. физ.-мат. наук
А.Г. ФРОЛОВА – канд. физ.-мат. наук

The article provides analysis of impulse form event recording as well as proposals on their nature.

Цифровая сейсмометрическая система наблюдений на Токтогульской ГЭС (рис.1) фиксирует не только шумы, землетрясения и пуски гидроагрегатов, но и резкие импульсы в виде тресков длительностью в пределах 0,5–1,0 секунды.

Записи таких событий похожи друг на друга и отличаются в основном только величиной интенсивности (рис.2). Подобные события возникали в течение всего периода наблюдений – с января 2006 по апрель 2010 года их произошло порядка 70. События не имеют какой-либо определенной сезонной или временной привязки.

Ранее мы не обращали на них серьезного внимания, поскольку это были небольшие одиночные импульсы, иногда – групповые (3–6 событий, разделенных небольшими временными промежутками). Но 3 мая 2010 г. с 14 час. 28 мин. по 16 час. 54 мин. по местному времени на плотине было зарегистрировано около 100 таких событий, и это явление уже нельзя было игнорировать. По заявлению сотрудников гидроузла в этот день никаких аномальных ситуаций не происходило. На рис. 3 показаны спектрограмма и записи самого сильного из этих событий в верхних точках наблюдений.

Событие (второе на спектрограмме) проявилось вплоть до высоких частот. Максимальные колебания наблюдались в первой точке на составляющей С-Ю – вдоль течения. Спектры этого события по записям в трех верхних точках показаны на рис. 4.

Локальные высокочастотные колебания в районе первой точки достигали 5-балльной интенсивности (рис.5, табл.1).

Колебания происходили в основном в направлении С-Ю – вдоль течения (рис. 6).

В табл. 2 приведены данные об относительных смещениях блоков по швам при этом событии.

Максимальные относительные смещения наблюдались между блоками, в которых расположены первая и вторая точки, и они имели отрицательные значения, т.е. один блок опускался относительно второго. Величины этих смещений, а также проекции смещений на три плоскости показаны на рис.7.

Более наглядно распределение смещений по телу плотины по записям события на трех составляющих показано на рис. 8.

Такая картина распределения смещений сохраняется для всех событий за небольшим исключением. Иногда распределение смещений для первой и второй точек по записям на составляющей С-Ю более контрастно (первая точка четко движется вниз, а вторая – вверх). Иногда вторая точка, но с меньшей амплитудой относительно первой тоже движется вниз. Но в основном для второй точки относительные движения положительные, для первой – отрицательны.

Для данного события максимальные смещения первой точки относительно второй по составляющей вдоль течения составили $2,19 \cdot 10^{-5}$ м или

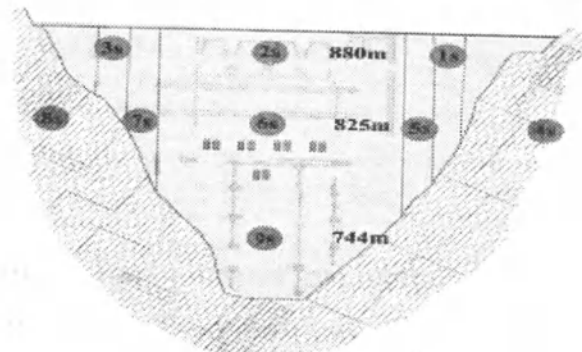


Рис. 1. Места расположения девяти точек наблюдений на Токтогульской плотине. Десятая опорная точка находится за пределами плотины, в скале.

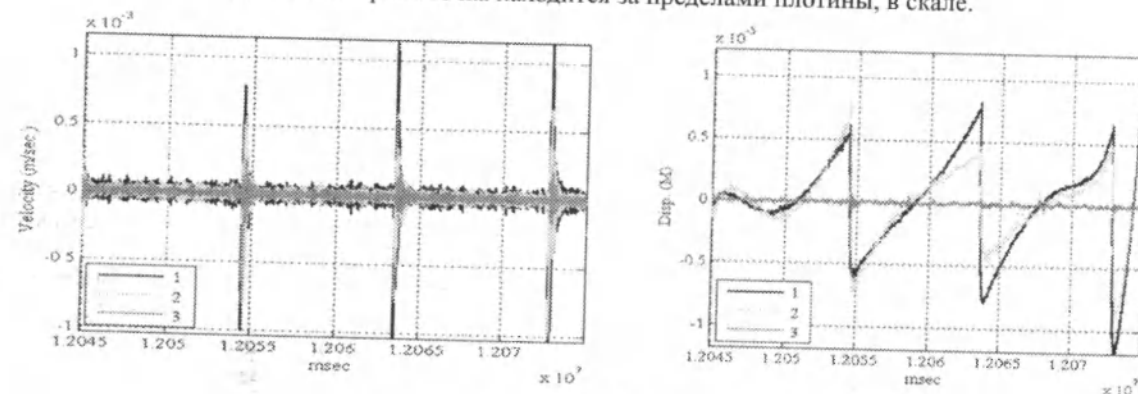


Рис. 2. Записи событий 3 мая 2010 г. в 15 час. 21 мин. в трех верхних точках плотины на компоненте В-З по течению реки: вверху – в терминах скоростей, внизу – в терминах смещений.

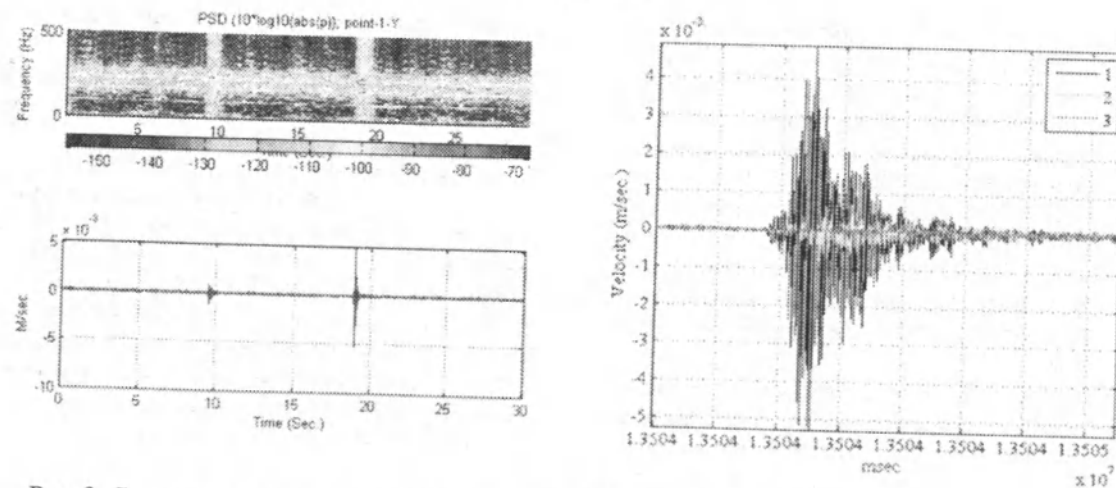


Рис. 3. Спектрограмма и записи события 3 мая в 15 час. 45 мин. в трех верхних точках плотины.

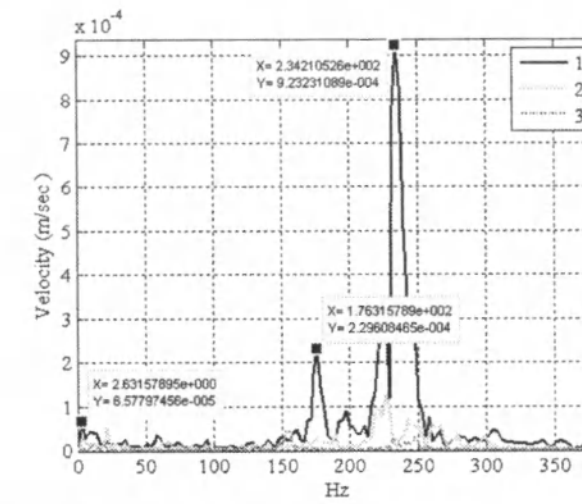


Рис. 4. Спектры по записям события в верхних точках плотины по составляющей С-Ю.

Таблица 1

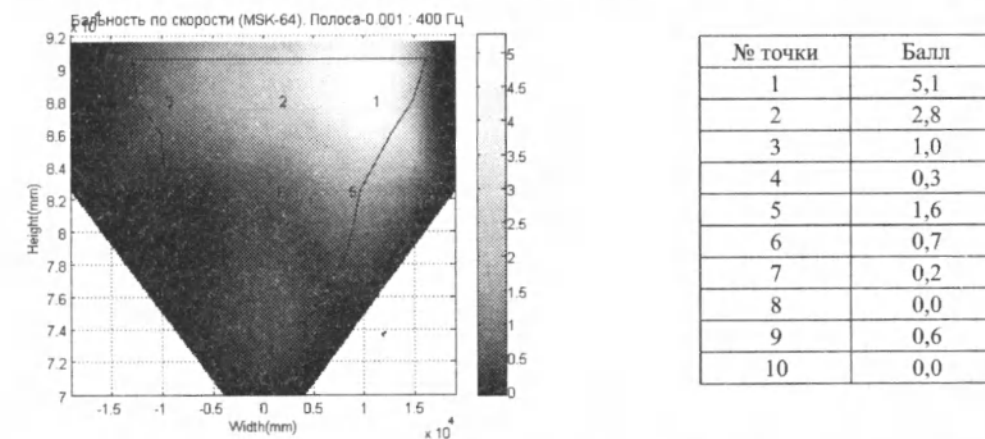


Рис. 5. Распределение интенсивности колебаний по телу плотины при событии 3 мая в 15 час. 45 мин.

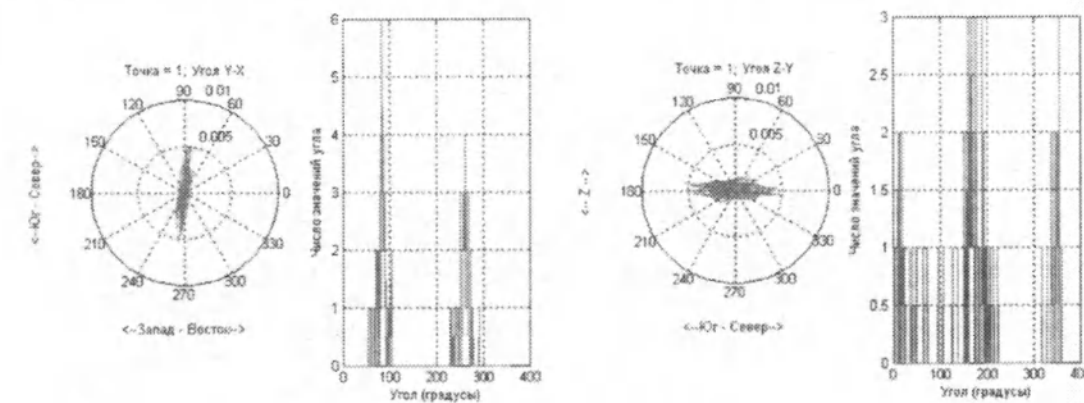


Рис. 6. Направления преобладающих колебаний в двух плоскостях: слева – Y-X, справа – Z-Y.

Таблица 2

Смещения (м)	Относительное движение по шву в м	
	Ммах	Ммин
Точка 1 относительно точки 2 по X	4,83E-07	-1,23E-05
Точка 1 относительно точки 2 по Y	0	-2,19E-05
Точка 1 относительно точки 2 по Z	3,97E-07	-2,10E-05
Точка 2 относительно точки 3 по X	2,60E-06	-2,07E-06
Точка 2 относительно точки 3 по Y	5,34E-07	-1,05E-05
Точка 2 относительно точки 3 по Z	1,22E-06	-5,07E-07
Точка 5 относительно точки 6 по X	4,84E-07	-5,17E-07
Точка 5 относительно точки 6 по Y	6,39E-07	-4,19E-07
Точка 5 относительно точки 6 по Z	5,02E-07	-4,85E-07
Точка 6 относительно точки 7 по X	4,53E-07	-5,29E-07
Точка 6 относительно точки 7 по Y	4,60E-07	-7,20E-07
Точка 6 относительно точки 7 по Z	2,95E-07	-4,10E-07

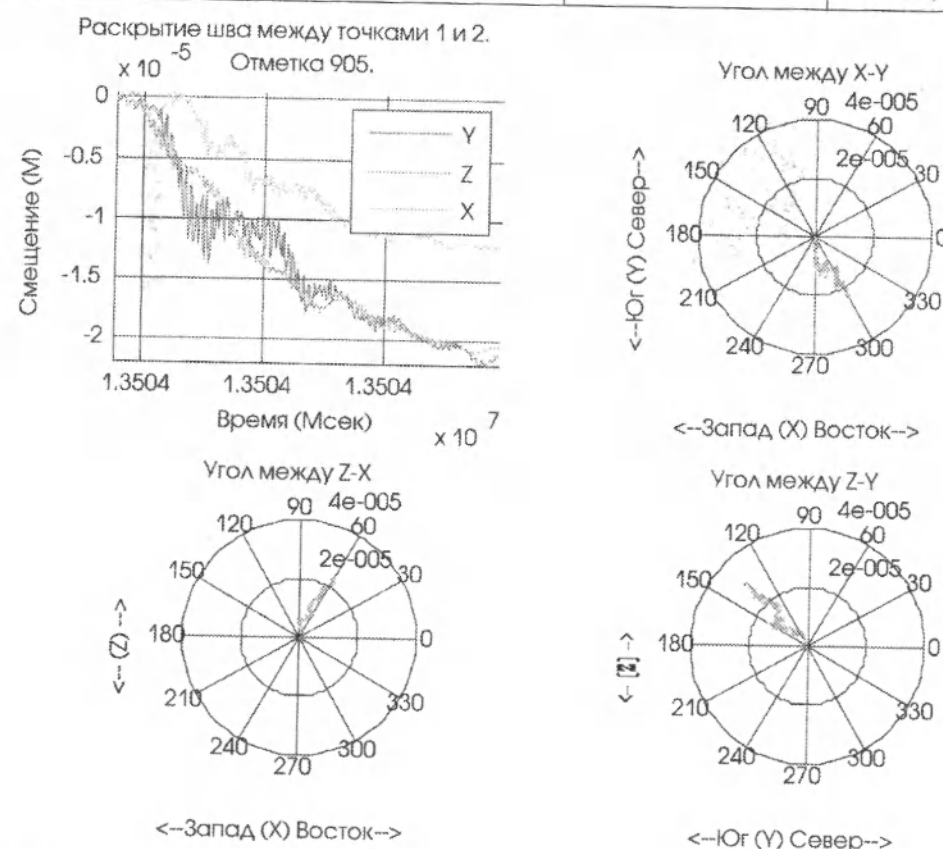


Рис. 7. Раскрытие шва между точками 1 и 2 и проекции движения точек на три плоскости.

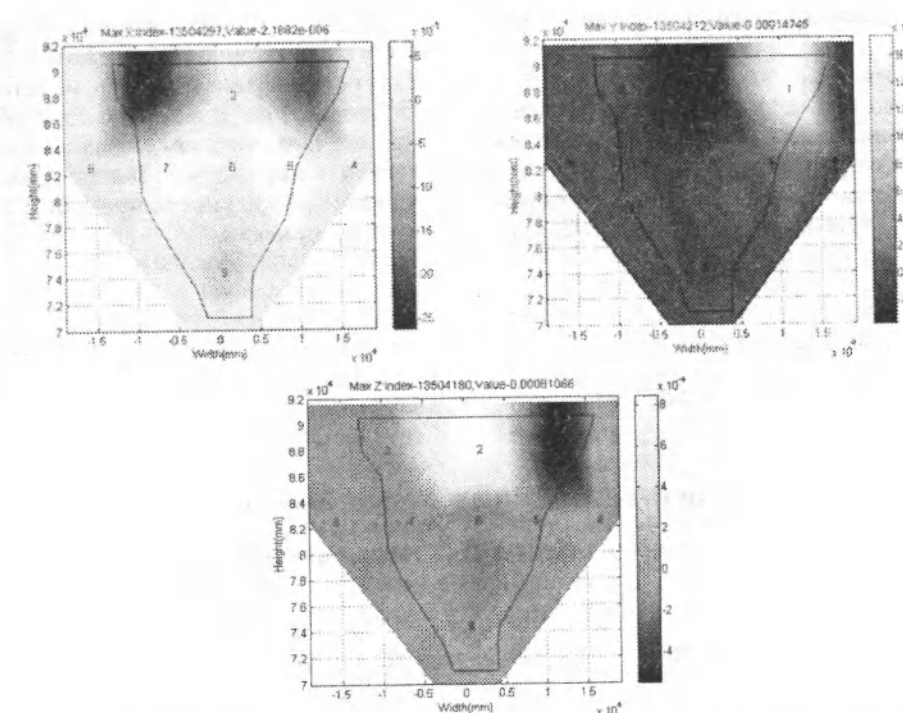


Рис. 8. Распределение смещений по записи события на трех составляющих: сверху слева – В-З (X), сверху справа – С-Ю (Y) и слева – вертикальной.

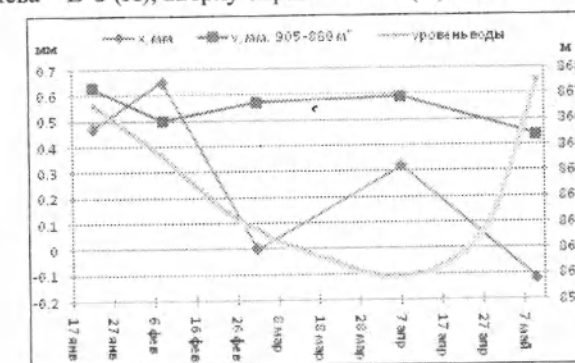


Рис. 9. Суммарные горизонтальные смещения правобережных секций плотины – ПОТ 9 (левая шкала, значения в мм) и уровень воды в водохранилище (правая шкала в м).

порядка 22 микрон. Это событие наиболее сильное из всех произошедших. Были записаны еще четыре события, по уровню воздействия близкие описанному выше. Остальные события были на полпорядка и на порядок слабее. Ориентировочное суммарное смещение первой точки при этом составило порядка 160 микрон, т.е. 0,16 мм.

Обратимся теперь к натурным наблюдениям. На рис. 9 приведены суммарные горизонтальные смещения правобережных секций плотины, зафиксированные прямыми отвесами в 2010 году (прямым отвесом измеряются смещения верхнего яруса плотины, где закреплен отвес относительно нижнего). На этом же рисунке показано изменение уровня воды в водохранилище за тот же период наблюдений. В конце апреля и первой декаде мая наблюдался резкий подъем уровня воды (на 5 метров за 11 дней). Значения относительных смещений по составляющим X и Y по натурным наблюдениям соизмеримы с сум-

марными значениями, полученными по данным геодезических измерений. В конце апреля и первой декаде мая наблюдался резкий подъем уровня воды (на 5 метров за 11 дней). Значения относительных смещений по составляющим X и Y по натурным наблюдениям соизмеримы с сум-

марными значениями смещений по записям событий 3 мая.

Все это позволило сделать предварительный вывод о природе этих событий: по нашему мнению, они связаны с относительным смещением блоков плотины при резком подъеме уровня воды. Под действием напора воды блок, в котором расположена первая точка наблюдений, пришел

в движение и начал наклоняться по течению реки. Одновременно центральный блок плотины стал подниматься. Такое перемещение блоков при статической нагрузке происходит с большими динамическими усилиями, соизмеримыми с воздействием землетрясения. Данный факт необходимо учитывать при проектировании гидротехнических сооружений.

УДК 551.338:551.321.61 (575)

Долгосрочное прогнозирование оледенения и оценка ледовых ресурсов Центральной Азии с помощью изотопных методов

В.И. ШАТРАВИН – зав. лабораторией, канд. геол.-минер. наук
Т.В. ТУЗОВА – гл. научн. сотр., канд. физ.-мат. наук

The decrease of runoff caused by climate change causes interstate contradictions on water question in the states of the Central Asia, in due course the opposition will only amplify. The glaciers of highlands quickly degrade at global climate change. This will eventually result in reduction of glacial runoff. Therefore in the nearest future, the Central Asian states will face a water, hydropower, and environmental catastrophe. In view of this, the ability to make reliable.

Ледники являются основным источником возобновляемых водных и гидроэнергетических ресурсов центральноазиатских государств (ЦА), расположенных в аридных горных районах. Ледниковый сток играет существенную роль в формировании общего стока горных рек. В горноледниковой системе Тянь-Шаня ледниковый сток достигает 64% общего стока рек. Вклад ледникового стока в суммарный приток крупнейшего в Кыргызской Республике (КР) Токтогульского водохранилища достигает 29% [1].

Снижение водостока, вызванное изменением климата, уже сейчас в государствах Центральной Азии вызывает межгосударственные противоречия по водному вопросу, со временем противостояние только усилится. При глобальном изменении климата ледники горных стран быстро деградируют. Вслед за этим неизбежно сократится

и ледниковый сток. Это означает, что в ближайшем будущем ЦА грозит водноэнергетическая и экологическая катастрофа. В связи с этим актуальным является получение надежного долгосрочного прогноза изменения климата и оледенения. Ошибки в прогнозировании динамики изменения климата чреваты крупными экономическими катастрофами. Просчеты специалистов 50–60-х гг. прошлого века, связанные с падением уровня Каспийского моря через 30 лет, обернулись социально-экономической трагедией целого региона. Получение надежного прогноза позволит принять своевременные меры по адаптации в условиях изменяющегося климата и смягчить последствия этих изменений.

Существующие модели долгосрочного прогнозирования ледниково-климатических изменений не позволяют получить однозначный прогноз

даже на первое столетие. Имеется достаточно оснований полагать, что современное потепление представляет собой часть естественного цикла колебаний климата. В связи с этим в основу долгосрочного прогнозирования климата и оледенения должна быть положена закономерность естественных климатических и ледниковых изменений, имевших место на протяжении длительного периода времени – как минимум голоцена (более 10 тыс. лет). К настоящему времени такая закономерность не установлена из-за несовершенства методов датирования морен. Морены (ледниковые отложения) – надежные свидетели прошлых оледенений, в связи с чем они являются важнейшими носителями палеогляциологической и палеоклиматической информации. Без абсолютных датировок морен невозможно установить закономерность во времени распада голоценового оледенения и сделать надежный прогноз на будущее.

Традиционно морены считались хронологически немymi образованиями. Опубликованные к настоящему времени абсолютные датировки морен [2] являются ненадежными по следующим причинам:

- они либо относительные (в случае радиоуглеродного метода датирования морен с использованием аллохтонного органического вещества), поскольку показывают, насколько морены моложе или древнее этого вещества;
- либо они получены малоприменимыми для датирования морен физическими методами.

Такие датировки являются причиной серьезных противоречий, имеющих место в палеогляциологических реконструкциях. На основе таких



Рис. 1. Морфологически выраженные стадийные морены (I–VII) в мореноледниковом комплексе Тез-Тер (бассейн р. Ала-Арча, Северный Тянь-Шань).

датировок не удастся построить необходимый долгосрочный прогноз.

Нами найден способ надежного радиоуглеродного датирования морен – с использованием автохтонного специфического органического вещества, рассеянного в моренах [3]. Этот способ уже был успешно применен в палеоклиматическом проекте ISTC#Kr-330.2. [4]. Таким образом, был снят геохронологический «занавес» с морен – этих важнейших палеоклиматических и климатостратиграфических реперов.

Нами была установлена морфологически выраженная закономерность распада голоценового оледенения [5]. В нем выделяется не менее 7 основных стадий (рис. 1).

Показано, что распад голоценового оледенения происходит стадийно по затухающему принципу. Уже получены радиоуглеродные датировки первых трех (наиболее древних) стадий голоценового оледенения и построена схематическая модель долгосрочного прогнозирования гляциальных (ледниковых) изменений (рис. 2) [4,5]. Датирование остальных стадийных морен – это путь к скорому долгосрочному прогнозу ледниковых, а стало быть, и климатических изменений.

Для более детальной палеогляциологической реконструкции голоценового оледенения следует сочетать радиоуглеродное датирование стадийных морен с изотопно-кислородным (по соотношению $^{16}\text{O} / ^{18}\text{O}$) исследованием ледников. Последнее позволяет определять температуры климатического прошлого, на результаты этих исследований делают большую ставку в деле палеоклиматических реконструкций и построения

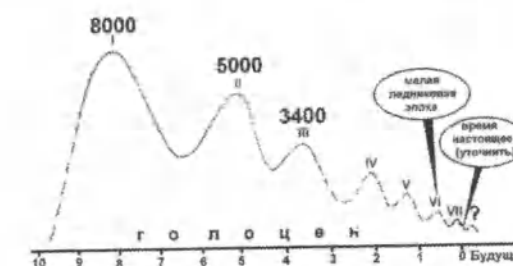


Рис. 2. Схематическая модель гляциальных изменений. На горизонтальной оси – время, тыс. лет; I, II, III, IV, V, VI, VII – стадии оледенения, соответствующие морфологически выраженным моренам; 8000, 5000, 3400 лет – радиоуглеродные датировки древних морен; ? – предполагаемая очередная стадия голоценового оледенения.



Рис. 3. Фронтальный уступ одного из голоценовых морено-ледниковых комплексов Северного Тянь-Шаня: 1 — обнажение ледникового льда, 2 — абляционная морена, 3 и 4 — стадийные морено-ледниковые генерации.

долгосрочного прогноза. С этой целью к настоящему времени в горах Евразии были пробурены ледники Тянь-Шаня, Кавказа, Алтая, Тибета, Гималаев, Скандинавии и Антарктиды. Однако при изотопно-кислородном изучении ледников слабым местом является определение абсолютных возрастов кернов льда. Это делается с помощью моделей соотношения возраста и глубины ледниковых толщ с использованием существенных допущений и теоретических предположений, поэтому устанавливаемые таким образом датировки кернов льда нельзя признать достаточно достоверными.

Предложенный нами способ радиоуглеродного датирования морен позволит надежно привязать к возрастной шкале изотопно-кислородную кривую, получаемую при бурении горных ледников. Для этого нужно отобрать серию образцов на контактах ледникового льда и покрывающей его поверхностной (абляционной) морены (рис. 3). Образцы льда отправить на изотопно-кислородные анализы, образцы морены — на радиоуглеродное датирование.

Ледники в горах не только сокращаются в размерах, но и бронируются, то есть покрываются чехлом абляционной морены. И то и другое в обозримом будущем приведет к значительному сокращению ледникового стока. Это происходит очень активно. На первых этапах бронирования ледников (когда мощность моренного чехла незначительная) происходит усиление их таяния и увеличение в связи с этим их модулей стока. В дальнейшем при увеличении толщины моренного чехла происходит замедление таяния льда вплоть до его полного прекращения. Ледники при этом



Рис. 4. Морено-ледниковый комплекс Карабаткак (бассейн р. Чон-Аксуу, хр. Терскей-Ала-Тоо).

оказываются как бы законсервированными. Важно сделать долгосрочный (на ближайшие многие десятилетия и первые столетия) прогноз не только самого оледенения, но и бронирования горных ледников и уменьшения в связи с этим ледникового стока.

Как быстро современные ледники в будущем будут «уходить» под морену? Что в ближайшем будущем в большей мере скажется на ледниковом стоке — уменьшение размеров ледников или же их бронирование? Для ответа на эти вопросы необходимо изучение тенденции и скорости бронирования в прогнозном аспекте и изменения в связи с этим ледникового стока.

Ледниковый сток из бронированных частей ледников находится в контакте с моренными отложениями, а это, как было нами показано ранее [6,7], приводит к нарушению изотопного равновесия $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$ в уране ледниковых вод. Следует определять модули ледникового стока открытых и в различной степени (по мощности моренного чехла) забронированных ледников. Для этого в современных репрезентативных морено-ледниковых комплексах необходимо выделять морфологически хорошо выраженные разновозрастные морено-ледниковые генерации (это сделать посредством морфолитологических обследований и последующего радиоуглеродного датирования) и определять уран-изотопным методом соотношение собственно ледникового стока и стоков с забронированных в различной степени моренным чехлом морено-ледниковых генераций.

В литературе имеются сообщения об угрожающе быстрой деградации ледников Центральной

Азии. Например, полагают, что толщина гималайских ледников тает со скоростью 10–15 м/год и 2/3 ледников Китая исчезнут к 2060 г., а полностью — к 2100 г. [8]. Согласно «Второму национальному сообщению Киргизии по Рамочной конвенции ООН об изменении климата», количество ледников в Тянь-Шане, расположенных на территории Кыргызстана, может сократиться к 2100 году в десятки раз [9]. Безусловно, в этих случаях имелись в виду лишь открытые части ледников, потому что забронированными ледниками гляциологи пока не занимались. Следует полагать, что «гляциальный катастрофизм», который приведен в вышеуказанных источниках, значительно преувеличен. Для получения объективной картины следует заняться изучением забронированных ледников, в том числе и в историко-генетическом аспекте. Ледовые ресурсы в морено-ледниковых комплексах — это своего рода законсервированные запасы льда, которые отдают воду значительно меньшими темпами, нежели открытые ледники; и их сток относительно равномерный в течение различных сезонов года.

Необходимо переоценить ледовые ресурсы горных районов, в частности, ресурсы Кыргызского Тянь-Шаня, приведенные в каталоге ледников СССР [10]. Для этого необходимо разработать методику оценки ледовых ресурсов с учетом объемов забронированных ледников. В каталоге ледников Кыргызского Тянь-Шаня забронированные ледники почти не учтены. В связи с этим традиционно подсчитанные ледовые ресурсы являются значительно заниженными, а составляющая многолетней мерзлоты и вовсе не оценивалась. Ключевой ошибкой гляциологов является принятие забронированных голоценовых ледников за собственно морены (что подразумевает отсутствие в них погребенного ледникового льда, в лучшем случае — наличие лишь фрагментов льда). Однако в горах нет отдельно взятых голоценовых ледников и морен, там имеются морено-ледниковые комплексы. На рис. 4 приведен голоценовый морено-ледниковый комплекс ледника Карабаткак, являющийся объектом изучения и стационарных наблюдений, выполняемых лабораторией гляциологии ТШВНЦ при ИВПиГЭ НАН КР.

На переднем плане (справа, слева, впереди и позади озера) — это не морены в привычном понимании, а забронированные мореной ледниковые тела разновозрастных генераций. Они (и им подобные в других случаях) не вошли в «Каталог ледников Тянь-Шаня». Туда вошли только так на-

зываемые [9] замороженные участки ледника в его языковой части 1 (рис. 4).

Таким образом, для получения долгосрочного прогноза бронирования ледников и уменьшения в связи с этим ледникового стока следует продолжить начатые нами в 90-х годах комплексные изотопные и морфолитологические исследования морено-ледниковых комплексов. Здесь мы исходим из установленных нами особенностей гляциального литогенеза с образованием морен горных ледников, при котором решающую роль играет органика в виде гляциохинофильных микроорганизмов, обитающих на ледниках. Эта органика сорбирует уран и может быть датирована по радиоуглероду. Уран-изотопные исследования помогут выделять разновозрастные генерации в голоценовых морено-ледниковых комплексах и установить долю каждой составляющей в общем стоке горных рек, в том числе — с открытых и забронированных частей ледников.

Литература

1. Дикин А.Н., Сокальская А.М., Дюргеров М.Б. и др. Ледниковый сток // Оледенение Тянь-Шаня. — М.: 1995. — С. 131–168.
2. <http://www.regnum.ru/news/1236021.html>
3. Шатравин В. И. Радиоуглеродное датирование морен по рассеянной органике // Климат, ледники и озера: путешествие в прошлое. — Бишкек: Илим, 2007. — С. 74–92.
4. Проект МНТЦ#Кг-330.2. Научный отчет. — Бишкек: ИВПиГЭ НАН КР, 2007.
5. Шатравин В. И. Реконструкция плейстоценового и голоценового оледенений Тянь-Шаня с новых исходных позиций // Климат, ледники и озера: путешествие в прошлое. — Бишкек: Илим, 2007. — С. 26–46.
6. Тузова Т.В., Шатравин В.И. Особенности формирования изотопного состава урана во льдах и водах высокогорного криолитогеоза // Изв. АН КР. — 1994. — № 3. — С. 55–59.
7. Тузова Т.В., Романов В.В., Власова Л.В. и др. Уран и торий в ледниковых озерах Северного Тянь-Шаня // Водные ресурсы. — 1994. — Т. 21. — № 2. — С. 236–239.
8. www.climatechange.ru/node/4
9. Второе Национальное сообщение Кыргызской Республики по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. — Бишкек, 2006. — 180 с.
10. Каталог ледников СССР. — Ленинград, 1967. — Т. 13. — В. 2. — Ч. 1, 2.

УДК 528.931:627.2

Седиментационные процессы в береговой зоне озера Иссык-Куль

В.В. РОМАНОВСКИЙ – заведующий лабораторией ИВПиГЭ
НАН КР

С.Э. ТАШБАЕВА – научный сотрудник ИВПиГЭ НАН КР

This article describes geomorphological zoning of the Issyk-Kul Lake shores, the types of coasts, their granulometric structure, and the beach-rock formation.

В основу геоморфологического районирования побережья озера Иссык-Куль положены общие принципы и критерии районирования морских берегов. Исходя из природных особенностей развития отдельных участков побережья в условиях падения уровня озера, составившего по данным наблюдений с 1927 по 2001 гг. 3,1 м, нами были выделены береговые районы, представленные в табл. 1.

В пределах каждого района были выделены более мелкие единицы – литодинамические системы (littoral cells), включающие отдельные полуострова, заливы и разделяющие их ровные участки берега. Всего выделено 36 участков. Границами литодинамических систем (участков) в основном являются подводные речные долины, перехватывающие песчаный поток наносов, направленный вдоль северного и южного берегов озера с запада на восток. Основная литодинамическая роль подводных речных долин, оканчивающихся на глубинах около 120 м, заключается в изъятии наносов из береговой зоны и перемещении их в глубинную часть озера. Сонарная съемка подводной долины реки Чон-Кой-Суу, глубина вреза которой составляет 60 м, показала наличие на бортах долины ярко выраженных валов, сформировавшихся за счет сваливания в долину песчаного материала береговой отмели.

Вдольбереговое перемещение (beach drifting) песчаного материала, в основном, происходит по береговому отмелю, сформированному волновой деятельностью. У аккумулятивных берегов отмель, как правило, оканчивается на глубине 3 м резким свалом глубин с харовыми водорослями и автохтонными илистыми грунтами на глубинах 10 – 35–40 м. Индикаторами вдольберегового перемещения песка являются подводные валы (submarine bar). Как правило, один из валов оконтуривает отмель перед свалом глубин, другие валы располагаются ближе к берегу в зоне разрушения волн.

Литодинамическую систему полуострова Кара-Булун, расположенного на юго-восточном аккумулятивном берегу озера, с юга ограничивает слившиеся подводные долины Чон-Кызыл-Суу и Джууки, а с севера – резкий свал глубин тектонического происхождения. Вдольбереговой поток наносов на Карабулунской отмели формируется волнениями западных румбов. По минимально-максимальной вехе высота волн здесь превышает 4 м. На лобовой части полуострова штормовое волнение направлено по нормали к берегу, а на юго-западном и северо-восточном берегах – под углом 50–60°. По номограмме Правоторова при таких углах подхода волн к берегу и уклонах дна 0,002 формируется вдольбереговой поток наносов максимальной емкости. Наличие шести под-

Таблица 1

Районирование берегов озера Иссык-Куль

Номер района	Название района	Положение района	Тип берега	Протяженность берега км
I	Западный	Побережье залива Рыбачий	Пассивно-осушной илистый	67,2
II	Северо-западный	Полуостров Торуайгыр – устье реки Аксу	Аккумулятивный	114,1
III	Северо-восточный	Устье реки Аксу – бухта Кутурга	Чениер-плен с песчаными валами и заболоченными понижениями между ними	52,8
IV	Восточный	Тюпский залив	Риасовый с глубоко врезанными в сушу бухтами	140
V	Юго-Восточный	Полуостров Сухой Хребет – залив Покровский	Аккумулятивный	137,9
VI	Юго-юго-восточный	Южный мыс Покровского залива – бухта Тоссор	Пассивно-осушной валунисто-галечный с активной аккумуляцией CaCO_3	66,8
VII	Юго-западный	Бухта Тоссор – полуостров Турасу	Аккумулятивный с ингрессионными заливами	108,2

водных валов вдоль северо-восточного берега и двух – вдоль юго-западного, свидетельствует о вдольбереговом потоке наносов (sediment flow), а отсутствие этих форм против лобовой части полуострова – о поперечном (transverse sediment drifting). На лобовой части полуострова широко распространены аккумулятивные выступы и то-боло, образующиеся на участках блокирования (экранирования) берега подводными и надводными нагромождениями плит регрессивного песчаника.

Состав взвешенных наносов на карабулунской отмели изучался с помощью взвесе-накопителей, устанавливаемых на высотах 5–6, 30–35 и 50–55 см от дна. Терригенный материал взвесе-накопителей подвергался гранулометрическому (механическому) анализу. По формулам Фолька и Уорда [1] рассчитывались статистические параметры грансостава – сортировка, средневзвешенный размер, медианный диаметр, асимметрия. Анализ грансостава выявил на отмели полуострова Кара-Булун две генерации песка. Одна из них представлена, собственно, озерным песком, способным к транспортировке в взвешенном состоянии. В качестве характеристик озерной генерации песка наиболее стабильными показателями являются диаметр на 95% уровне кумулятивной кривой (ϕ_{95}) и сортировка (λ_1) [2]. Диаметр песка ϕ_{95} равный $0,95 \pm 0,03$ мм, показывает верхний предел песка, транспортируемого

во взвешенном состоянии. Таким песком сложена отмель против лобовой части полуострова Кара-Булун зоной образования валов на глубинах свыше 3,5 м. Во взвесе-накопителях пески с медианным диаметром более 0,60 мм отсутствуют. Медианный диаметр песка, слагающего подводные валы, равный 0,61–0,68 мм, указывает на то, что они перемещаются за счет их сальтирования по дну. Характерной особенностью подводных валов является также и то, что сложены они песками с нулевой асимметрией (S_k), характеризующейся нормальным распределением частиц различных фракций. На мористом подводном валу (глубина 3,5 м) мелкозернистые пески диаметром менее 0,20 мм отсутствуют полностью. Почти не представлены здесь и очень грубозернистые пески диаметром более 1 мм. На долю грубозернистого песка диаметром от 0,40 до 1 мм приходится более 80%. Мористее валов в зоне неразрушенных волн отмечается отрицательная асимметрия, увеличивающаяся по мере нарастания глубины. Это указывает на преобладание частиц песка малого размера, поступающих на эту часть отмели во взвешенном состоянии.

Другая генерация песков карабулунской отмели представлена слабосортированным и слабокатанным терригенным материалом, содержащим примеси гравия и гальки. На лобовой части карабулунской отмели на глубинах 3,2 субэвральные пески отпрепарированы волнением от пе-

ска озерной генерации. Окрашенные в розовато-серые тона, эти почти не переработанные озером отложения, вероятно, являются субазральными образованиями. Эта генерация песков характеризуется нижним пределом крупности частиц на 5% уровне (ϕ_5) кумулятивной кривой, равном 0,42 мм. Этот параметр наиболее стабилен для субазральных песков.

Широкое распространение грубозернистого терригенного материала по всему периметру озера до глубины около 100 м свидетельствует о том, что он был отложен в субазральных условиях в период голоценовой регрессии озера. Так, эти отложения почти не подвергались волновой переработке. Скорость последующего подъема уровня, вероятно, была очень значительной. Об этом же свидетельствует хорошая сохранность подводных речных долин.

По набору главенствующих минералов побережье полуострова Кара-Булуи относится к роговообманковому-рудно-слюдистому минералогическому комплексу [3]. Вдоль южного побережья полуострова встречаются так называемые кочующие пляжевые россыпи, являющиеся естественными шлихами тяжелых минералов. Процент гематита и ильменита в них возрастает до 99%. Побывавший на Иссык-Куле в начале прошлого века Л.С. Берг [4] отмечал, что в этом районе наблюдаются скопления «железного песка» мощностью до 90 см, из которых местные жители выплавляли железо. Источником рудной фракции, очевидно, является подводная отмель полуострова. Многократно перебивая песчаные отложения отмели, волны откладывают тяжелую рудную фракцию на пляже и уносят легкую фракцию к основанию подводного склона, где роговая обманка составляет около 50%, а рудные минералы – только 11%.

Карбонат кальция является вторым после терригенного материала компонентом осадков озера Иссык-Куль. В распределении пелитоморфного карбоната кальция в донных отложениях прослеживается закономерность, характерная для всех водоемов. Наибольшее его среднее содержание (34,05%) наблюдается в глубоководной части озера в глинистых илах и по направлению к берегам постепенно убывает до 4,52% в песках [5]. В прибрежной зоне частицы карбоната кальция концентрируются в форме тремболитических микроболитов [6], корочек обрастания на валунах и гальках, пропитывают алевритовые и глинистые отложения, образуя причудливые формы

в виде керамической посуды, цементируют песок в виде песчаников и валуно-галечники в виде конгломератов. Образование микроболитов связано с жизнедеятельностью кальцинирующих цианобактерий *Phormidium*. Волокна *Phormidium* формируют структурную основу для осаждения микросталлических палочек моногидрокарбоната. Микроболиты образуют валуно-галечные отложения сплошным ковром. У села Тамга микроболиты образуют натечные «шапки» толщиной 20–30 см на субстрате раздробленного песчаника.

Песчаники и конгломераты распространены на голоценовой террасе озера и на дне до глубины 5–6 м повсеместно, кроме западного берега. Древние литификаты встречаются в отложениях высокой николаевской террасы верхнеплейстоценового возраста. Распространение их ограничено участком побережья от села Тоссор до залива Тон. Представлены они 0,5–2-метровыми пластами сцементированных песков, гравия и гальки, обнажившихся в отмерших абразионных клифах. В 2 км к западу от горы Шарпылдак древние конгломераты и песчаники прослеживаются в клифе на абсолютных высотах 1624,3 и 1632,6 м. Голоценовые песчаники представлены параллельными или под углом к современному берегу грядами плит мощностью 2,5 м. Линейно вытянутые песчаники обычно разбиты трещинами, а в условиях приглубого берега, где в прошлом имела место абразия и вынос песчаного материала из-под тела литификата, наблюдается откалывание плит песчаника и скатывание их по склону пляжа. В районе Каджи-Сая к западу от пансионата «Юбилейный», где песчаник отмечается в теле косы, сформировавшейся в период максимума голоценовой трансгрессии, на двух высотных уровнях – 1611,7 и 1618,7 м, развалины плит блокируют берег и дно до глубины 3 м.

Содержание кальцита в береговых формах карбонатного осадконакопления изменяется в широких пределах. Одни разновидности имеют базальный цемент, в который погружены зерна обломочного материала. Конгломераты, скрепленные базальным цементом, наблюдаются в районе села Ак-Терек. Здесь крепко сцементированные включения гранитного галечника срезаны волнением до уровня цементирующего материала и представляют собой единую горную породу. В других местах цементируемый материал песчаников представлен в виде цемента пор и цемента соприкосновений. Такие малоизвестковистые

песчаники имеют молодой возраст и легко поддаются разрушению. Цемент соприкосновения отмечается в песчаниках полуострова Кара-Булуи, образующихся в течение одного осеннего сезона.

Генезис береговых форм карбонатного осадконакопления связан с цементированием внутреннего склона пляжа. Песчаники с ненарушенным местоположением имеют наклон в сторону озера, равный углу наклона пляжа. В отдельных случаях он достигает 14°. По составу обломочного материала эти формы не отличаются от отложений пляжа. Если пляж сложен песком, то сцементированные породы имеют состав песчаника, если на пляже развит галечник, то они представлены конгломератами. По месту образования и генезису береговые песчаники и конгломераты могут быть классифицированы как бич-рок (beach-rock).

Считается, что в морских условиях полное превращение отложений пляжа в породу происходит в течение 100 лет. Но на озере Иссык-Куль при определенных условиях образование бич-рока происходит значительно быстрее. Во время голоценовой регрессии Иссык-Куля, начавшейся около 150 лет назад, береговые формы быстро выходили из зоны волнового воздействия. Поэтому образование бич-рока происходило в периоды стабилизации уровня, когда создавались условия для долговременной пропитки пляжа цементирующим раствором. Стабильное положение уровня в течение последних 22 лет (1981–2002 гг.) на отметке около 1606,5 м вызвало образование современных бич-роков на полуостровах Кара-Булуи, Чирпыкты, Бозтери.

Образование бич-рока в течение одного осеннего сезона наблюдается на аккумулятивных мысах полуострова Кара-Булуи, где, по данным наблюдения с 1980 по 1992 г., скорость выдвижения береговой линии в озеро достигает 20 м в год. Здесь за отложениями песчаными косами располагаются лагуны. Это в условиях очень динамического берега определяет активное пропитывание песка цементирующим раствором как со стороны озера, так и со стороны лагун. Во время весенне-летнего подъема уровня следующего года происходит размыв мысов. При этом слабо сцементированные песчаники, окаймляющие положение мыса предшествующего года, оказываются на дне озера и легко поддаются разрушению даже слабым волнением. В результате подъема уровня 1993, 1994 гг. современный бич-рок обнажился у отсыпки пляжа вдоль линии уреза на восточной стороне полуострова

Чирпыкты. Он продолжается и на пляже в зоне заплеска на расстоянии 3–5 м от уреза под 10–40-сантиметровым слоем песка.

Подводные формы бич-рока, образовавшиеся в трансгрессивную фазу хода уровня, оказывают существенное влияние на аккумуляцию песчаного материала в береговой зоне. Возвышающиеся над дном глыбы песчаника в процессе современного падения уровня озера начинают выполнять роль волногасителя, за которым рефрактирующие волны образуют песчаную мель, а затем и перемычку (томболо), соединяющую остров с берегом. До 1930 г. на месте современной Тоссорской косы существовал сложенный плитами песчаника Кайрак [7]. В процессе падения уровня и аккумуляции песка образовалась перемычка, соединившая остров с берегом. В начале 1960-х годов прошлого века коса уже имела вид, близкий к современному. Теперь открытая к озеру часть перемычки сложена глыбами песчаника, время образования которого приходится на период после формирования перемычки.

Большое влияние на процессы аккумуляции терригенного материала оказывают гряды трансгрессивного бич-рока, подходящие под углом к берегу и расположенные поперек вдольберегового потока песчаных наносов. В этом случае бич-рок выполняет роль наводнителя, способствующего быстрому росту берега. Такая ситуация наблюдается на западных сторонах полуострова Долинка и Бозтери. Здесь еще в 1984 году существовали причалы, выдвинутые в озеро на 100–150 метров. Глубины у мористой части причалов составляли 2–3 м. К причалам швартовались прогулочные катера, отдыхающие ловили рыбу и ныряли в воду. В 1994 году причальные сооружения находились полностью на суше в 30–50 м от воды. Столь значительное выдвижение берега произошло в период стабильного стояния озера.

Литература

1. Folk R.L., Ward W.C., Brazos River bar: a study in the significance of grain – size parameters. «J.Sediment, Petrol», 1957, 27, №1. – Р. 3–27.
2. Романовский В.В. Озеро Иссык-Куль как природный комплекс. – Фрунзе: Илим, 1991. – С. 168.
3. Коротаев В.Н. Транспорт и дифференциация минералов в береговой зоне озера Иссык-Куль // Динамика современных береговых процессов озера Иссык-Куль. – Фрунзе: Илим, 1981. – С. 124–148.

4. Берг Л.С. Иссык-Куль // Землеведение. – Казань, 1904. – Кн.1–2.
5. Сапожников Д.Г., Виселкина М.А. Современные осадки озера Иссык-Куль. – М.: АН СССР, 1960. – С. 160.
6. Rasmussen K.A., Romanovsky V.V., Macityre I.G., Prufert L. Late quaternary coastal microbialities and beachrocks of the Issyk-Kul, Kyrgyzstan:

- geologic, hydrographic and climatic significance // GSA National Meeting, Denver. CO. Oct. 1996.
7. Никифоров Л.Г., Коротаев В.Н. Своеобразие процессов литогенеза в береговой зоне озера Иссык-Куль // Динамика современных береговых процессов озера Иссык-Куль. – Фрунзе: Илим, 1981. – С. 55–67.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ

УДК 535.22

Новый взгляд на опыт Физо

М.Н.РАИМКУЛОВ – к.т.н.

At this article Fizeau experiment is considered. The analysis of this experiment has shown, that the reason of different time of passage by counter beams of the same distance is not the partial hobby of an aether, but various lengths of a way which photons pass in moving water.

В 1851 г. Физо поставил опыт по распространению света в движущейся воде, в результате которого был сделан вывод о том, что эфир частично увлекается движущейся водой. Однако такой вывод противоречит устоявшемуся в физике понятию об отсутствии светового эфира. Для того чтобы разобраться в этом противоречии, еще раз рассмотрим упомянутый опыт Физо [1]. Параллельный пучок света от источника S разделялся посеребренной полупрозрачной пластинкой P на два пучка, обозначенных цифрами 1 и 2 (рис. 1). За счет отражения от зеркал M_1 , M_2 и M_3 пучки, пройдя в общей сложности одинаковый путь L , снова попадали на пластинку P . Пучок 1 частично проходил через полупрозрачную пластинку P , пучок 2 частично отражался от нее, в результате чего возникало два когерентных пучка 1' и 2', которые давали в фокальной плоскости зрительной трубы интерференционную картину в виде полос. На пути пучков 1 и 2 были установлены две трубы, по которым могла пропускаться вода со скоростью u в направлениях, указанных стрелками. Луч 2 распространялся в обеих трубах навстречу току воды, луч 1 – по течению.

При неподвижной воде пучки 1 и 2 проходят путь L за одинаковое время. Как считал Физо, если вода при своем движении хотя бы частично

увлекает эфир, то при включении тока воды луч 2, который распространяется против течения, затратит на прохождение пути L больше времени, чем луч 1, распространяющийся по течению. В результате между лучами возникнет некоторая разность хода, и интерференционная картина сместится.

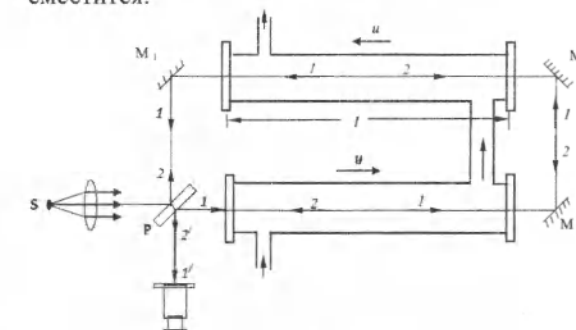


Рис. 1.

Интересующая разность хода возникает лишь на пути лучей, пролегающем в воде. Этот путь имеет длину $2L$. Обозначим скорость света относительно эфира в воде буквой v . Когда эфир не увлекается водой, скорость света относительно установки будет совпадать с v . Предположим, что вода при своем движении частично увлекает

эфир, сообщая ему относительно установки скорость au (u – скорость воды, a – коэффициент увлечения). Тогда скорость света относительно установки будет равна: $v+au$ для луча 1 и $v-au$ для луча 2. Луч 1 пройдет путь $2l$ за время $t_1 = 2l/(v+au)$, луч 2 – за время $t_2 = 2l/(v-au)$. Известно, что оптическая длина пути, на прохождение которого затрачивается время t , равна St . Следовательно, разность хода лучей 1 и 2 равна $\Delta = C(t_2 - t_1)$. Разделив Δ на λ_0 , получим число полос, на которое сместится интерференционная картина при включении тока воды:

$$\Delta N = \frac{C(t_2 - t_1)}{\lambda_0} = \frac{C}{\lambda_0} \left(\frac{2l}{v-au} - \frac{2l}{v+au} \right) = \frac{4Clau}{\lambda_0(v^2 - a^2u^2)} \quad (1)$$

Физо обнаружил, что интерференционные полосы действительно смещаются. Соответствующее смещению значение коэффициента увлечения оказалось равным:

$$\alpha = 1 - \frac{1}{n^2}, \quad (2)$$

где n – показатель преломления воды. Таким образом, опыт Физо показал, что эфир увлекается движущейся водой только частично.

Также в [1] показано, что результат опыта Физо объясняется релятивистским законом сложения скоростей. Согласно первой из формул (66.1) [2], скорости v_x и v'_x некоторого тела в системах K и K' связаны соотношением:

$$v_x = \frac{v'_x + v_0}{1 + v_0 v'_x / C^2} \quad (3)$$

(v_0 – скорость системы K' относительно системы K).

Свяжем с прибором Физо систему отсчета K , а с движущейся водой – систему K' . Тогда роль v'_x будет играть скорость течения воды u , роль v_x – скорость света относительно прибора $v_{\text{приб}}$. Подстановка этих значений в формулу (3) дает:

$$v_{\text{приб}} = \frac{C/n + u}{1 + u(c/n)/C^2} = \frac{C/n + u}{1 + u/Cn} \quad (4)$$

Скорость течения воды u много меньше C . Поэтому полученное выражение можно упростить следующим образом:

$$v_{\text{приб}} = \frac{C/n + u}{1 + u/Cn} \approx \left(\frac{C}{n} + u \right) \left(1 - \frac{u}{Cn} \right) \approx \frac{C}{n} + u \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \quad (5)$$

(мы пренебрегли членом u^2/Cn).

Согласно классическим представлениям, скорость света относительно прибора $v_{\text{приб}}$ равна сумме скорости света относительно эфира, т.е. C/n , и скорости эфира относительно прибора, т.е. au :

$$v_{\text{приб}} = C/n + au. \quad (6)$$

Сравнение с формулой (5) дает для коэффициента увлечения a значение, полученное Физо (см. (2)).

Это то, каким образом сегодня обосновываются результаты эксперимента, проведенного Физо. Однако следует отметить, что классическое объяснение результатов этого опыта не согласуется с другим известным выводом, сделанным еще Эйнштейном и подтвердившимся на практике, об отсутствии светового эфира. Более того, преобразования Лоренца, которые были использованы для выведения коэффициента a (см. (5)), основаны на постоянстве скорости света и соответственно на предположении об отсутствии светового эфира. Тогда как же можно использовать эти преобразования в расчетах на увлечение эфира, если предполагать, что его не существует. А это означает, что если для распространения электромагнитной волны не требуется специальная среда (эфир), то тогда логичен вопрос: «Если эфира нет, то что же может захватываться потоком воды?». Ответ: «Ничего». Но при этом мы видим, что скорость распространения света в направлении течения воды и против ее течения различны. Попробуем найти ответ на данный вопрос, помня об отсутствии эфира.

Ранее автором был описан механизм распространения электромагнитных волн [3] в среде и логика физического смысла коэффициента преломления среды [4]. Согласно предложенной логике, фотоны представляют собой вращающиеся вторичные вихри, состоящие из физических точек, имеющих массу, и, следовательно, они подвержены закону передачи импульса. Это не что иное, как проявление свойства корпускулярности фотонов. Элементарные частицы и, соответственно, атомы, молекулы и в конечном счете вся материя также представляют собой вращающиеся вторичные вихри, состоящие из физических точек, имеющих массу, также подверженных закону передачи импульса. Это означает, что взаимодействия, которые происходят при столкновении фотонов с молекулами воды, можно описать данными законами. Поэтому по аналогии с тем, как мы рассматривали влияние плотности среды на ско-

рость прохождения электромагнитного излучения через среду, рассмотрим влияние движения среды на скорость прохождения электромагнитного излучения через движущуюся воду. Конечно, столкновения фотонов с молекулами воды могут происходить под различными углами, но поскольку столкновения под этими углами равновероятны для всех трех вариантов (неподвижной воды, воды, движущейся навстречу, и воды, движущейся попутно), то мы для простоты понимания и вычислений возьмем лобовые столкновения для всех вариантов. Исходя из всего вышеперечисленного, определим, какой путь придется пройти фотону при движении сквозь неподвижную воду, воду, движущуюся навстречу, и воду, движущуюся попутно (рис. 2).

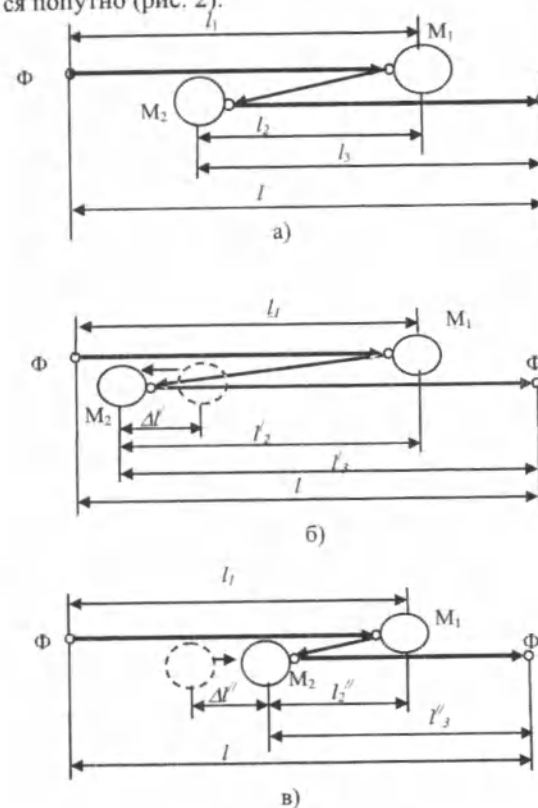


Рис. 2.

При неподвижной воде общий путь, пройденный фотоном, будет равен:

$$S_1 = l_1 + l_2 + l_3. \quad (7)$$

В случае, когда течение воды направлено навстречу распространению света, общий путь, пройденный фотоном, будет равен:

$$S_2 = l_1 + l_2' + l_3', \quad (8)$$

где $l_2' = l_2 + \Delta l'$, $l_3' = l_3 + \Delta l'$, тогда

$$S_2 = l_1 + l_2 + \Delta l' + l_3 + \Delta l' = S_1 + 2\Delta l'. \quad (9)$$

В том случае, когда течение воды происходит по направлению распространения света, общий путь, пройденный фотоном, будет равен:

$$S_3 = l_1 + l_2'' + l_3'', \quad (10)$$

где $l_2'' = l_2 - \Delta l''$, $l_3'' = l_3 - \Delta l''$, тогда

$$S_3 = l_1 + l_2 - \Delta l'' + l_3 - \Delta l'' = S_1 - 2\Delta l''. \quad (11)$$

Из полученных значений S_1 , S_2 , S_3 видно, что $S_3 < S_1 < S_2$ – означает, что при равных скоростях C движения фотона между столкновениями время, которое будет затрачено фотонами на прохождение этих расстояний, также будет различным:

$$t_1 = \frac{S_1}{C}, \quad (12)$$

$$t_2 = \frac{S_2}{C} = \frac{S_1 + 2\Delta l'}{C}, \quad (13)$$

$$t_3 = \frac{S_3}{C} = \frac{S_1 - 2\Delta l''}{C}. \quad (14)$$

Из полученных значений видно, что $t_3 < t_1 < t_2$, т.е. время, затраченное лучом на прохождение воды, движущейся в попутном направлении, меньше, чем время, затраченное лучом на прохождение воды, движущейся во встречном направлении. Этот вывод подтверждается результатами, полученными Физо, он показывает, что причиной разного времени прохождения лучами 1 и 2 (рис. 2) одного и того же расстояния является не частичное увлечение эфира, а различные длины путей S_2 и S_3 , проходимые этими лучами в воде.

Выводы

1) Скорость распространения электромагнитной волны в среде зависит от количества столкновений фотонов с частицами этой среды.

2) Классическое объяснение результатов опыта Физо не согласуется с другим известным выводом, сделанным еще Эйнштейном и подтвердившимся на практике, об отсутствии светового эфира, поэтому оно не может быть применимо в данном случае.

3) Причиной разного времени прохождения лучами 1 и 2 одного и того же расстояния в опыте Физо является не частичное увлечение эфира, а различные длины путей S_2 и S_3 , проходимые этими лучами в воде.

Литература

1. Савельев И.В. Общий курс физики. – М.: Наука, 1988. – Т. 2. – С. 469–472.

2. Савельев И.В. Общий курс физики. – М.: Наука, 1988. – Т. 1. – С. 232.
3. Раимкулов М.Н. Электромагнитная волна или движение элементарных частиц // Труды Международной конференции «Рахматуллинские чтения». – Бишкек, 2011. – С. 95–97.

4. Раимкулов М.Н. Исследование возможностей использования нанотехнологии при создании новых материалов и совершенствовании оптико-информационных систем // Исследование принципов распространения и взаимодействия электромагнитной волны / Отчет НИР 0005488. – Бишкек, 2010. – С. 55–58.

УДК:624.074:539.2

Методы решения краевых задач осесимметричной теории упругости

Т.О. ОРМОНБЕКОВ – докт. техн. наук, проф., член-корр. НАН КР

Hard bodies radiation exposure is followed by numerous effects, as a result of which additional volumetric deformation emerges; elastic, especially plastic characteristic of material get changed. We consider mechanical side of this process, i.e. impact of neutron irradiation on hard body stress strain behavior. This might be facilities made of composition and polymeric materials like capsule-storage. Thus, the development of effective methods for estimation of stress strain behavior of thick wall hollow cylinders of complex form bounded with anisotropic shell is acute problem in modern technology

Напряженно-деформированные состояния (НДС) осесимметричного тела при симметричных граничных условиях определяют следующие уравнения:

Уравнения равновесия:

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{\partial \sigma_{\rho z}}{\partial z} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\varphi}{\rho} + F_\rho = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{\rho z}}{\partial \rho} + \frac{\sigma_{\rho z}}{\rho} + F_z = 0,$$

где ρ, z – цилиндрические координаты; $\sigma_\rho, \sigma_z, \sigma_\varphi$ – компоненты вектора тензора напряжений; F_ρ, F_z – проекция объемных сил на оси.

Уравнения деформаций:

$$\varepsilon_\rho = \frac{\partial u_\rho}{\partial \rho}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}, \quad \varepsilon_\varphi = \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi},$$

$$2\varepsilon_{\rho z} = \frac{\partial u_z}{\partial \rho} + \frac{\partial u_\rho}{\partial z}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_\rho, \varepsilon_z, \varepsilon_\varphi, \varepsilon_{\rho z}$ – компоненты тензора деформаций; u_ρ, u_z – компоненты вектора перемещений.

Уравнения закона Гука:

$$\sigma_\rho = 2G \left(\frac{\theta}{m-2} + \varepsilon_\rho \right),$$

$$\sigma_z = 2G \left(\frac{\theta}{m-2} + \varepsilon_z \right), \quad (3)$$

$$\sigma_\varphi = 2G \left(\frac{\theta}{m-2} + \varepsilon_\varphi \right), \quad \tau_{\rho z} = 2G\varepsilon_{\rho z},$$

где $\theta = \varepsilon_\rho + \varepsilon_z + \varepsilon_\varphi$; G – модуль сдвига; $m = \frac{2}{\nu}$, ν – коэффициент Пуассона.

Условия на поверхности:

$$\sigma_\rho \cos(n, \rho) + \tau_{\rho z} \cos(n, z) = P_\rho, \quad (4)$$

$$\sigma_z \cos(n, z) + \tau_{\rho z} \cos(n, \rho) = P_z,$$

где P_ρ, P_z – проекции поверхностных сил на оси ρ, z .

Если объединить уравнения (1) – (3), то получится система дифференциальных уравнений Ляме, которая имеет следующий вид:

$$\frac{m}{m-2} \frac{\partial \theta}{\partial \rho} + \nabla^2 u_\rho - \frac{u_\rho}{\rho^2} + \frac{F_\rho}{G} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{m}{m-2} \frac{\partial \theta}{\partial z} + \nabla^2 u_z + \frac{F_z}{G} = 0,$$

$$\text{где } \nabla^2 = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Уравнениями (5) и условиями на поверхности (4) полностью определяются напряженно-деформированные состояния рассматриваемого тела при его осесимметричной деформации.

Общее решение уравнений Ляме для тел вращения

Получим сначала общее решение однородной системы уравнений (5), т.е. при $F_\rho = F_z = 0$. Согласно общему решению Попковича – Нейбера [1], компоненты вектора перемещений можно записать в следующем виде:

$$u_\rho = \frac{4(m-1)}{m} B_\rho - \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho B_\rho + z B_z + B_0), \quad (6)$$

$$u_z = \frac{4(m-1)}{m} B_z - \frac{\partial}{\partial z} (\rho B_\rho + z B_z + B_0),$$

причем функцию B_z можно положить равной нулю, не нарушив при этом общности решения [1]. Функции B_ρ и B_0 удовлетворяют уравнениям:

$$\frac{\partial^2 B_\rho}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B_\rho}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho^2} B_\rho + \frac{\partial^2 B_\rho}{\partial z^2} = 0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 B_0}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B_0}{\partial \rho} + \frac{\partial^2 B_0}{\partial z^2} = 0.$$

Частные решения уравнений (7) будем искать методом разделения переменных

$$B_\rho = R_1(\rho) Z_1(z), \quad B_0 = R_0(\rho) Z_0(z). \quad (8)$$

Подставив выражения (8) в (7), получим дифференциальные уравнения:

$$\frac{\partial^2 R_1}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial R_1}{\partial \rho} - \left(\beta^2 + \frac{1}{\rho^2} \right) R_1 = 0,$$

$$\frac{\partial R_0}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial R_0}{\partial \rho} - \beta^2 R_0 = 0,$$

$$\frac{\partial Z_1}{\partial z^2} + \beta^2 Z_1 = 0, \quad \frac{\partial^2 Z_0}{\partial z^2} + \beta^2 Z_0 = 0. \quad (9)$$

Решения дифференциальных уравнений (9) при $\beta \neq 0$ имеют следующий вид:

$$R_1 = A_1 I_1(\beta \rho) + A_2 K_1(\beta \rho),$$

$$Z_1 = A_3 \cos \beta z + A_4 \sin \beta z, \quad (10)$$

$$R_0 = A_5 I_0(\beta \rho) + A_6 K_0(\beta \rho),$$

$$Z_0 = A_7 \cos \beta z + A_8 \sin \beta z.$$

Кроме того, при $\beta = 0$ существуют еще решения:

$$R_1 = A_9 \rho + A_{10} \frac{1}{\rho}, \quad Z_1 = A_{11} z + A_{12}, \quad (11)$$

$$R_0 = A_{13} \ln \rho + A_{14}, \quad Z_0 = A_{15} z + A_{16},$$

где $I_n(\beta \rho), K_n(\beta \rho)$ – модифицированные функции Бесселя; ($n=0, 1$);

A_i – произвольные постоянные; β – параметр, определяемый ниже.

Подставляя (10), (11), в (8) представив B_ρ и B_0 в виде суммы частных решений уравнений (7)

$$B_\rho = \sum_{j=1}^{m_1} \left[\sum_{i=1}^{\infty} a_{ji} I_1(\beta \rho) + \sum_{i=1}^{\infty} b_{ji} K_1(\beta \rho) \right] Z_j(z) +$$

$$+ C_1 \rho z + C_2 \frac{z}{\rho} + C_3 \rho + C_4 \frac{1}{\rho}, \quad (12)$$

$$B_0 = \sum_{j=1}^{m_2} \left[\sum_{i=1}^{\infty} c_{ji} I_0(\beta \rho) + \sum_{i=1}^{\infty} d_{ji} K_0(\beta \rho) \right] Z_j(z) +$$

$$+ C_5 z \ln \rho + C_6 z + C_7 \ln \rho + C_8,$$

где в общем случае $m_1 = 1; m_2 = 2; Z_1 = \cos \beta z; Z_2 = \sin \beta z; C_j$ – произвольные параметры.

Параметр β , как и в случае разложения в ряд Фурье, получаем равным $\beta = \frac{\pi l}{2L}$, где $2L$, период решения по оси z . Причем величины $2L$ берутся больше максимального размера конструкции по оси z , что позволит в дальнейшем удовлетворить

граничным условиям по торцам тел вращения [2].

Подставляя выражения (12) в (6), получим выражение для радиального и осевого перемещений

$$u_p = \sum_{j=1}^{m_2} \left[\sum_{i=1}^{\infty} \left\{ a_{ji} \left[I_1(\beta\rho) \frac{4(m-1)}{m} - I_0(\beta\rho) \rho\beta \right] + b_{ji} \left[\frac{4(m-1)}{m} K_1(\beta\rho) + K_0(\beta\rho) \rho\beta \right] - C_{ji} I_2(\beta\rho) \beta + d_{ji} K_1(\beta\rho) \beta \right\} Z_j^{(1)}(z) + C_2 \rho z \frac{2(m-2)}{m} + C_2 \frac{z}{\rho} \frac{4(m-1)}{m} + C_3 \rho \frac{2(m-2)}{m} + C_4 \frac{4(m-1)}{m\rho} - C_5 \frac{z}{\rho^2} - C_7 \frac{1}{\rho} \right], \quad (13)$$

$$u_z = \sum_{j=1}^{m_2} \left[\sum_{i=1}^{\infty} \left\{ a_{ji} \rho I_1(\beta\rho) + b_{ji} \rho K_1(\beta\rho) + C_{ji} I_0(\beta\rho) + d_{ji} K_0(\beta\rho) \right\} \beta Z_j^{(2)}(z) - C_1 \rho^2 + C_2 - C_3 \ln \rho - C_6 \right],$$

где $Z_1^{(1)} = \cos\beta z$; $Z_2^{(1)} = \sin\beta z$; $Z_1^{(2)} = \sin\beta z$; $Z_2^{(2)} = -\cos\beta z$.

Компоненты тензора напряжений выражаются по формулам закона Гука (3), которые после подстановки в них выражений (13) получают следующий вид:

$$\frac{\sigma_r}{2G} = \sum_{j=1}^{m_2} \left[\sum_{i=1}^{\infty} \left\{ a_{ji} \left[I_0(\beta\rho) \beta \frac{3m-2}{m} - I_1(\beta\rho) \left(\beta^2 \rho + \frac{4(m-1)}{m} \right) \right] + b_{ji} \left[K_0(\beta\rho) \beta \frac{3m-2}{m} - K_1(\beta\rho) \left(\beta^2 \rho + \frac{4(m-1)}{m\rho} \right) \right] + C_{ji} \left[I_1(\beta\rho) \beta \frac{1}{\rho} - I_0(\beta\rho) \beta^2 \right] + d_{ji} \left[-K_1(\beta\rho) \beta \frac{1}{\rho} - K_0(\beta\rho) \beta^2 \right] \right\} Z_j^{(1)}(z) + 2C_2 z - C_2 \frac{4(m-1)}{m} \frac{z}{\rho^2} + 2C_3 - C_4 \frac{4(m-1)}{m\rho^2} + C_5 \frac{z}{\rho^2} + C_7 \frac{1}{\rho^2} \right],$$

$$\frac{\sigma_z}{2G} = \sum_{j=1}^{m_2} \left[\sum_{i=1}^{\infty} \left\{ a_{ji} \left[I_1(\beta\rho) \rho\beta^2 + I_0(\beta\rho) \frac{2}{m} \beta \right] + b_{ji} \left[K_1(\beta\rho) \rho\beta^2 - K_0(\beta\rho) \frac{2}{m} \beta \right] + d_{ji} \left[K_1(\beta\rho) \beta^2 + d_{ji} K_0(\beta\rho) \beta^2 \right] \right\} Z_j^{(1)}(z) + C_2 \frac{4z}{m} + C_3 \frac{4}{m} \right], \quad (14)$$

$$\frac{\sigma_\varphi}{2G} = \sum_{j=1}^{m_2} \left[\sum_{i=1}^{\infty} \left\{ a_{ji} \left[I_1(\beta\rho) \frac{4(m-1)}{m\rho} - I_0(\beta\rho) \frac{m-2}{m} \beta \right] + b_{ji} \left[K_1(\beta\rho) \frac{4(m-1)}{m\rho} + K_0(\beta\rho) \frac{m-2}{m} \beta \right] - C_{ji} I_2(\beta\rho) \beta \frac{1}{\rho} + d_{ji} K_1(\beta\rho) \beta \frac{1}{\rho} \right\} Z_j^{(1)}(z) + 2C_2 z + C_2 \frac{4(m-1)}{m\rho^2} + 2C_3 + C_4 \frac{4(m-1)}{m\rho^2} - C_5 \frac{z}{\rho^2} - C_7 \frac{1}{\rho^2} \right],$$

$$\frac{\tau_{rz}}{2G} = \sum_{j=1}^{m_2} \left[\sum_{i=1}^{\infty} \left\{ a_{ji} \left[I_0(\beta\rho) \rho\beta - I_1(\beta\rho) \frac{2(m-1)}{m} \right] + b_{ji} \left[-K_0(\beta\rho) \rho\beta - K_1(\beta\rho) \frac{2(m-1)}{m} \right] + C_{ji} I_2(\beta\rho) \beta - d_{ji} K_1(\beta\rho) \beta \right\} Z_j^{(2)}(z) - 2C_2 \frac{\rho}{m} + C_2 \frac{2(m-1)}{m\rho} - C_3 \frac{1}{\rho} \right].$$

В выражениях (13), (14) члены перед коэффициентами C_2 и C_3 , C_4 и C_7 линейно зависимы, поэтому следует положить $C_2 = C_4 = 0$.

При применении выражений (13), (14) следует заметить следующее. Если заранее известно, что перемещение u_p и напряжение σ_r , σ_z , σ_φ распределяются в конструкции симметрично, а u_z и τ_{rz} антисимметрично относительно плоскости $z=0$ (начало координат помещено в центре тела), то в выражениях (13), (14) следует положить $m_1=1$, $m_2=1$, $C_1=C_3=C_5=0$.

Если имеет место обратное распределение, то в выражениях (13), (14) следует положить $m_1=m_2=2$, $C_1=C_3=C_5=0$.

Если заранее характер распределения перемещений и напряжений в конструкции не известен, то в выражениях (13), (14) следует положить $m_1=1$, $m_2=2$.

Произвольные постоянные, входящие в выражения для перемещений и напряжений, определяются путем удовлетворения граничных условий конкретных краевых задач.

Методы выделения решений конкретных задач

Выделение частных решений, удовлетворяющих конкретным граничным условиям, можно сделать следующим образом. Ограничившись определенным числом членов ряда в общем решении (13), (14), можно получить решение краевых задач для тел вращения, приближенно удовлетворяющих граничным условиям.

Пусть V — заданная трех- или двумерная область точек $X=(x, x_z, \dots, x_n)$ и пусть S — граничная

поверхность или соответственно граничная кривая области V . Требуется найти решение векторного дифференциального уравнения в частных производных

$$L\bar{u}(x) = \bar{f}(x), \quad x \in V, \quad (15)$$

удовлетворяющее p граничным условиям

$$B^{(q)}\bar{u}(x) = \bar{b}^{(q)}, \quad x \in S_q, \quad q = 1, 2, \dots, p \quad (16)$$

на p областях поверхности или соответственно на p участках кривой

$$S \left(S = \sum_{q=1}^p S_q \right).$$

Здесь L , $B^{(q)}$ — линейные дифференциальные операторы. Например, для уравнений Ляме (5) при $F=F_z=0$ вид оператора L будет следующим $L = \frac{m}{m-2} \text{graddiv} + \nabla^2$, вид оператора $B^{(q)}$ зависит от граничных условий на S_q . Как видно из предыдущего, искомое решение $\bar{u} = (u_p, u_z)$ представляется в виде некоторой аппроксимирующей функции

$$\bar{u}(x, a_k) = \sum_{k=1}^m a_k \bar{\varphi}_k(x),$$

где $\bar{\varphi}_k(x)$ точно удовлетворяют уравнению (15) при $\bar{f}(x)=0$. Коэффициенты a_k определим из граничных условий (16). Невязка в удовлетворении граничных условий запишется в следующем виде:

$$E^{(q)}(x, a_k) = B^{(q)}\bar{u}(x, a_k) - \bar{b}^{(q)}(x) \quad (17)$$

Для нахождения коэффициентов можно воспользоваться несколькими методами. Согласно методу коллокаций, a_k выбирается так, чтобы функция $\bar{u}(x, a_k)$ точно удовлетворяла уравнениям (16) в точках $M_j \in S_q$ ($j=1, 2, \dots, m$), что равносильно обращению невязки (17) в m точках в ноль. При этом получается система линейных алгебраических уравнений

$$\sum_{k=1}^m a_k \bar{N}_k^{(q)}(M_j) = \bar{b}^{(q)}(M_j), \quad (18)$$

где $\bar{N}_k^{(q)}(M_j) = B^{(q)}\bar{\varphi}_k(M_j)$, причем число членов ряда m следует выбирать из условия $m=njp$, которое получается, если на каждой из p граничных поверхностей (кривых) S_q брать одинаковое число точек коллокаций. Если это условие не соблюдается, что часто требуется на практике, то необходимо, чтобы общее число точек коллокаций было

равно числу членов ряда m . Это необходимо для того, чтобы система (18) не была переопределена или неопределенна.

Согласно интегральному методу наименьших квадратов, коэффициенты a_k определяются из условий минимума функционала

$$\Phi(a_k) = \int_{S_q} [E^{(q)}(\eta, a_k)]^2 d\eta, \quad \eta \in S_q, \quad (19)$$

которые имеют следующий вид: $\frac{\partial \Phi}{\partial a_k} = 0$.

При этом получается система линейных алгебраических уравнений

$$\sum_{k=1}^m a_k \int_{S_q} \bar{N}_i^{(q)}(\eta) \bar{N}_k^{(q)}(\eta) d\eta = \int_{S_q} \bar{N}_i^{(q)}(\eta) \bar{b}^{(q)}(\eta) d\eta. \quad (20)$$

Ввиду сложности подынтегральных выражений в (20) точное интегрирование затруднено. На практике приходится брать интегралы приближенно с использованием какой-либо квадратурной формулы. В настоящей работе использовалась квадратурная формула прямоугольников ввиду ее простоты и удобства программирования. Функционал (19) в цилиндрической системе координат будет иметь следующий вид:

$$\Phi(a_k) = \int_{S_q} [\bar{E}^{(q)}(\rho, z, a_k)]^2 d\eta, \quad \eta \in S_q \quad (21)$$

Криволинейный интеграл (21) можно свести к обыкновенному определенному интегралу, если задать кривую S_q параметрически $\rho=\rho(\eta)$, $z=z(\eta)$, $\eta_1 \leq \eta \leq \eta_2$, где η_1 , η_2 — начало и конец кривой S_q . Тогда получим обыкновенный определенный интеграл

$$\Phi(a_k) = \int_{\eta_1}^{\eta_2} [\bar{E}^{(q)}(\eta, a_k)]^2 d\eta.$$

При этом выражение остаточного члена квадратурной формулы прямоугольников будет следующим [3]:

$$\bar{R}(\bar{E}^{(q)}) = \frac{(\eta_1 - \eta_2)^3}{24\eta^2} \bar{E}^{(q)'''}(\eta), \quad (22)$$

где n — число разбиений кривой S_q при интегрировании.

Систему линейных алгебраических уравнений (20) можно записать в следующем виде:

$$A\bar{x} = \bar{y}, \quad (23)$$

где \bar{x} — искомый вектор-столбец решения; A — матрица. Решение уравнения (23) в смысле наименьших квадратов есть нахождение вектора \bar{x} , для которого функция

$$\Phi = (A\bar{x} - \bar{y}, A\bar{x} - \bar{y}) \quad (24)$$

принимает наименьшее значение. Взяв вариацию функционала (24), получим уравнение

$$A^*A\bar{x} = A^*\bar{y}, \quad (25)$$

где A^* – матрица транспонирования к A .

Замечательное свойство уравнения (25) состоит в том, что оно всегда приводит к вполне определенной системе точно такого же числа уравнений, сколько имеется неизвестных, независимо от того, как сильно была переопределена первоначальная система. Кроме того, матрица A^*A всегда симметрична и ее собственные значения вещественны и положительны. В связи со сказанным выше метод наименьших квадратов может оказаться предпочтительным по сравнению с методом коллокаций. Кроме того, решения, полученные по методу наименьших квадратов, как правило, ведут себя более гладко, чем полученные по методу коллокаций, что особенно важно при решении краевых задач, где на части поверхности S_0 задан вектор перемещений. Так как напряжения определяются путем дифференцирования вектора перемещений, то небольшие погрешности в перемещениях в удовлетворении граничных условий при негладком (осциллирующем) решении на S_0 могут привести к большим погрешностям при определении напряжений. Поэтому с учетом сказанного выше при решении конкретных краевых задач будет применяться метод наименьших квадратов либо его суперпозиция методом коллокаций.

Некоторые вопросы численной реализации

Как уже было показано ранее, метод наименьших квадратов приводит к решению систем линейных алгебраических уравнений, коэффициенты и правые части которых в общем случае вычисляются приближенно. В связи с этим необходимо проанализировать вопросы обусловленности данных систем и методы получения устойчивых решений.

Рассмотрим систему линейных алгебраических уравнений

$$A\bar{x} = \bar{y}; \quad A = \{a_{ij}\}; \quad \bar{x} = \{x_j\}; \quad \bar{y} = \{y_i\} \quad (26)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Пусть исходные данные системы (26), т.е. матрица A и вектор \bar{y} , заданы с некоторым приближением, таким образом, вместо системы (26) имеем следующую:

$$(A + \Delta A)(\bar{x} + \Delta \bar{x}) = (\bar{y} + \Delta \bar{y}).$$

Тогда естественно говорить лишь о приближенных значениях вектора \bar{x} . Мера погрешности A , \bar{x} и \bar{y} будем определять при помощи норм

$$\|\bar{x}\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n x_j^2}, \quad \|\bar{y}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^m y_i^2}, \quad \|A\| = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}.$$

Тогда справедлива следующая оценка относительной ошибки решения системы [Гавулин М.К.]:

$$\frac{\|\Delta \bar{x}\|}{\|\bar{x}\|} \leq \frac{\mu(A)}{1 - \mu(A)} \left[\frac{\|\Delta A\|}{\|A\|} + \frac{\|\Delta \bar{y}\|}{\|\bar{y}\|} \right] \quad (27)$$

где $\mu(A) = \|A\| \|A^{-1}\| = \sqrt{\frac{\max \mu_j}{\min \mu_j}}$ – число обусловленности системы;

μ_j – собственные значения матрицы A^*A ; $\mu_0 = \lambda_1^2$, если матрица A симметричная, то где λ_j – собственные значения матрицы A .

Тогда число обусловленности имеет вид:

$$\mu(A) = \frac{\max \lambda_j}{\min \lambda_j} \quad (28)$$

Нормальным решением системы (26) называют решение \bar{x}^0 , имеющее минимальную норму, т.е. определяемое из условий

$$A\bar{x}^0 = \bar{y}, \quad \|\bar{x}^0\| = \min \|\bar{x}\|, \quad \text{если } A\bar{x} = \bar{y}.$$

Как видно из оценки (27), при больших значениях $\mu(A)$ (плохо обусловленная система) получается относительная погрешность решения даже при малых ΔA и $\Delta \bar{y}$. Таким образом, решение плохо обусловленных систем даст большой разброс в результатах, а задача определения нормального решения некорректна в смысле Адамара (нарушена непрерывная зависимость решения \bar{x} от правой части \bar{y}).

На простом примере можно показать, что метод наименьших квадратов приводит к плохо обусловленным системам линейных алгебраических уравнений, таким образом, к задачам, некорректным в смысле Адамара.

Пусть на отрезке $0 \leq z \leq 1$ требуется аппроксимировать некоторую непрерывную функцию $f(z)$. Согласно теореме Вейерштрасса [3], можно всегда найти такой полином

$$P(z) = \sum_{i=1}^n C_i z^{i-1}, \quad \text{что } |f(z) - P(z)| < \varepsilon,$$

где $\varepsilon > 0$

(максимум погрешности приближения). Если будем искать коэффициенты C_i по методу наименьших квадратов исходя из минимума функционала

$$\Phi = \int_0^1 \left[\sum_{i=1}^n C_i z^{i-1} - f(z) \right]^2 dz,$$

то получим систему линейных алгебраических уравнений

$$\sum_{j=1}^n h_{ij} C_j = b_i,$$

где

$$h_{ij} = \int_0^1 z^{i+j-2} dz = \frac{1}{j+i-1}; \quad b_i = \int_0^1 z^{i-1} f(z) dz.$$

Матрица h_{ij} называется матрицей Гильберта, обусловленность которой резко уменьшается с ростом n . Уже при $n = 5$, $\mu(h_{ij}) = 4.77 \cdot 10^5$, а при $n = 10$, $\mu(h_{ij}) = 1.6 \cdot 10^{12}$. [4].

Это делает практически невозможным сколько-нибудь удовлетворительное решение системы для определения C_i стандартными методами.

Для решения некорректных задач А.Н. Тихоновым был разработан метод регуляризации [5,6]. Рассмотрим применение этого метода для отыскания нормального решения системы (26). Пусть вместо точных значений элементов матрицы $A = \{a_{ij}\}$ и вектора столбца правых частей $\bar{y} = \{y_i\}$ заданы приближенные $\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ij}\}$, $\tilde{y} = \{\tilde{y}_i\}$. При этом матрицу \tilde{A} (вектор-столбец \tilde{y}) будем называть δ -приближением матрицы A (вектор-столбец, если справедливо неравенство)

$$\|A - \tilde{A}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (a_{ij} - \tilde{a}_{ij})^2} < \delta,$$

$$\left(\|\bar{y} - \tilde{y}\| < \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i - \tilde{y}_i)^2} < \delta \right).$$

Вопрос о приближенном отыскании нормального решения системы (26) можно свести к отысканию такого элемента \tilde{x}^α , на котором функционал

$$\Phi^\alpha(\bar{x}, \tilde{A}, \tilde{y}) = \sum_{i=1}^m \left[\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} x_j - \tilde{y}_i \right]^2 + \alpha \sum_{j=1}^n x_j^2 \quad (29)$$

достигает своего минимального значения.

Это утверждается следующей фундаментальной теоремой А.Н. Тихонова [6]. Пусть ма-

трица A и вектор-столбец \bar{y} удовлетворяют условиям, обеспечивающим совместность системы (26), x^0 – нормальное решение этой системы, $\tilde{A} - \delta$ – приближение матрицы A , $\tilde{y} - \delta$ – приближение вектора-столбца \bar{y} , $\varepsilon(\delta)$, $\alpha(\delta)$ – какие-либо убывающие функции δ , стремящиеся к нулю при $\delta \rightarrow 0$, также, что $\delta^2 \leq \varepsilon(\delta) \alpha(\delta)$. Тогда для любого $\varepsilon > 0$ найдется положительное число $\delta_0 = \delta_0(\varepsilon, \|\bar{x}^0\|)$, при любом $\delta < \delta_0$ и любом α , удовлетворяющем условию $\left(\frac{1}{\varepsilon}(\delta) \right) \delta^2 \leq \alpha \leq \alpha(\delta)$, элемент \tilde{x}^α , доставляющий минимум функционалу (29), удовлетворяет неравенству

$$\|x^\alpha - x^0\| < \varepsilon. \quad (30)$$

Таким образом, применяя метод регуляризации к функционалу (24), получим

$$\Phi = (A\bar{x} - \bar{y}, A\bar{x} - \bar{y}) + \alpha(\bar{x}, \bar{x}). \quad (31)$$

Проварьировав функционал, получим

$$(A^*A + \alpha I)\bar{x} = A^*\bar{y}, \quad (32)$$

где I – единичная матрица.

Сравнивая уравнения (25) и (32), видим, что благодаря методу регуляризации улучшается обусловленность разрешающей системы уравнений, так как введение параметра регуляризации $\alpha > 0$ изменяет следующим образом число обусловленности $\mu(A)$

$$\mu(A) = \frac{\max \lambda_j + \alpha}{\min \lambda_j + \alpha}. \quad (33)$$

Таким образом, каким бы ни было минимальное собственное значение матрицы A , $\mu(A)$, будет вполне определенным ограниченным значением ввиду присутствия в знаменателе выражения (33) конечного α . A – приводит к уменьшению относительной ошибки решения системы (26). Решая (32) при определенном выборе α , мы получим решение \tilde{x}^α , удовлетворяющее условию (30). Таким образом, мы получили решение, обладающее минимальной нормой. На практике это приводит к более гладкому решению, а следовательно, к уменьшению остаточного члена в формуле интегрирования (22). Это в свою очередь приводит к более точному удовлетворению граничных условий (16) на кривой S . Разработанный метод может быть применен для расчета напряженно-деформационного состояния оболочечных конструкций с наполнителем от действия различного рода силовых факторов и температуры.

Литература

1. Лурье А.И. Пространственные задачи теории упругости. – М.: Гостехиздат, 1955. – 492 с.

2. Ормонбеков Т.О. Механика взаимодействия деформируемых тел. – Фрунзе: Илим, 1989. – 227 с.
3. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Наука, 1966. – Т.1. – 632 с.
4. Форсайт Д.Ж., Мелер К. Численное решение системы линейных алгебраических уравнений. – М.: Мир, 1969. – 167 с.
5. Тихонов А.Н. О решении некорректно поставленных задач и методе регуляризации. Докл. АН СССР, 1963. – Т. 151. – №3. – С. 501–504.
6. Тихонов А.Н. О некорректных задачах линейной алгебры и устойчивом методе их решения и методе регуляризации. – Докл. АН СССР, 1963. Т. 151. – № 3. – С. 501–504.

УДК 551.2.01

Наноминералогия и проблема диагностики тонкодисперсного золота в сульфидах

Ч. МОМБЕКОВ – науч. сотр. Института геологии НАН КР

The article provides information on nanomineralogy and diagnostic problem of micronized gold in sulphides.

Широко распространенные и выявленные в последние десятилетия крупные и гигантские месторождения золота в черных сланцах стали важным источником добычи этого драгоценного металла и сопутствующих ему платиноидов, а также других редких и благородных металлов. Однако в ряде месторождений из-за очень мелких размеров тонкодисперсного золота диагностирование его традиционными методами оказывается затрудненным.

К примеру, открытие в штате Невада месторождений Карлин-типа, которые в данный момент играют важную роль в общем балансе запасов и добычи золота в США, показало, что наличие свободного золота размером менее 1 микрона в диаметре может быть установлено только при помощи электронной микроскопии. В основном же эти выделения имеют размеры ниже разрешающей способности электронной техники, что не позволяет фиксировать их при обычной шлиховой съемке.

На месторождениях Карлин-типа установлены 2 типа руд: углеродистый и оксидный.

Углеродистые руды представляют собой темные, порой до черных, пиритизированные, карбонатно-алевритовые сланцы с содержанием золота до 30 г/т. Породы повсеместно окремнены. Большую часть составляют кремнистые упорные руды, требующие тонкого измельчения. Это тонкая субмикроскопическая вкрапленность металлического золота или золотоносных сульфидов, заключенных в непроницаемый матрикс микрокристаллического кварца, халцедона или кремния. Поры здесь размером менее микрона заполнены поздними формами кремнезема. Последние препятствуют достижению цианидного раствора до тончайших включений золота, которое тесно ассоциирует с реальгаром, аурипигментом, арсениопиритом и киноварью (Марченко, 2010).

Помимо отмеченных выше месторождений Карлин-типа, в мире известно еще большое количество крупных и гигантских золоторудных месторождений, таких как Кумтор в Кыргызстане; Мурунтау, Даугызтау, Амантайтау и др. в Узбекистане; Бакырчык, Суздальское и др. в Казахстане; Сухой Лог, Майское, Олимпиадинское в России;

Хоумстейк в США, а полиметаллические, серно-колчеданные, колчеданно-полиметаллические месторождения (Маунт-Айза, Броккен-Хилл, Раммельсберг) и многие другие – в сульфидизированных черных сланцах.

Отработка месторождений и параллельное изучение их минерального состава проводятся уже сотни лет, однако при этом еще не изучены условия концентрации, формы нахождения золота и других полезных компонентов как в сульфидах, так и в углеродистом веществе. Эта проблема отмечалась многими исследователями, поскольку она является определяющей не только для понимания процессов накопления, транспорта и отложения рудных элементов, но и для эффективного извлечения их из руд месторождений данного типа.

Проблема диагностики тонковкрапленного золота в настоящее время приобретает особое значение, поскольку вполне реально наличие в Кыргызстане месторождений Карлин-типа, не оцененных как промышленные объекты. С этих позиций значительный интерес представляют информативные минералы-сульфиды: пирит, арсениопирит, халькопирит и многие другие, которые детально описаны многими исследователями. Из всей этой многочисленной группы сульфидов можно особо выделить пирит и арсениопирит.

Появившиеся в настоящее время высоко-разрешающие и высокочувствительные приборы позволили далеко продвинуться в области диагностики и форм размещения рассеянных элементов в минералах-носителях. Такие исследования, проведенные на масс-спектрометре (LA ICP MS – Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), могут дать ценный материал по распределению отдельных элементов в пирите, начиная с ранних его генераций (от осадочно-диагенетического) до последних его генераций, сформированных в гидротермальном процессе. С помощью этих исследований можно проследить весь путь первичного накопления, перераспределения и последующей миграции золотин. Такие исследования были проведены для крупного месторождения Сухой Лог (Россия) коллективом исследователей из Университета Тасмании и российских учеными (Large, et al., 2007, 2009).

Пристальное внимание к этим минералам в данный момент обусловлено еще и тем, что основная часть благородных металлов, как отмечалось выше, сконцентрирована в сульфидах. Содержание золота в них на золоторудных и комплексных золотосодержащих месторождениях

обычно составляет несколько граммов, но нередко достигает более высоких значений.

Формирование крупных и суперкрупных месторождений в углеродосодержащих породах сопровождается, как правило, формированием региональных зон сульфидизации (пиритизации), с первичным накоплением в пирите рассеянного золота (Константинов и др., 2000; Дженчураева, 2010).

Несмотря на то что золотосодержащий пирит уже более 100 лет является объектом пристального внимания исследователей и признан как природный концентратор золота, механизмы накопления и формы нахождения золота в нем еще не полностью изучены. Роль пирита в процессах концентрирования золота значительно выше, чем во всех остальных сульфидах. Пирит является наиболее распространенным и сквозным минералом золоторудных и золото-серебряных месторождений.

Исследования сульфидных руд показали, что золото в пирите, помимо «свободного» видимого самородного золота, в своей преобладающей части присутствует в виде субмикроскопических, ультрадисперсных выделений. Размер золотин в сульфидах может широко колебаться от наночастиц (это 1×10^{-9} м) до 150 микрон и выше. Мессбауэровская и фотоэлектронная спектроскопия позволила установить наличие металлической и изоморфной форм золота. Кроме того, с помощью нового высокоразрешающего метода на сканирующем ионном микрозонде (SIMS) при концентрационной чувствительности 0,1 г/т Au хорошо различается золото, входящее в структуру сульфидов и золотины в виде микровключений. Высокое содержание рассеянного золота установлено таким методом в мышьяковистом пирите на золоторудных месторождениях Карлин-типа. По данным Л.Г.Марченко (2010), метод рентгеновской абсорбции позволил определить присутствие золота не только в виде субмикронных включений, но также и в ионной форме (Au^{1+}) двойной и четвертной координации. Высокая положительная корреляция золота и мышьяка для проб пирита свидетельствует о приуроченности золота к участкам, обогащенным мышьяком. Возможно, что это связано с адсорбцией частиц золота на поверхностях роста арсениопирита или расположением золота в дефектах кристаллической решетки сульфидов.

В свое время, изучая формы нахождения золота в рудах, Н.В.Петровская в своей монографии

использовала понятие «тонкодисперсное золото», к которому относилась частицы (но не атомы золота) размером от долей микрона до 10 микрон, она отметила, что эта форма нахождения золота в эндогенных месторождениях является универсально распространенной. Помимо этого, к существующему, так называемому невидимому золоту следует отнести тонкодисперсное золото, не выявляемое оптическими методами (коллоидальное, кластерное), а также химически связанное золото в сульфидах. Поэтому данные по распределению невидимого золота в рудах и отдельных минералах имеют большую ценность для разработки рациональных схем обогащения руд.

Основным источником золота являются широко распространенные месторождения вкрапленных золотых руд, которые приобретают большое значение в случае, если в них представлены большие запасы золота. Эти источники могут обладать упорными свойствами (например, черносланцевый тип или наличие вредных примесей, таких как мышьяк).

Многие золотосульфидные месторождения характеризуются присутствием максимального количества золотоносного арсенопирита, который имеет наиболее высокие серно-мышьяковые отношения. Такой арсенопирит был установлен на крупных российских месторождениях золота: Майское, Наталкинское, Надеждинское, Олимпиада и Ведута. По данным Л.Г.Марченко (2010), если состав арсенопирита в рудах близок к стехиометрическому, то содержание в нем золота гораздо ниже, чем в рудах с арсенопиритом с нестехиометрическими свойствами. Как пример приводятся месторождения Майское, Наталкинское, где в составе арсенопирита выявлены высокие величины серно-мышьякового отношения (1,25:1,35) и соответственно высокое содержание золота (Майское от 500–1100 г/т, Наталкинское от 140–470 г/т.). При содержании серы 19,7% в арсенопирите со стехиометрическим составом, в Наталкинском месторождении, арсенопирит имеет повышенное содержание серы (23,22%), а в Майском – до 24,66% серы. Размер зерен арсенопирита от 20–25 до 25–150 микрон. А вот пирит в вышеуказанных месторождениях менее золотоносен, чем арсенопирит и содержит в среднем до 60 г/т золота. В этой связи максимально золотоносным считается арсенопирит с наиболее высоким значением серно-мышьякового отношения. Для месторождений черносланцевого типа с вкрапленными рудами характерно наличие ар-

сенопирита именно с явным преобладанием серы над мышьяком.

Что касается пирита, то, по данным рентгено-спектального сканирования, пирит Майского месторождения имеет высокое содержание мышьяка, который приурочен к периферии метакристаллов, в виде тонкой каймы вокруг зерна пирита. Поскольку возможности обнаружения с помощью электронного зонда наночастиц ниже уровня его чувствительности, то золото в каемках пирита вкрапленных руд месторождения Майское не было обнаружено.

В рудах месторождения Карлин (США), именно в этих узких каемках толщиной в 1–4 микрона, вокруг метакристаллов пирита наблюдается высокое содержание золота. Размер золотинок, по данным фотоэлектронной спектроскопии соразмерен с наночастицами.

Следует вкратце остановиться на месторождениях золото-кварцевого и редкометалльного типов. Для них характерно присутствие арсенопирита в прожилках к составам, близким к стехиометрическому (S:As=0,9:1,14). Следует отметить довольно широкий список месторождений такого типа, где наблюдаются месторождения со значительным содержанием золота в арсенопирите. Наиболее высокое значение обнаружено на месторождениях Ля Шантеле и Вилеранж (Франция), что составляет 12000–13000 г/т, Конгресс (Канада) – 13000 г/т. Однако на этих месторождениях арсенопирит имеет высокое значение отношений мышьяка к сере.

По данным месбауэровской спектроскопии, в большинстве случаев на месторождениях «черносланцевого» типа с золото-сульфидными вкрапленными рудами золото находится либо в арсенопирите в виде химически связанного в его структуре, либо в самородном состоянии с размером частиц в 2 нанометра.

Золото определено в золотоносном арсенопирите с помощью вторичной ионной масспектропии и составляет: на Олимпиаде – 4700 г/т, Ведуте – 1140 г/т, Надеждинском – 1400 г/т. Важно отметить, что самородное золото образовалось позже самого золотоносного арсенопирита.

Многие исследователи вслед за Н.В. Петровской полагают, что преимущественная концентрация золота в ранних сульфидах обусловлена избирательным осаждением золота в этих сульфидах при воздействии на них поздних золотоносных растворов, что установлено для месторождений руд золото-кварцевого типа. Другое мнение говорит за

формирование основной части золота в изученном арсенопирите в процессе совместной кристаллизации на ранних стадиях рудообразования.

В любом случае на сегодняшний день актуальным остается вопрос выявления форм вхождения благородных металлов, в частности золота, в структуры минералов-носителей для последующих научных построений в области рудообразования, а также для целенаправленного выбора технологических схем извлечения полезного компонента при переработке руд.

Литература

1. Джэнчураева Р.Д. Геодинамика, магматизм и минерагенез (на примере Тянь-Шаня и прилегающих территорий). – Бишкек: Илим, 2010. – 223 с.
2. Константинов М.М. Золоторудные гиганты мира и России. – М., 2000.

УДК 624.073.02.

Изгиб бесконечной плиты на упругом основании с учетом неполного контакта с основанием в виде перекрестных траншей

А.Т. МАРУФИЙ – д.т.н., профессор,
М.А. АЙТИЕВ – инженер,
У.С. ДЖУСУЕВ – к.т.н.

The abstract give analytical solution of a taste of curve of interminable slab on resultant base with account of incomplete contact with a crossing branches base. The solution is vetoed by method of generalized decisions using integrals transformations of Furies

Введение. В процессе проектирования фундаментов зданий и сооружений необходимо учитывать реальные условия (просадка просадочных грунтов, прохождение под фундаментами всевозможных инженерных коммуникаций и т.п.).
Цель исследования. Получение аналитических решений изгиба бесконечной плиты на упругом основании с учетом неполного контакта

3. Марченко Л.Г. Микро-наноминералогия золота и платиноидов в черных сланцах. – Алматы, 2010. – 146 с.
4. Large, R.R., Maslennikov V., Robert, F., Danyushevsky L.V. and Chang Z. 2007. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia // ECONOMIC GEOLOGY, vol. 102. P. 1232–1267.
5. Large, R.R., Danyushevsky L.V., Hollit C., Maslennikov, V.I. Meffre S., Gilbert S., Stuart B., Scott R., Emsbo P., Thomas H., Sinch B., and Foster J., 2009. Gold and Trace Element Zonation in Pyrite Using a Laser Imaging Technique: Implications for the Timing of Gold in Orogenic and Carlin-Style Sediment-Hosted Deposits // Economic Geologists, Inc. Economic Geology, vol. 104. – P. 635–668.

с основанием в виде перекрестных траншей, расположенных вдоль центральных осей (рис. 1).

Метод исследования. Для получения аналитических решений использован метод обобщенных решений с применением интегральных преобразований Фурье.

В работе [3] получено аналитическое решение задачи изгиба бесконечной плиты на упругом

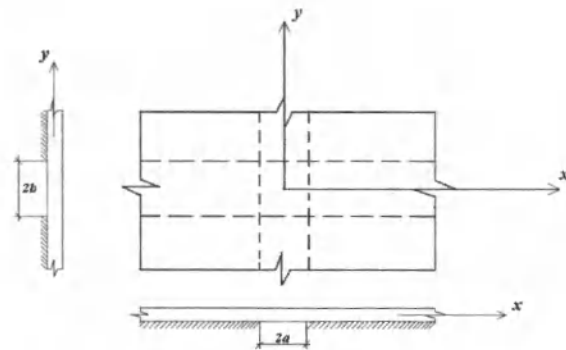


Рис. 1. Расчетная схема бесконечной плиты на упругом основании с учетом неполного контакта с основанием в виде перекрестных траншей.

основании с учетом неполного контакта с основанием в виде траншеи, расположенной вдоль одной из центральных осей плиты.

Исходное дифференциальное уравнение изгиба бесконечной плиты на упругом основании с учетом неполного контакта с основанием в виде перекрестных траншей, расположенных вдоль центральных осей, имеет вид:

$$D\Delta\Delta W(x, y) + K\theta(x-a)\theta(y-b)W(x, y) = q_0(x, y), \quad (1)$$

где D – цилиндрическая жесткость плиты, K – коэффициент постели основания; $q_0(x, y)$ – внешняя нагрузка;

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} - \text{оператор Лапласа};$$

$W(x, y)$ – функция прогиба плиты;

$\theta(a), \theta(b)$ – функция Хевисайда, введение которой позволяет учесть отсутствие основания под частью плиты.

Перейдем к безразмерным координатам и функциям $x_1 = x \cdot \ell^{-1}$; $y_1 = y \cdot \ell^{-1}$; $a_1 = a \cdot \ell^{-1}$;

$$b_1 = b \cdot \ell^{-1}; q_{01} = q_0 \cdot K^{-1}; \ell = \frac{D^{1/4}}{K^{1/4}}.$$

Опуская индекс 1, уравнение (1) запишем в безразмерных координатах и функциях:

$$\Delta\Delta W(x, y) + \theta(x-a)\theta(y-b)W(x, y) = q_0(x, y). \quad (2)$$

Функция Хевисайда для данного случая запишется в виде [3]:

$$\theta(x-a)\theta(y-b) = \begin{cases} 0 & x \leq a; y \leq b \\ 1 & x \geq a; y \geq b \end{cases}.$$

В случае симметричной нагрузки относительно обеих осей трансформанты Фурье функции прогибов и нагрузки имеют вид:

$$W(\xi, \eta) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty W(x, y) \cos \xi x \cos \eta y dx dy. \quad (3)$$

$$Q_0(\xi, \eta) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty q_0(x, y) \cos \xi x \cos \eta y dx dy. \quad (4)$$

Применив к уравнению (2) двумерное cos-преобразование Фурье по координатам x и y , получили [1,2]:

$$(\xi^2 + \eta^2)W(\xi, \eta) + \int_0^\infty \int_0^\infty W(x, y) \theta(x-a)\theta(y-b) \cos \xi x \cos \eta y dx dy = Q_0(\xi, \eta). \quad (5)$$

выражение (5) можно записать в виде

$$[(\xi^2 + \eta^2) + 1]W(\xi, \eta) - \int_0^\infty \int_0^\infty W(x, y) \cos \xi x \cos \eta y dx dy = Q_0(\xi, \eta). \quad (6)$$

Применив к выражению (6) обратное cos-преобразование Фурье по координатам ξ и η , получим:

$$W(x, y) = W_\infty(x, y) + \frac{4}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\cos \xi x \cos \eta y}{(\xi^2 + \eta^2)^2 + 1} d\xi d\eta = Q_0(\xi, \eta). \quad (7)$$

Здесь

$$W_\infty(x, y) = \frac{4}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{Q_0(\xi, \eta) \cos \xi x \cos \eta y}{(\xi^2 + \eta^2)^2 + 1} d\xi d\eta -$$

прогиб в бесконечной плите при полном контакте с основанием. Рассмотрим второй член выражения (7).

$$\frac{4}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\cos \xi x \cos \eta y}{(\xi^2 + \eta^2)^2 + 1} \int_0^\infty \int_0^\infty W(t, \lambda) \cos \xi t \cos \eta \lambda dt d\lambda d\xi d\eta;$$

Здесь введем следующие обозначения

$$K(x, y, t, \lambda) = \frac{4}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\cos \xi x \cos \eta y \cos \xi t \cos \eta \lambda}{(\xi^2 + \eta^2)^2 + 1} d\xi d\eta = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty K(x, \eta, t) \cos \eta y \cos \eta \lambda d\eta$$

$$K(x, \eta, t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\cos \xi x \cos \xi t}{(\xi^2 + \eta^2)^2 + 1} d\xi =$$

$$\text{где } \frac{1}{2\sqrt{\eta^2 + 1}} \left\{ e^{-A(u)} (B \cos |u| B + A \sin |u| B) + e^{-A(v)} (B \cos B|v| + A \sin B|v|) \right\}$$

$$\text{Здесь } u = x - t; \quad v = x + t; \quad A = \frac{\sqrt{\eta^4 + 1 + \eta^2}}{2}; \quad B = \frac{\sqrt{\eta^4 + 1 - \eta^2}}{2}.$$

С учетом введенных обозначений выражение (7) примет вид:

$$W(x, y) = W_\infty(x, y) + \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty W(t, \lambda) \int_0^\infty K(x, \eta, t) \cos \eta y \cos \eta \lambda d\eta dt d\lambda. \quad (8)$$

Применим к выражению (8) cos-преобразование Фурье по координате y .

$$W(x, \eta) = W_\infty(x, \eta) + \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty W(t, \lambda) K(x, \eta, t) \cos \eta \lambda d\lambda dt, \quad (9)$$

$$\text{где } W_\infty(x, \eta) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{Q_0(\xi, \eta) \cos \xi x}{(\xi^2 + \eta^2)^2 + 1} d\xi$$

$$K(x, \eta, t) = [\varphi_1(\eta, x) \psi_1(\eta, t) + \varphi_2(\eta, x) \psi_2(\eta, t)] \frac{1}{\sqrt{\eta^4 + 1}}$$

при $(x > t)$

$$\text{и } K(x, \eta, t) = [\varphi_1(\eta, t) \psi_1(\eta, x) + \varphi_2(\eta, t) \psi_2(\eta, x)] \frac{1}{\sqrt{\eta^4 + 1}}$$

при $(x < t)$.

$$\text{Здесь } \varphi_1(\eta, x) = e^{-Ax} (B \cos Bx + A \sin Bx);$$

$$\psi_1(\eta, t) = chAt \cdot \cos Bt$$

$$\varphi_2(\eta, x) = e^{-Ax} (B \sin Bx - A \cos Bx);$$

$$\psi_2(\eta, t) = chAt \cdot \sin Bt;$$

С другой стороны, согласно ранее введенным обозначениям,

$$K(x, y, t, \lambda) = \frac{4}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\cos \xi x \cos \xi t \cos \eta y \cos \eta \lambda}{(\xi^2 + \eta^2)^2 + 1} d\xi d\eta,$$

$$d\xi d\eta = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty K(y, \xi, \lambda) \cos \xi x \cos \xi t d\xi.$$

$$K(y, \xi, \lambda) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\cos \eta y \cos \eta \lambda}{(\xi^2 + \eta^2)^2 + 1} d\eta =$$

$$\text{где } \frac{1}{2\sqrt{\xi^4 + 1}} \left\{ e^{-A_1|u_1|} (B_1 \cos B_1 u_1 + A_1 \sin B_1 |u_1|) + e^{-A_1 v_1} (B_1 \cos B_1 v_1 + A_1 \sin B_1 v_1) \right\}$$

$$\text{Здесь } U_1 = y - \lambda; \quad v_1 = y + \lambda; \quad A_1 = \frac{\sqrt{\xi^4 + 1 + \xi^2}}{2}; \quad B_1 = \frac{\sqrt{\xi^4 + 1 - \xi^2}}{2};$$

Применив к выражению (9) обратное cos-преобразование Фурье по координате η , получим:

$$W(x, y) = W_\infty(x, y) + \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty W(t, \lambda) \int_0^\infty K(y, \xi, \lambda) \cos \xi x \cos \xi t d\xi dt d\lambda. \quad (10)$$

Теперь применим к выражению (10) cos-преобразование Фурье по координате x ,

$$W(\xi, y) = W_\infty(\xi, y) + \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty W(t, \lambda) K(y, \xi, \lambda) \cos \xi t d\lambda dt. \quad (11)$$

$$\text{Здесь } W_\infty(\xi, y) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{Q_0(\xi, \eta) \cos \eta y}{(\xi^2 + \eta^2)^2 + 1} d\eta.$$

С учетом принятых обозначений выражение (9) примет вид:

$$W(x, \eta) = W_\infty(x, \eta) + \int_0^\infty \int_0^\infty W(t, \lambda) [\varphi_1(\eta, x) \psi_1(\eta, t) + \varphi_2(\eta, x) \psi_2(\eta, t)] \cos \eta \lambda dt d\lambda + \frac{1}{\sqrt{\eta^4 + 1}}$$

$$+ \int_0^\infty \int_0^\infty W(t, \eta) \frac{1}{\sqrt{\eta^4 + 1}} [\varphi_1(\eta, t) \psi_1(\eta, x) + \varphi_2(\eta, t) \psi_2(\eta, x)] \cos \eta \lambda dt d\lambda;$$

при $x \leq a$ (12)

или

$$W(x, \eta) = W_\infty(x, \eta) + \int_0^\infty \int_0^\infty W(t, \lambda) \frac{1}{\sqrt{\eta^4 + 1}}$$

$$[\varphi_1(\eta, x) \psi_1(\eta, t) + \varphi_2(\eta, x) \psi_2(\eta, t)] \cos \eta \lambda dt d\lambda = W_\infty(x, \eta) + \varphi_1(\eta, x) C_1(\eta, a, b) + \varphi_2(\eta, x) C_2(\eta, a, b), \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} C_1(\eta, a, b) &= \frac{1}{\sqrt{\eta^4 + 1}} \int_0^a \int_0^b W(t, \lambda) \psi_1(\eta, t) \cos \eta \lambda dt d\lambda \\ C_2(\eta, a, b) &= \frac{1}{\sqrt{\eta^4 + 1}} \int_0^a \int_0^b W(t, \lambda) \psi_2(\eta, t) \cos \eta \lambda dt d\lambda \end{aligned} \right\}$$

Умножим обе части последовательно на $\psi_i(\eta, t) \cos \eta \lambda$ и дважды проинтегрируем от 0 до a и от 0 до b :

$$\begin{aligned} C_1(\eta, a, b) &= \varphi_1(\eta, a, b) + C_1(\eta, a, b) \varphi_{11}(\eta, a, b) + \\ C_2(\eta, a, b) &= \varphi_{21}(\eta, a, b) + C_1(\eta, a, b) \varphi_{12}(\eta, a, b) + \\ C_2(\eta, a, b) &= \varphi_2(\eta, a, b) + C_1(\eta, a, b) \varphi_{22}(\eta, a, b) \end{aligned}$$

$$\text{где } \phi_i(\eta, a, b) = \frac{1}{\sqrt{\eta^4 + 1}} \int_0^a \int_0^b W_\infty(t, \eta) \psi_i(\eta, t) \cos \eta \lambda dt d\lambda$$

$$\phi_{ik}(\eta, a, b) = \frac{1}{\sqrt{\eta^4 + 1}} \int_0^a \int_0^b \phi_i(t, \eta) \psi_k(\eta, t) \cos \eta \lambda dt d\lambda$$

$$0 = [1 - \phi_{11}(\eta, a, b)][1 - \phi_{22}(\eta, a, b)] - \phi_{12}(\eta, a, b)\phi_{21}(\eta, a, b)$$

$$0_1 = \phi_1(\eta, a, b)[1 - \phi_{22}(\eta, a, b)] + \phi_{21}(\eta, a, b)\phi_2(\eta, a, b)$$

$$0_2 = \phi_2(\eta, a, b)[1 - \phi_{11}(\eta, a, b)] + \phi_{12}(\eta, a, b)\phi_1(\eta, a, b)$$

$$C_i(\eta, a, b) = \frac{0_i}{0} \quad (i=1, 2).$$

Применив к выражению (13) обратное cos – преобразование Фурье по координате η , получим:

$$W(x, y) = W_\infty(x, y) + \frac{2}{\pi} \int_0^a \int_0^b W(t, \eta) \int_0^\infty K(x, \eta, t) \cos \eta y \cos \eta \lambda d\eta d\lambda \quad (14)$$

$$\text{где } W(x, y) = W_\infty(x, y) + \frac{2}{\pi} \int_0^a \int_0^b W(t, \eta) \int_0^\infty K(x, \eta, t) \cos \eta y \cos \eta \lambda d\eta d\lambda$$

Выражения изгибающих моментов и приведенных поперечных сил определим, продифференцировав выражение прогибов (14):

$$M_x(x, y) = M_{x\infty}(x, y) + \frac{2}{\pi} \int_0^a \int_0^b W(t, \eta) \int_0^\infty K_{M_x}(x, \eta, t) \cos \eta y \cos \eta \lambda d\eta d\lambda \quad (15)$$

$$M_y(x, y) = M_{y\infty}(x, y) + \frac{2}{\pi} \int_0^a \int_0^b W(t, \eta) \int_0^\infty K_{M_y}(x, \eta, t) \cos \eta y \cos \eta \lambda d\eta d\lambda \quad (16)$$

$$N_x(x, y) = N_{x\infty}(x, y) + \frac{2}{\pi} \int_0^a \int_0^b W(t, \eta) \int_0^\infty K_{N_x}(x, \eta, t) \cos \eta y \cos \eta \lambda d\eta d\lambda \quad (17)$$

$$N_y(x, y) = N_{y\infty}(x, y) + \frac{2}{\pi} \int_0^a \int_0^b W(t, \eta) \int_0^\infty K_{N_y}(x, \eta, t) \cos \eta y \cos \eta \lambda d\eta d\lambda \quad (18)$$

Вывод. Таким образом получено аналитическое решение задачи изгиба бесконечной плиты на упругом основании с учетом неполного контакта с основанием в виде перекрестных траншей, расположенных вдоль центральных осей плиты.

Литература

1. Градштейн И.С., Рыжик И.И. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Физматгиз, 1962. – 1108 с.
2. Травуш В.И. Об одном методе решения задач изгиба конструкций, лежащих на винклеровском упругом основании // П сб. трудов: Вопросы архитектуры и строительства зданий для зрелищ, спорта и учреждений культуры. – М.: 1976. – № 4. – С. 83–89.
3. Маруфий А.Т. Расчет плит на упругом основании при отсутствии основания под частью плиты // Основание, фундаменты и механика грунтов. – М.: 1999. – № 4. – С. 27–31.

УДК 621.762.

Энергораспределение в процессах электроискрового легирования

А.Н.ЗАДИРАНОВ – д.т.н., профессор, зав. каф. технологии металлов РУДН

Н.С.ГРУЗД – аспирант, инженерный факультет РУДН

В.В.ВИНОГРАДОВ – к.х.н. лаб. материаловедения ИХиХТ НАН КР

The question of energy introducing and adsorption in spark discharge zone was considered during processes of electrospark inclusion. Medium destruction energy's contribution was estimated. Expected effects at using of medium with high indices of self-arbitrary destruction energy were determined.

Обзор литературы [1] показывает, что электроискровые способы упрочнения инструмента и деталей машин давно известны и широко применяются в промышленности. На практике распространено легирование в газообразных и жидких средах.

До настоящего времени не рассматривался вопрос влияния энергии разложения среды на процессы электроискрового легирования. Нет количественной оценки вклада энергии разложения для сред, склонных к химическому распаду с высокими показателями выделения энергии. Изучение фактора энергодобавки позволит решить проблему улучшения процесса легирования, изменить параметры искрового процесса и уменьшить расход электроэнергии. Авторами поставлена задача, провести анализ электроискровых процессов при использовании в качестве электроэрозионной среды неустойчивых энергонасыщенных сред. Для решения поставленной задачи необходимо:

- рассмотреть вопрос поступления энергии в зону искрового разряда с точки зрения иницирования разложения рабочего вещества сред;

- выделить дополнительные факторы, приводящие к распаду энергоемких рабочих сред, кроме высокой температуры;
- для определения количества рабочей среды, задействованной в единичном акте искрового разряда, необходимо провести модельные эксперименты по определению зоны воздействия электрического импульса;
- на основе полученных экспериментальных данных провести расчеты вклада энергии разложения рабочей среды относительно энергии электрического разряда;
- провести анализ поступления и распределения энергии в электроискровом разряде с учетом фактора дополнительного энерговыделения при разложении энергонасыщенных сред;
- сделать выводы по воздействию дополнительного энерговыделения на ход процесса электроискрового легирования.

С целью выяснения влияния энергии разложения среды на процесс электроискрового легирования проведем анализ распределения энергии искрового разряда во времени. Для этого дадим

описание процесса электроискрового легирования с учетом действия всех факторов искрового разряда на эрозионные среды, разлагающиеся с большим тепловым эффектом.

При сближении электродов наступает момент, когда происходит электрический пробой среды, в которой находятся анод и катод. Расстояние между электродами при этом составляет примерно 10 мкм и зависит от диэлектрической стойкости среды. Появление канала искрового разряда сопровождается лавинообразным нарастанием потока электронов от анода к катоду, ионизацией среды, формированием плазменного шнура между электродами. Этот процесс воздействия разряда на анод, катод и среду можно условно отнести к первичному, который определяет все физико-химические эффекты, возникающие впоследствии на легируемой поверхности и в зоне, прилегающей к центру искрового разряда.

Все первичные процессы относятся к процессам энергопоглощения и распределения энергии искрового разряда. Сам первичный процесс, с точки зрения переноса, можно разбить на две фазы. Первая фаза характеризуется выделением энергии ($E_{искр}$) за счет взаимодействия потока электронов с атомами и ионами среды в зоне электрического пробоя. Температура в этот момент достигает значений порядка 10000°C–15000°C, происходит термодеструкция среды до полного распада химических соединений до атомарного состояния и ионизации атомов. Возникающая зона высокого давления формирует ударную волну (рис. 1), которая уносит с собой до 20–50% энергии ($E_{уд волн}$), поглощенной средой в искровом промежутке [2]. Ударная волна – самый мощный активатор разложения энергонасыщенных сред.

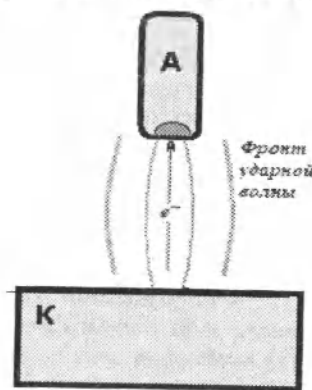


Рис. 1. Схема формирования искрового разряда.

Очень небольшая часть энергии ($E_{тепл}$) излучается в виде электромагнитных волн и в радиоволновом диапазоне, а также в виде светового импульса в диапазоне от ИК до УФ области. Основная часть энергии ($E_{тепл1}$) уходит на термодеструкцию среды в канале, нагрев продуктов и ионизацию атомов. Ультрафиолетовое излучение может активировать распад энергонасыщенных сред на значительном расстоянии от канала разряда. Уравнение распределения энергии этой части искрового разряда можно записать в следующем виде: $E_{искр} = E_{уд волн} + E_{изл} + E_{тепл1}$.

Вторая фаза начинается одновременно с первой и характеризуется разогревом анода потоком электронов. Металл в области воздействия электронного пучка нагревается, часть его расплавляется, около 5% расплавленного металла достигает температуры кипения и может перейти в газообразное состояние. Переход металла в парообразное состояние сдерживается высоким давлением в зоне разряда (рис. 1.). Энергия искрового разряда, поглощенная металлом анода ($E_{тепл2}$) при процессах электроискровой эрозии и электроискрового легирования, составляет основную долю выделившейся в момент прохождения единичного импульса тока. Ее составляющими являются произведение массы нагретого металла (m_1) на теплоемкость, массы расплавленного металла (m_2) на удельную теплоту плавления и массы испаренного металла (m_3) на удельную теплоту парообразования. Общая масса задействованного в процессе металла равна сумме $m_{ме} = m_1 + m_2 + m_3$. Откуда $E_{тепл} = C_{уд} * m_1 + C_{пл} * m_2 + C_{исп} * m_3$. Причем $m_1 > m_2 > m_3$, а $C_{уд} * m_1$ представляет из себя интегральную сумму энергии нагрева согласно градиенту изменения температуры в зоне воздействия разряда. Для простейшей установки с емкостным накопителем энергии (рис. 2 а) общая энергия разряда определяется известной формулой Еразр = $CU^2 / 2$ и может быть точно определена. Изменение энергии единичного электрического импульсного разряда можно варьировать, меняя как напряжение (U), так и емкость конденсатора (C).

Эта энергия при первичном процессе распределяется довольно сложно, для каждого конкретного случая по-разному по формуле Еразр = $E_{искр} + E_{тепл2}$.

Теперь, когда разряд практически закончился и его энергия распределилась между всеми участниками процесса анодом, катодом и окружающей эрозионной средой, начинаются вторичные процессы энергораспределения. Вторичные про-

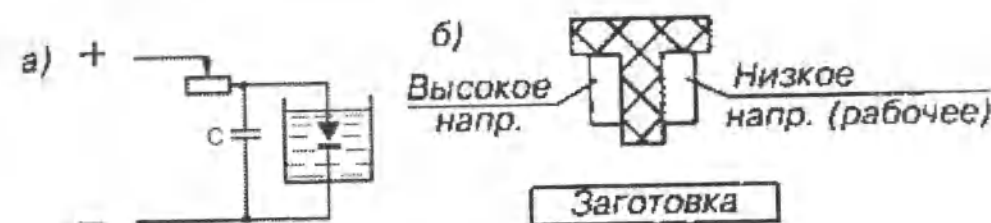


Рис. 2. а) Схема установки RC типа для легирования в жидких средах, б) схема бесконтактного легирования и инициированием разряда высоковольтным импульсом.

цессы приводят к установлению термодинамического равновесия и характеризуются переносом вещества анода и катода и химическими реакциями, проходящими в электроэрозионной среде. Продукты взаимодействия могут внедряться в легируемую поверхность.

Процесс развивается по следующей схеме. Первыми из зоны разряда в окружающую канал среду уходят световое излучение и электромагнитный импульс. Электромагнитный импульс излучает энергию в виде электромагнитных волн, и незначительная часть энергии идет на обжиг канала разряда. Доля энергии, уносимая световым излучением, сильно зависит от температуры канала. Она невелика при температурах 15000°C, но становится заметной уже при температурах около 20000°C. Но не все световое излучение уходит из канала. При температурах порядка 15000°C длина волны, соответствующая максимуму планковского распределения, согласно закону Вина $\lambda_m = A / T \approx 200$ нм и лежит в ультрафиолетовой области спектра. Конденсированные среды сильно поглощают световое излучение в этой области. Излучение поглощается в оболочке канала и идет на испарение и диссоциацию частиц среды. На основании сказанного можно считать, что энергия, выделяющаяся в канале, идет в основном на нагрев вещества и на работу расширения канала [2] и ударную волну. Ударная волна уносит с собой энергию, которая не вызывает заметного перемещения жидких рабочих сред. При этом фронт ударной волны получается очень крутым, а температуры и давления в двух слоях жидкости, расположенных рядом, резко различаются. Ударная волна может активировать процессы разложения нестойких веществ, входящих в состав рабочей среды. Если эти вещества разлагаются с выделением энергии на более простые химические сое-

динения с выделением газообразных продуктов, то в зоне, находящейся на значительном удалении от канала разряда, будет образовываться область высокого давления. Следующим этапом распределения энергии можно считать работу расширения канала разряда. За счет выделившегося тепла в канале разряда между электродами образуется небольшая паровая зона с высоким давлением и температурой, которая расширяется со скоростью, в десятки раз меньшей, чем скорость распространения ударной волны. Изменение давлений и температур в этот период не получается уже таким резким, и вместе с тем расширение паровой зоны протекает настолько быстро, что окружающая среда не успевает сильно нагреться.

Следующим этапом вторичного энергораспределения является выброс металла из расплавленной зоны анода и перенос металла катода за счет катодного распыления. При расширении газового пузыря давление в нем резко падает, и появляется возможность быстрого испарения перегретой части материала анода и катода. Пары металла выбрасывают частицы расплава в зону газового пузыря и на его стенки. При этом происходят процессы термодеструкции среды и химическое взаимодействие металла с образованием карбидов, нитридов, оксидов и других соединений. Время контакта и поверхность капель металла определяют степень превращения в данные соединения. Зачастую такие реакции идут с достаточным тепловым эффектом и являются источником дополнительной энергии в зоне легирования. Далее идут процессы охлаждения и закалки поверхности легируемого материала.

Электроискровое легирование имеет некоторые особенности с точки зрения исполнения процесса и применяющихся рабочих сред, вводимых в электроискровую зазор. Для легирования важ-



Рис.3. Воздействие низковольтного электроискрового разряда на титановый образец. Электрод инструмент-титан. Среда – воздух. 300 Вт. $C = 0,5; 1,0; 3,0; 4,0; 10,0$ мкф. (белая полоска равна 1 мм в длину).

ным фактором является перенос электрода и внедрение продуктов его взаимодействия с рабочей средой в поверхность легируемого материала.

Применение большого тока холостого хода улучшает глубину легирования, но уменьшает процент переносимого материала анода, малый ток холостого хода дает хороший результат по проценту переноса, но сильно снижает глубину легирования. При легировании предпочитают применять низкое напряжение и переводить процесс в микродуговой режим [3]. Это необходимо для затягивания процесса искрового разряда.

Можно взглянуть на этот момент с другой точки зрения. Например, найти способ затягивания во времени процесса другими способами, не только аппаратными. Предположим, что процесс увеличения времени разряда необходим для удержания паров и капель металла, а также реакционных продуктов в высокотемпературной области. За счет более длительного взаимодействия со средой увеличивается выход продуктов реакций металла с компонентами среды и уменьшается разбрызгивание капель из точки вскипания металла обрабатываемой детали и, как следствие, уменьшается размер лунки. Этого можно достичь повышением давления в окружающей среде, применяя среды с большим энерговыделением, при разложении которой появится наружная область противодействия, сдерживающая разброс продуктов реакции термического распада и капель расплавленного металла. Электроискровой процесс в таком случае можно будет вести при высоких напряжениях и в чисто искровом, а не только в микродуговом режиме, при малых токах холостого хода. Дополнительное выделение энергии в зоне искрового разряда и вокруг его позволят удерживать исходные вещества и продукты в зоне высокого давления, благодаря чему реакции идут более полно, разбрасывание капель металла

уменьшается и легирование идет с большим выходом.

Проведя серию экспериментов на титановом образце при различных напряжениях и емкостях накопительного конденсатора, выяснено, что при увеличении энергии разряда размер лунок увеличивается (это было ожидаемо). Для примера приводим фотографии результата воздействия разряда в воздухе титановым анодом на титановый образец при напряжении 300 Вт и емкостях конденсатора 0,5; 1,0; 3,0; 4,0; 10,0 мкф (рис.3).

Как видно из фотографий, лунки, остающиеся воздействием искры, возникающей при контакте анода с деталью, состоят из центральной части (темная) – место расплавления и испарения металла детали, и наружной (светлая) – продукты выброса расплавленного металла. Самая высокая температура реализуется в центре, более умеренная – по окружности. Для выяснения вклада энергии разложения энергонасыщенной среды в зависимости от энергии разряда была рассчитана масса среды, подверженной воздействию высоких температур. Цилиндрическая область с высотой 10 мкм и диаметром, соответствующим зоне воздействия разряда, определяет объем разложившейся среды (рис.3). С учетом плотности можно вычислить массу разложившегося вещества. Если вещество нестойкое и склонно к саморазложению с выделением энергии, то можно считать, что оно выделит энергию раньше, чем подвергнется выбросу из зоны воздействия разряда [2]. На основе данных действия разряда одинаковой энергии, при различных напряжениях на накопительном конденсаторе и приняв значение энергии разложения среды $6800 \text{ Кдж} / \text{дм}^3$, проведены вычисления процентного отношения энергии разложения к энергии разряда (рис.4). Расчет процентного вклада энергии разложения проводился по формуле:

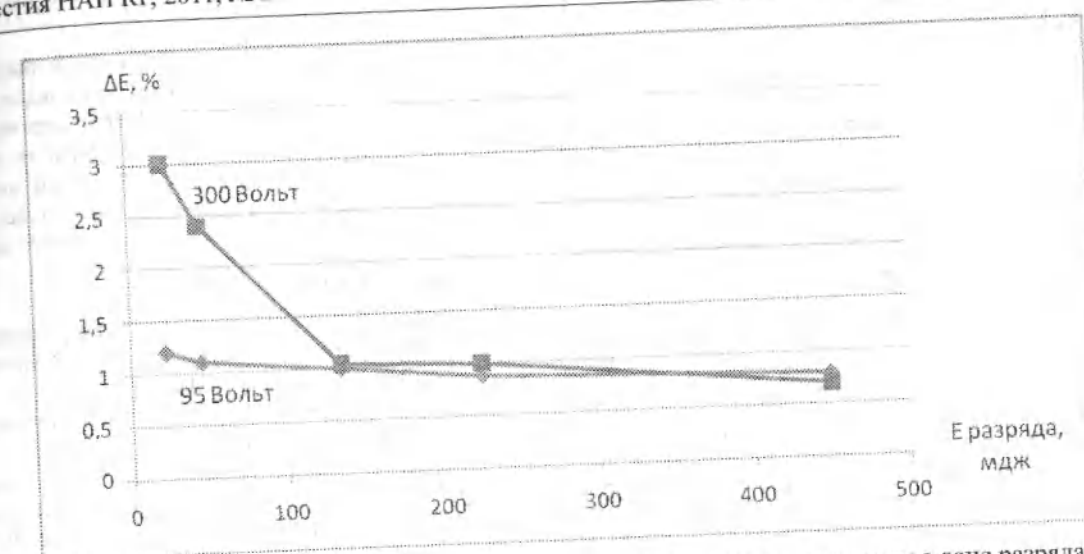


Рис. 4. График зависимости процентного вклада энергии разложения среды в зоне разряда от энергии единичного импульса при различных напряжениях на накопительном конденсаторе.

$$\Delta E\% = \frac{E_{\text{уд.разл.}} \cdot h \cdot \frac{\pi d^2}{4}}{E_{\text{разряда}}} \cdot 100\%,$$

где $E_{\text{уд.разл.}}$ – удельная энергия разложения энергоемкой среды ($\text{мдж} / \text{мм}^3$), h – расстояние между электродами в момент разряда (мм), d – диаметр образующейся лунки (мм), $E_{\text{разряда}}$ – энергия электрического разряда.

Как видно из графика, наибольший вклад энергии разложения среды наблюдается при малых энергиях электрического импульса. Это объясняется увеличением отношения внешней среднетемпературной зоны к центральной, высокотемпературной, при уменьшении энергии разряда. При понижении напряжения на разрядном конденсаторе происходит сглаживание разницы процентного вклада энергии разложения среды при общем уменьшении его от трех до одного процента. Данный график построен для чисто искровых разрядов с током холостого хода 0,05 ампер. Можно сделать вывод, что при применении энергонасыщенных сред легирование наиболее рационально вести при малых значениях энергии разряда для максимального использования энергии разложения. Проведенные эксперименты при напряжениях на разрядном контуре 30–40 вольт не могут быть интерпретированы таким же образом по причине перехода разряда из искрового в микродуговой режим. Тем не менее надо упомянуть о том, что в этом случае расчетные дан-

ные разброса процентного вклада мало зависят от энергии разряда и могут достигать десяти процентов. Значительное увеличение вклада энергии разложения среды можно ожидать на установках бесконтактного легирования с инициированием разряда высоковольтным импульсом или высокочастотным искровым разрядом [4]. При этом расстояние между электродами можно увеличить, соответственно увеличивая количество разложившейся энергонасыщенной среды (рис.26). При увеличении расстояния до 100 мкм процентный вклад энергии разложения может достигать значений 10–30%.

Теперь можно подвести итог и вывести общую формулу энергораспределения для всего процесса. В правой части расположим энерговыделяющие компоненты, а в левой – энергопоглощающие.

$$E_{\text{разряда}} + E_{\text{экзо}} + E_{\text{хим}} = E_{\text{уд}} + E_{\text{изл}} + E_{\text{эндо}} + E_{\text{газ}} + E_{\text{тепл}},$$

где $E_{\text{разр}}$ – энергия разрядного импульса, $E_{\text{экзо}}$ – энергия разложения энерговыделяющих компонентов среды, $E_{\text{хим}}$ – энергия химического взаимодействия электродов с компонентами среды, $E_{\text{уд}}$ – энергия, уносимая ударной волной, $E_{\text{эндо}}$ – энергия разложения компонентов среды с поглощением энергии, $E_{\text{газ}}$ – энергия, уносимая газообразными продуктами, $E_{\text{тепл}}$ – энергия, ушедшая на нагрев среды и электродов к окончанию процесса. Все промежуточные превращения энергии были описаны выше.

Выводы:

1. В результате проведенных исследований выяснено, что поставщиком энергии в зону электроискрового разряда может быть не только энергия разрядного контура, но и энергия разложения среды и энергия взаимодействия электродов со средой.

2. Основными факторами, активирующими распад энергонасыщенных сред, не находящихся в момент искрового разряда непосредственно в канале разряда, являются ударная волна и в некоторой степени световой импульс.

3. Проведенная оценка энергии, выделяющейся за счет среды с высокой энергией разложения, дала значения порядка 1–3%, при особых случаях ведения процесса можно ожидать энергетического вклада до 10–30% от энергии разрядного импульса.

4. Ожидаемые эффекты при легировании в энергонасыщенных средах – это увеличение степени превращения материала электродов в химические соединения и увеличение степени легирования при малых энергиях разряда.

5. Применение сред, склонных к быстрому разложению с выделением энергии порядка 3000–10000 Кдж/дм³, позволит уменьшить энергию единичного разрядного импульса, получая те же результаты, как при ведении процесса при жестких режимах легирования, а также вести процесс в искровом режиме при малых токах холостого хода.

Литература

1. Иванов Г.П. Технология электроискрового упрочнения инструментов и деталей машин. – М.: Машгиз, 1961. – 304 с.
2. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. – М.: Наука, 1971. – 155 с.
3. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Киев: Наукова думка, 1976. – 220 с.
4. Коротких М.Т., С.В. Абраменко С.В. Особенности термического воздействия высоковольтного высокочастотного искрового разряда на стали и сплавы // Электрофизические и электрохимические методы обработки. – № 2. – 2001.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 531.3 (075.8)

О некоторых основах системного анализа динамических систем методом синергетического управления

Ж. ШАРШЕНАЛИЕВ – академик НАН КР, ИАИТ НАН КР
А. БАКАСОВА – канд. техн. наук, соискатель ИАИТ НАН КР

In article are stated bases synergetic to theories of the system analysis in control complex dynamic macro system.

В современных сложных динамических системах, состоящих из различных взаимосвязанных подсистем, происходят интенсивные процессы по обмену энергией, веществом и информацией при наличии критических и хаотических режимов.

Учитывая, что системы есть лишь формы проявления материи, академик А. Бакиров [1] выделяет в них две важные субстанции: вещественно-энергетическую (консервативную) составляющую, которая является материальной основой системы, и энтропийно-информационную (изменчивую) составляющую, представляющую нематериальную часть системы. Такое разделение присуще науке *синергетике*.

Синергетика как наука о самоорганизации рассматривает самопроизвольное усложнение формы или структуры в системе, имеющей много степеней свободы при медленном и плавном изменении ее параметров. Самопроизвольно возникающие образования объединяются в так называемые диссипативные структуры (Пригожин).

Примером самоорганизации в технических системах является самопроизвольное возникновение автоколебаний в радиотехнике и в управляемых процессах, когда автоколебания появляются внезапно и спонтанно из-за неустойчивости

системы при медленном и плавном изменении параметров.

Математическим аппаратом синергетических систем является теория динамических систем, описываемых, например, дифференциальными уравнениями вида

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{\mu} F_i(x_1, \dots, x_n) + C_i \Delta x_i,$$

где x_i – динамические переменные (фазовые координаты);

μ – время изменения переменных x_i ;

$F_i(x_i)$ – нелинейные функции, характеризующие многообразие взаимодействия переменных в точке пространства;

$C_i \Delta x_i$ – спектр распространения переменных x_i в пространстве.

Естественно, когда переменные состояния распределены в пространстве равномерно, вышеописанная модель становится системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{1}{\mu} F_i(x_1, \dots, x_n).$$

Неожиданности в этих уравнениях возникают тогда, когда их решения отражают потерю устойчивости.

Практически многие многомерные и много-связанные динамические системы управления в своем движении обладают целым рядом степеней свободы. В таких системах часто возникает так называемый динамический хаос, при котором поведение нелинейной системы является случайным, хотя оно определяется детерминистическими законами. Причина – неустойчивость по отношению к малым изменениям начальных условий и параметров.

Качественное управление сложными нелинейными динамическими системами требует использования идей самоорганизации (синергетики) путем формирования внутренних сил взаимодействия, осуществляющих синтез желаемых структур. Так, академик А. Красовский [2] выдвинул идею поиска объективных законов управления путем создания физической теории управления.

Сегодня классическая прикладная теория управления нуждается в методах, сочетающих принципы единства теории неравновесных процессов и синтеза регуляторов.

Современные сложные системы являются многомерными, многосвязанными, нелинейными, неопределенными, они подвержены внутренним и внешним воздействиям и имеют критические и хаотические режимы движения. При синтезе таких сложных систем необходимо учитывать эффект от «совместного действия» нескольких факторов. «Совместное действие» – это самопроизвольное усложнение формы и структуры системы при медленном и плавном изменении ее параметров. «Самоорганизация» – это неожиданные явления, например автоколебания в динамических системах, возникающие при медленном и плавном изменении параметров из-за режима неустойчивости. Можно сказать, что синергетический подход позволяет анализировать и вскрывать причины неожиданно возникших явлений при помощи теории нелинейных динамических систем.

Синтез таких сложных систем стал практически очень трудным в рамках классической теории управления, и, как отмечено в [2], «...наступило время пересмотра силовых подходов в задачах управления и перехода на идеи самоорганизации и синергетики, возникла необходимость создания способов формирования и резонансного возбуждения внутренних сил взаимодействия, которые могли бы породить в фазовом пространстве синтезируемых систем желаемые структуры – аттракторы, адекватные

физической (химической, биологической) сущности соответствующей системы». С появлением синергетической теории управление получает естественно-математические подходы с учетом принципов сохранения и инвариантности, отражающих естественные физические свойства объектов управления. Было выявлено, что в динамических природных системах, имеющих много степеней свободы, происходят процессы самоорганизации, которые характеризуются такими новыми понятиями, как *параметр порядка, аттрактор, когерентность, каскадный синтез и бифуркация*. Аттрактор (в нелинейных системах) – это совокупность точек, к которой стремятся или «притягиваются» все близкие решения системы.

В основе синергетики лежат: принцип инвариантности (сохранения) и принцип «расширения-сжатия» фазового объема в диссипативных системах. Для пояснения основных понятий синергетики считаем уместным привести простой пример, использованный Г. Хакеном [3].

Пусть имеем динамическую физическую систему

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \lambda_1 x - xy \\ \dot{y}(t) &= -\lambda_2 y + x^2 + u.\end{aligned}\quad (1)$$

При отсутствии управляющего воздействия (и) имеем

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \lambda_1 x - xy \\ \dot{y}(t) &= -\lambda_2 y + x^2,\end{aligned}\quad (2)$$

где $\lambda_2 > 0$, $\lambda_1 > 0$, $\lambda_2 \gg |\lambda_1|$.

В случае малости переменных x и y (можно пренебречь квадратичной формой xy) переменная x будет изменяться очень медленно, тогда первое уравнение (2) будет «медленной» подсистемой

$$\dot{x}(t) \approx x - \frac{1}{\lambda_2} x^3, \quad (3)$$

а второе уравнение будет «быстрой» подсистемой

$$x^2 - \lambda_2 y = 0. \quad (4)$$

Отсюда получается, что переменная y подчинена переменной x . Переменная x , под которую подстраиваются «быстрая» переменная y и все остальные переменные состояния (по Хакену), называется *параметром порядка*. На языке современной науки синергетики и синергетической теории управления [4,5,6] динамика многих нелинейных диссипативных процессов и систем допускает выделение отдельных (степеней свободы), под которые подстраиваются все остальные.

Поэтому доминирующие координаты называются *параметрами порядка*.

С точки зрения синергетических самоорганизующихся процессов, сложная динамическая нелинейная система, состоящая из совокупности подсистем, действует в соответствии с *принципом подчинения*, а также в соответствии с понятием «*параметр порядка*».

Появляющейся в таких системах аттрактор обладает замечательным свойством, он имеет размерность меньшую, чем размерность исходной системы. Здесь происходит «забывание» начальных условий, а траектории движения направлены к аттрактору.

В синергетических системах классическая теория информации имеет свою особенность. В рамках современной синергетики теория информации уже рассматривает не только проблемы получения, передачи и хранения данных, а возник новый раздел – динамическая теория информации, в котором главным является рассмотрение *ценности информации*, позволяющей исследовать динамические модели процессов.

О моментах самоорганизации в разнотемповых системах

Рассмотрим разнотемповую систему с разномасштабными скоростями изменения фазовых переменных [7]

$$\begin{cases} \dot{x} = A_{11}x + A_{12}z + B_1u \\ \mu \dot{z} = A_{21}x + A_{22}z + B_2u \\ y = C_1x + C_2z, \end{cases} \quad (5)$$

$$x \in R^n, \quad z \in R^m, \quad u \in R^r, \quad \mu > 0,$$

где n – медленный «доминирующий» вектор состояния, m – быстрые «паразитные» векторы состояния.

Принцип подчинения базируется на идее разделения исходной системы на медленные и быстрые подсистемы.

При несингулярности матрицы A_{22} и $\mu = 0$ имеем единственный корень

$$\bar{z} = A_{22}^{-1}(A_{21}\bar{x} + B_2u). \quad (6)$$

При отсутствии быстрых движений система (5) редуцируется в

$$\begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} u, \quad (7)$$

здесь $\bar{x}_M = A_0 x_M + B_0 u_M$ – редуцированная медленная система, где

$$A_0 = A_{11} - A_{12} A_{22}^{-1} A_{21}, \quad B_0 = B_1 - A_{12} A_{22}^{-1} B_2, \quad (8)$$

$$u_M = (C_1 - C_2 A_{22}^{-1} A_{21}) x_M - C_2 A_{22}^{-1} B_2 u_M = C_0 x_M + D_0 u_M,$$

$$C_0 = C_1 - C_2 A_{22}^{-1} A_{21}, \quad D_0 = -C_2 A_{22}^{-1} B_2.$$

Уравнение (5) является динамическим, т.е. его решения однозначно определяются начальными и граничными условиями, а также свойствами и параметрами самого уравнения. Первоначально кажется, что в такой системе ничего неожиданного быть не должно. Однако характерная для синергетики неожиданность возникает в случае, когда решение динамической модели таково, при котором система теряет устойчивость. Устойчивость (или неустойчивость) – это внутреннее свойство системы, а не результат внешних воздействий. Особенность состоит в том, что проявляется это свойство только при наличии малых воздействий.

При несингулярности матрицы A_{22} отсутствуют импульсные движения (7) и система превращается в регулярную (8) и нединамическую (6). А в случае сингулярности матрицы A_{22} даже линеаризованная система вида (7) при определенных начальных условиях, допускает *собственные импульсные движения*. В исходной динамической системе медленная подсистема как бы «управляет» быстрой подсистемой. Медленная переменная z , под которую подстраивается быстрая переменная x , называется *параметром порядка*. В многомерных системах параметров порядка может быть несколько. Тогда под эти коллективные переменные – параметры порядка – подстраиваются отдельные переменные.

Как отмечено в [4], «синергетика показала, что аналогичные информационные процессы протекают не только в искусственно созданных системах управления, но они могут возникать и в естественных физических системах, находящихся на границе устойчивости. Маломощные сигналы, действующие на такие системы в точках бифуркаций, могут привести к значительным, и даже катастрофическим, последствиям. Это так называемые сложные открытые системы, которые, попав в область неравновесности, обнаруживают сложное динамическое поведение, в том числе и хаотическое».

Особенностями таких систем являются «забывание» начальных условий и формирование неравновесных структур, которые и являются причиной упорядоченности, т.е. самоорганизации нелинейной или сингулярной линейной динамической системы.

При искусственном недопущении несингулярности матрицы A_{22} и $\mu = 0$ предполагается, что

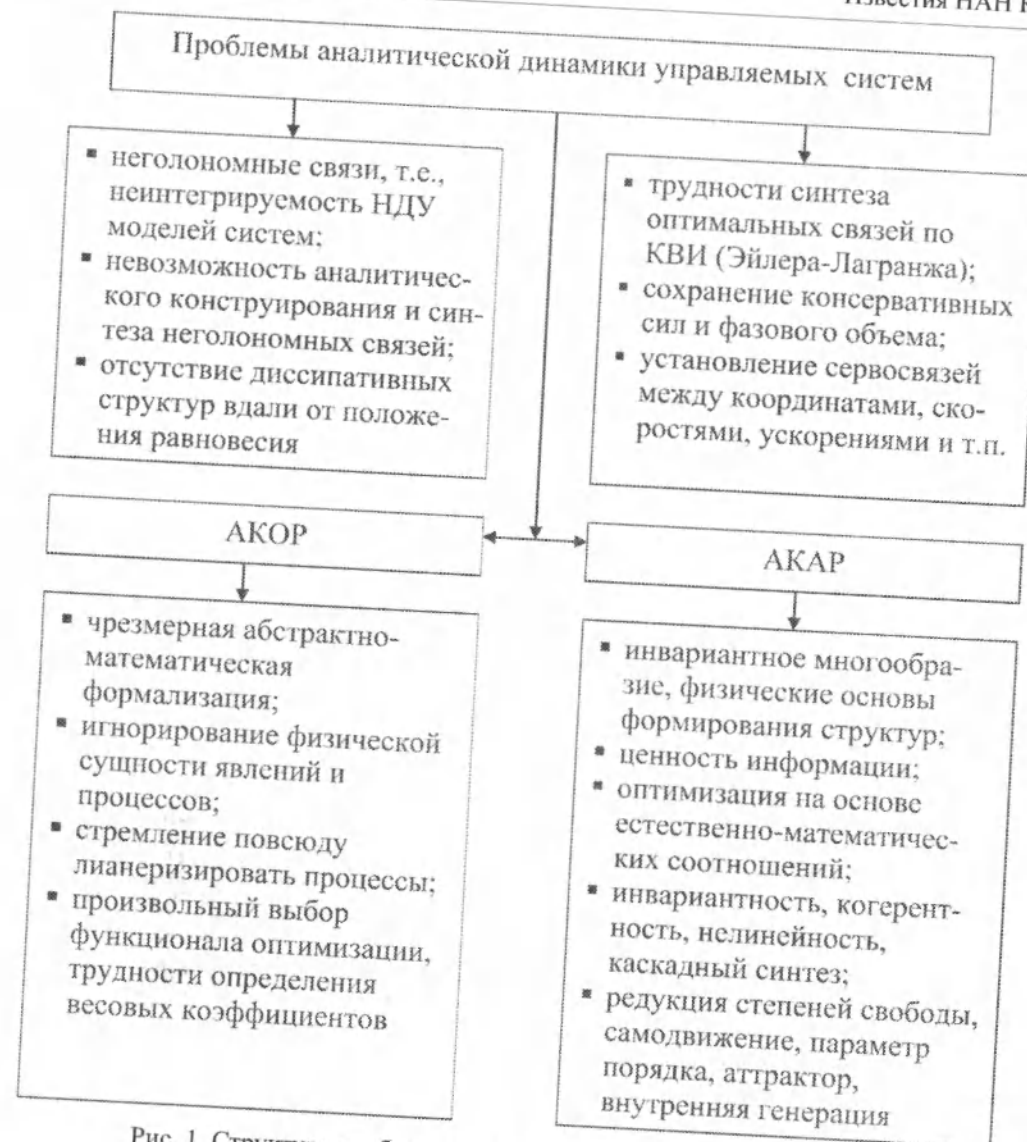


Рис. 1. Структура проблем анализа динамики управляемых систем.

существует некое инвариантное множество в (5), для того чтобы возникли режимы самоорганизации в таких системах. Это многообразие должно быть притягивающим, т.е. асимптотически устойчивым и содержащим аттрактор исходной системы (5). Однако нахождение таких инерционных (инерционных) многообразий зависит от опыта, интуиции и удаче исследователя при создании направленной самоорганизации системы. Формирование параметров порядка опирается на учет нелинейного взаимодействия между «медленными» и «быстрыми» переменными состояния динамической системы.

Сегодняшние научные подходы при синтезе динамических систем требуют единства процессов управления и самоорганизации.

На рис. 1 приведена структура проблем анализа и некоторых особенностей управления и синтеза сложных динамических систем с учетом синергетического подхода.

Об особенностях перехода от АКОР к АКАР

Для синтеза регуляторов одномерных объектов применяется известный подход — это выбор структуры и параметров корректирующих устройств на основе частотных и корневых мето-

дов и интегральных оценок. При таком подходе, ориентированном в основном на линейные объекты, используются первичные инженерные показатели качества систем (время и характер затухания переходного процесса, перерегулирование, точность в установившемся состоянии и т.д.).

В отличие от известных методов проектирования регуляторов по заданным первичным показателям качества, осуществляющих оптимизацию параметров корректирующих цепей (В.В. Солодовников), немного особняком стоит аналитический метод АКОР (А.М. Летов), сочетающий методы вариационного исчисления, теории устойчивости Ляпунова и динамического программирования. Закон изменения управляемой координаты и управляющего воздействия задается аналитически в виде определенного функционала, минимизируемого подбором управляющего воздействия.

АКОР (аналитическое конструирование оптимальных регуляторов) — это задача синтеза закона управления, обеспечивающего минимум заданного критерия.

Суть задачи АКОР состоит в том, что для стационарной, инвариантной во времени, линейной САУ

$$\dot{x} = Ax + Bu,$$

требуется определить закон управления u , обеспечивающий устойчивость при $\mu \rightarrow \infty$ и минимизирующий критерий

$$I(u) = \int_0^{\infty} (\sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + u^2) dt,$$

либо критерий общего вида

$$I(u) = \int_0^{\infty} (\sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + cu^2 + \dot{u}^2) dt.$$

Эта задача тесно связана с задачей определения аналитического закона управления для стабилизации движения, успокоения колебаний в системе, возникающих из-за возмущений начальных отклонений $x_i(0)$, $i = \overline{1, n}$ и внешних помех.

А.М. Летов показал, что заданному квадратичному критерию оптимальности соответствует линейный закон управления

$$u = \sum_{i=1}^n k_i x_i, \quad (9)$$

где k — постоянные коэффициенты, методику вычисления которых он разработал.

Однако в зависимости от выбора весовых коэффициентов β_{ii} , система будет иметь различные варианты управления. Эта неоднозначность оста-

ется нерешенной до конца даже для линейных систем.

Из-за произвола выбора функционала оптимизации, трудностей определения коэффициентов k_i , за неадекватных эквивалентных преобразований, приводящих к параметрической неустойчивости, этот метод не находит широкого инженерного применения.

В нелинейной теории АКОР имеются два основных направления, в которых получены существенные научные результаты. Это методы Летова-Калманга и А. Красовского по критерию обобщенной работы.

В этих методах АКОР имеются вычислительные сложности при получении оптимального решения на основе чисто математического формализма Беллмана-Ляпунова, применение которого крайне затруднительно для объектов высокой размерности, при этом он мало отражает физическую сущность происходящих процессов.

В трудах [5,6] А.А. Колесникова, одного из основателей синергетической теории управления, предложен новый метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) на основе принципа «расширения-сжатия» фазового пространства.

Рассмотрим объект управления, описываемый системой нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\dot{X}(t) = F(x, u) \quad (10)$$

$$x \in R^n, \quad u \in R^m, \quad m \leq n,$$

Требуется найти закон управления

$$u(\psi) = u(x), \quad (11)$$

обеспечивающий перевод изображающей точки (ИТ) системы (10) из произвольного начального состояния $x_0(x_{10}, \dots, x_{n0})$ сначала в окрестность агрегированного многообразия

$$\psi(x_1, \dots, x_n) = 0. \quad (12)$$

в пространстве координат x_1, \dots, x_n , а затем обеспечивающий дальнейшее асимптотически устойчивое движение ИТ-объекта вдоль этого многообразия в начало координат пространства состояний с нулевой размерностью.

Как указано в [6], например, для объектов второго порядка закон управления (11) удерживает ИТ в указанной окрестности при ее дальнейшем движении вдоль многообразия (12), имеющего фазовую траекторию $\psi(x_1, x_2) = 0$. При этом макропеременные $\psi(x_1, x_2)$ должны удовлетворять функциональному уравнению

$$T\dot{\psi}(t) + \varphi(\psi) = 0.$$

При этом на траекториях движения замкнутой системы к многообразию (12) достигается минимум сопровождающего функционала

$$I = \int_0^{\infty} [m^2 \varphi^2(\psi) + c^2 \dot{\psi}^2(t)] dt. \quad (13)$$

Под действием управляющего воздействия система переходит из исходного пространства размерности n в подпространство размерности $n-1$, затем $n-2$, $n-3$, и т.д. вплоть до одномерного многообразия $\dim(\psi_S) = 1$, двигаясь вдоль которого попадает в начало координат, т.е. происходит постепенное сжатие фазового потока, в котором движется объект.

Итак, синергетический метод АКАР является новым направлением в теории управления, который расширяет наше понимание сложных процессов управления, так как учитывает общие объективно-энергетические и энтропийно-информационные субстанции в пространстве и во времени.

УДК 681.5

Адаптивное управление линейными нестационарными системами в условиях неопределенности

Г.А. КОЖЕКОВА - ст.науч.сотр. НАН КР

Т.Т. ОМОРОВ - докт.техн.наук, член-корр. НАН КР

The control problem by nonstationary linear object in the presence of parametric and uncontrollable exterior perturbations is considered. The synthesis method of the adaptive regulator on the basis of criterial restrictions is offered.

В практике автоматизации технологических процессов значительный класс объектов представляют собой многомерные нестационарные системы, которые функционируют в условиях неопределенности [1, 2, 3]. Несмотря на то, что современная теория управления располагает достаточно эффективными методами синтеза си-

Литература

1. Бакиров А. Информация – основа жизни социума и духовной деятельности. – Бишкек: Илим, 2010.
2. Красовский А.А. и телемеханика. – М.: 1990. – № 11.
3. Хокен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. – М.: Мир, 1991.
4. Синергетика и проблемы теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – М.: Физматгиз, 2004. – С. 504.
5. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – М.: Энергоиздат, 1994.
6. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами // Теория системного синтеза. – М.: Едиториал УРСС, 2005.
7. Шаршеналиев Ж. Автоматическое управление сложными динамическими процессами. – Бишкек: Илим, 2003. – С. 309.

стем управления, динамическое проектирование управляющих устройств для таких систем представляет значительные трудности [4, 5, 6, 7]. В работе предлагается процедура синтеза адаптивного регулятора для линейной многомерной системы в условиях параметрической неопределенности и при наличии неизмеряемых внешних возмуще-

ний на основе метода проектирования автоматических систем, изложенного в [8].

Рассмотрим многомерный нестационарный объект управления, математическая модель которого задана векторным линейным уравнением в отклонениях:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + \xi(t), \quad (1)$$

$$x(t_0) = x^0,$$

где $x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$ – n -мерный вектор состояния объекта; $u(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)]^T$ – m -мерный вектор управляющих воздействий; $\xi(t) = [\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_n(t)]^T$ – n -мерный вектор возмущений; x^0 – состояние объекта в начальный момент времени t_0 ; $A(t)$ и $B(t)$ – вещественные матрицы

$$A = \{a_{ij}\}_{n \times n}; B = \{b_{iv}\}_{n \times m}.$$

Далее предполагается, что:

- объект, описываемый уравнением (1), обладает свойством управляемости;
- вектор состояния $x(t)$ доступен для измерения;
- объект имеет параметрическую неопределенность относительно элементов матрицы A ;
- вектор возмущений $\xi(t)$ не измеряется;
- компоненты вектора $\xi(t)$, элементы матриц $A(t)$ и $B(t)$ во времени медленно изменяются, т.е.

$$\dot{\xi}(t) \approx 0, \quad (2)$$

$$\dot{A}(t) \approx 0,$$

$$\dot{B}(t) \approx 0.$$

Пусть структура закона адаптивного управления задана и имеет вид

$$u(t) = K(t)x(t) + \vartheta(t), \quad (3)$$

где $K(t) = \{k_{ij}(t)\}_{m \times n}$ – матрица обратной связи; $\vartheta(t) = [\vartheta_1(t), \vartheta_2(t), \dots, \vartheta_m(t)]^T$ – неизвестная вектор-функция.

Задача синтеза адаптивного регулятора для объекта (1) заключается в определении матрицы $K(t)$ и вектора $\vartheta(t)$ как функции от вектора состояния $x(t)$ так, чтобы обеспечить цель управления:

$$x_i(t) \rightarrow 0, i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Для решения сформулированной задачи будем использовать теорию управления [8, 9], основанную на концепции допустимости управляемых процессов. В соответствии с этой теорией условие достижения основной цели управления (4) дается следующей теоремой.

Теорема. Пусть $x_i(t) \neq 0, i = \overline{1, n}$, и для каждого t_0 и $t > t_0$ выполняются условия

$$\int_{t_0}^t x_i(t) \dot{x}_i(t) dt < 0, i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Тогда модули невязок $|x_i(t)|$ с течением времени убывают и

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x_i(t) = 0, i = \overline{1, n}.$$

Синтез адаптивного регулятора, функционирование которого описывается алгоритмом управления (3), будем осуществлять на основе критериальных соотношений (5).

Вначале определим векторное уравнение замкнутой системы управления. Оно с учетом закона управления (3) имеет вид

$$\dot{x}(t) = \Lambda(t)x(t) + B(t)\vartheta(t) + \xi(t), \quad (6)$$

где матрица $\Lambda(t) = \{\lambda_{ij}(t)\}_{n \times n}$:

$$\Lambda(t) = A(t) + B(t)K(t). \quad (7)$$

В координатной форме уравнение (6) запишется в виде

$$\dot{x}_i(t) = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}(t)x_j(t) + \sum_{v=1}^m b_{iv}(t)\vartheta_v(t) + \xi_i(t), \quad (8)$$

$$i = \overline{1, n}.$$

Тогда с учетом динамики замкнутой системы управления (8) критериальные условия (5) принимают следующий вид:

$$\sum_{j=1}^n \int_{t_0}^t \lambda_{ij}(\tau)x_i(\tau)x_j(\tau)d\tau + \int_{t_0}^t x_i(\tau) \left[\sum_{v=1}^m b_{iv}(\tau)\vartheta_v(\tau) + \xi_i(\tau) \right] d\tau < 0, i = \overline{1, n}. \quad (9)$$

Введем вспомогательные переменные

$$z_i(t) = \sum_{v=1}^m b_{iv}(\tau)\vartheta_v(\tau) + \xi_i(\tau), i = \overline{1, n}. \quad (10)$$

В соответствии с методикой, предложенной в [10, 11], законы изменения переменных $\lambda_{ij}(t)$ и $z_i(t)$, зададим в виде:

$$\dot{\lambda}_{ij}(t) = \alpha_{ij}^{-1} \dot{x}_i(t)x_j(t), \quad (11)$$

$$\dot{z}_i(t) = \gamma_i^{-1} x_i(t), i, j = \overline{1, n}, \quad (12)$$

где α_{ij} и γ_i – вещественные параметры.

В результате с учетом соотношений (11) и (12) критериальные условия (9) запишутся так:

$$\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \int_{t_0}^t \lambda_{ij}(\tau) \dot{\lambda}_{ij}(\tau) d\tau + \gamma_i \int_{t_0}^t z_i(\tau) \dot{z}_i(\tau) d\tau < 0, \quad (13)$$

$$i = \overline{1, n}.$$

Можно показать [9], что если принять начальные условия для $\lambda_{ij}(t)$ и $z_i(t)$ нулевыми, т.е.

$$\lambda_{ij}(t_0) = 0,$$

$$z_i(t_0) = 0, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (14)$$

то неравенства (13) преобразуются к виду:

$$\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \lambda_{ij}^2(t) + \gamma_i z_i^2(t) < 0, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (15)$$

Отсюда видно, что если параметры α_{ij} и γ_i удовлетворяют условиям

$$\alpha_{ij} < 0, \quad \gamma_i < 0, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (16)$$

то условия сформулированной выше теоремы выполняются, т.е. гарантируется выполнение целевых условий (5).

Теперь поставим задачу определения соотношений, необходимых для синтеза матрицы $K(t)$ и вектор-функции $\mathcal{Q}(t)$. Для этой цели вначале продифференцируем левые и правые части векторного соотношения (7):

$$\dot{\lambda}(t) = \dot{A}(t) + \dot{B}(t)K(t) + B(t)\dot{K}(t). \quad (17)$$

С учетом (2) соотношение (17) имеет вид

$$\dot{\lambda}(t) = B(t)\dot{K}(t). \quad (18)$$

С другой стороны, желаемые поведения переменных $\lambda_{ij}(t)$ описываются соотношениями (11). Таким образом, с учетом (11) векторное соотношение (18) можно записать в следующем виде:

$$B(t)\dot{K}(t) = F(t), \quad (19)$$

где $F(t) = \{f_{ij}(t)\}_{n \times n}$ — известная матрица, элементы которой определяются правой частью уравнений (11):

$$f_{ij}(t) = \alpha_{ij}^{-1} x_i(t) x_j(t), \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (20)$$

В случае, когда $n = m$, а $B(t)$ имеет обратную матрицу $B^{-1}(t)$, решение матричного уравнения (19) можно получить в явной форме:

$$\dot{K}(t) = B^{-1}(t)F(t). \quad (21)$$

При $n \neq m$ квазирешение указанного уравнения дается следующей формулой:

$$\dot{K}(t) = [B^T(t)B(t)]^{-1} B^T(t)F(t), \quad (22)$$

если существует соответствующая обратная матрица.

Теперь найдем динамику компонентов вектор-функции $\mathcal{Q}(t)$. Для этой цели продифференцируем левые и правые части соотношений (10):

$$\dot{z}_i(t) = \sum_{j=1}^n [\dot{b}_{ij}(t) \mathcal{Q}_j(t) + b_{ij}(t) \dot{\mathcal{Q}}_j(t)] + \dot{\xi}_i(t), \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (23)$$

С учетом исходных условий (2) последние соотношения принимают следующий вид:

$$\dot{z}_i(t) = \sum_{j=1}^n b_{ij}(t) \dot{\mathcal{Q}}_j(t), \quad i = \overline{1, n}. \quad (24)$$

Сравнение соотношений (12) и (24) позволяет получить соотношения для определения динамических свойств функций $\mathcal{Q}_i(t)$:

$$\sum_{v=1}^m b_{iv}(t) \dot{\mathcal{Q}}_v(t) = \gamma_i^{-1} x_i(t), \quad i = \overline{1, n}. \quad (25)$$

Запишем уравнения (25) в векторной форме:

$$B(t)\dot{\mathcal{Q}}(t) = c(t), \quad (26)$$

где $c(t) = [c_1(t), c_2(t), \dots, c_n(t)]^T$ — вектор, составленный из правых частей уравнений (25):

$$c_i(t) = \gamma_i^{-1} x_i(t), \quad i = \overline{1, n}. \quad (27)$$

Аналогично предыдущему случаю можно получить ($n=m$) явное решение:

$$\dot{\mathcal{Q}}(t) = B^{-1}(t)c(t) \quad (28)$$

и квазирешение ($n \neq m$) уравнения (26):

$$\dot{\mathcal{Q}}(t) = [B^T(t)B(t)]^{-1} B^T(t)c(t). \quad (29)$$

Таким образом, использование метода синтеза многомерной САУ на основе концепции допустимости позволило синтезировать адаптивный закон управления для линейного нестационарного объекта при наличии параметрических и неконтролируемых внешних возмущений.

Литература

1. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования // Под ред. В.В. Солодовникова. — М.: Машиностроение, 1967. — 1968. — Кн. 1, 2, 3.
2. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. — М.: Наука, 1987. — 712 с.
3. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Трудные задачи линейной теории управления. Некоторые подходы к решению // Автоматика и телемеханика, 2005. — № 5. — С. 7–46.
4. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах. — М.: Наука, 1990.
5. Doyle J.C., Glover K., Khargonekar P.P., Francis B.A. State-space solution to standard H2 and H ∞ control problems // IEEE Trans. Automat. Control. 1989. V.34. — № 8. — P. 831–847.
6. Rosenbrock H.H. State-space and multivariable theory. Nelson.—Wiley, 1970. — 250 p.
7. Современные методы проектирования систем автоматического управления / Под ред. Б.Н. Пет-

- рова, В.В. Солодовникова, Ю.И. Топчиева. — М.: Машиностроение, 1967.
8. Оморев Т.Т., Кожеева Г.А. Синтез систем управления многомерными объектами по критериальным ограничениям // Известия НАН КР. — № 1. — Бишкек: Илим, 2009.
 9. Оморев Т.Т., Кожеева Г.А. Синтез адаптивного регулятора многомерной системы управления в условиях параметрической неопределенности // Известия НАН КР. — № 2. — Бишкек, 2010.

10. Оморев Т.Т., Кожеева Г.А. Синтез законов управления взаимосвязанными электроприводами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — М.: 2009. — № 10.
11. Оморев Т.Т., Кожеева Г.А. Синтез системы управления синхронным генератором // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — М.: 2011. — № 1.

УДК 62-50

Адаптивное управление программным движением

Ж.И. БАТЫРКАНОВ — доктор технических наук

There is solved the problem of the realization of movement of the controlled object in the prescribed program, in the case of parametric perturbations in this work.

Рассмотрим линейный объект управления, описываемый уравнением

$$\dot{x} = Ax + Bu + \Delta Ax, \quad (1)$$

где A, B — числовые детерминированные матрицы размерности $n \times n$; $n \times m$ соответственно; ΔA — матрица параметрических возмущений.

Матрица параметрических возмущений удовлетворяет так называемому условию квазистационарности, при котором предполагается, что параметры объекта изменяются намного медленнее, чем переменные состояния. В соответствии с этим принимается

$$\frac{d(\Delta A)}{dt} \approx 0. \quad (2)$$

Предписанная программа движения задается в виде уравнения

$$\psi_r(x, t) = 0. \quad (3)$$

Задачу синтеза адаптивного управления программным движением сформулируем следующим образом. Требуется синтезировать адаптивный закон управления в классе

$$\begin{cases} U = U_{np}(x, t) - C \cdot x \\ \dot{C} = \Phi(x, c, t) \end{cases}, \quad (4)$$

где C — матрица настраиваемых параметров регулятора, при котором движение системы (1) осуществляется по предписанной программе (3).

Построение адаптивного управления

Рассмотрим случай, когда предписанная программа движения задана одним уравнением в неявной форме (3).

Для решений вышепоставленной задачи применим аппарат функций Ляпунова. Для формирования функций Ляпунова предварительно заметим, что цель адаптивного управления в данном случае заключается в обеспечении движения управляемой системы по предписанной программе и в обеспечении возвращения движения системы на предписанную траекторию, в случае выхода системы из нее вследствие действия параметрических возмущений по переменным состояниям. Другими словами, цель управления заключается в выполнении условия

устранения ошибки выполнения предписанной программы движения

$$\begin{cases} \delta = \psi(x, t) \neq 0 \\ \delta(t) \rightarrow 0 \end{cases} \quad (5)$$

Исходя из этого замечания, функция Ляпунова определяется как функция от ошибки выполнения предписанной программы движения и функция изменения настроечных параметров регулятора

$$V(\delta, \gamma) = \delta^2 + \sum_{i=1}^n (\gamma_i, \gamma_i), \quad (6)$$

где γ_i – i -я строка матрицы $(\Delta A - B \cdot C)$, т.е.

$$\gamma_i = (\Delta A - B \cdot C). \quad (7)$$

Очевидно, что рассматриваемая функция Ляпунова является положительно определенной функцией по отношению к переменным δ, γ .

Для нахождения искомого закона управления вычислим полную производную функции Ляпунова с учетом рассматриваемых уравнений.

Имеем

$$\begin{aligned} \dot{V} &= 2\psi \left(\frac{\partial \psi}{\partial x}, Ax + Bu_{np} \right) + \\ &+ 2\psi \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} + \delta(\Delta A - B \cdot C)x \right) + 2 \sum_{i=1}^n \left(\gamma_i, \dot{\gamma}_i \right) + \frac{\partial(\psi^2)}{\partial t}. \end{aligned} \quad (8)$$

Заметим, что выражение $(\Delta A - B \cdot C) \cdot x$ с учетом обозначений (7) можно представить в виде

$$(\Delta A - B \cdot C) \cdot x = ((\gamma_1, x), \dots, (\gamma_n, x))^T. \quad (9)$$

С учетом этого выражение (8) представится как

$$\begin{aligned} \dot{V} &= 2\psi \left(\frac{\partial \psi}{\partial x}, Ax + Bu_{np} \right) + \\ &+ 2\psi \sum_{i=1}^n \frac{\partial \psi}{\partial x_i} (\gamma_i, x) + 2 \sum_{i=1}^n \left(\gamma_i, \dot{\gamma}_i \right) + \frac{\partial(\psi^2)}{\partial t}. \end{aligned} \quad (10)$$

В соответствии с поставленной целью управления (5) потребуем, чтобы полная производная функции Ляпунова удовлетворяла условию

$$\dot{V} = 2a(x) \cdot R(\psi, x), \quad (11)$$

где $a(x)$ – знакоотрицательная функция;

$R(\psi, x)$ – произвольная положительно определенная функция, удовлетворяющая условию

$$R(0, x) = 0. \quad (12)$$

С учетом (11) выражение (10) представится:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{\partial \psi^2}{\partial t} + \left(\frac{\partial \psi}{\partial x}, Ax + Bu_{np} \right) + \\ + \psi \sum_{i=1}^n \frac{\partial \psi}{\partial x_i} (\gamma_i, x) + \sum_{i=1}^n \left(\gamma_i, \dot{\gamma}_i \right) = \\ = a(x) \cdot R(\psi, x) \end{aligned} \quad (13)$$

Если существует адаптивный закон управления (3), который удовлетворяет соотношению (13), то, очевидно, вышепоставленная цель управления (5) достигнута. Действительно, при выполнении соотношения (13) выполняются известные теоремы В.В. Румянцева об устойчивости по части переменных. В рассматриваемом случае это происходит по отношению к переменной

$$\delta = \psi(x, t) \neq 0.$$

Для определения искомого адаптивного закона управления из (13) предварительно (13) преобразуем к виду

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{\partial \psi^2}{\partial t} + \psi \left(\frac{\partial \psi}{\partial x}, Ax + Bu_{np} \right) + \\ + \sum_{i=1}^n \psi \frac{\partial \psi}{\partial x_i} \left(\gamma_i, x + \left(\frac{\partial \psi}{\partial x_i} \right)^{-1} \cdot \psi^{-1} \cdot \dot{\gamma}_i \right) = \\ = a(x) \cdot R(\psi, x) \end{aligned} \quad (14)$$

Из последнего соотношения программную часть регулятора определим из соотношения

$$\frac{1}{2} \frac{\partial \psi^2}{\partial t} + \psi \left(\frac{\partial \psi}{\partial x}, Ax + Bu_{np} \right) = a(x) \cdot R(\psi, x), \quad (15)$$

а алгоритм настройки параметров регулятора определяется в виде

$$X^T + \psi^{-1} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x_i} \right)^{-1} \cdot \dot{\gamma}_i = 0$$

или

$$\dot{\gamma}_i = -\psi \cdot \frac{\partial \psi}{\partial x_i} \cdot X^T, \quad i = \overline{1, n}. \quad (16)$$

С учетом обозначений (7) и условия квазистационарности параметров объекта (2) окончательно имеем

$$\left(B \cdot C \right)_i = \psi \cdot \frac{\partial \psi}{\partial x_i} \cdot X^T, \quad i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

где $\left(B \cdot C \right)_i$ обозначает i -ю строку матрицы.

Программную часть регулятора определяем из соотношения (15) по аналогичной процедуре

$$\begin{aligned} U_{np} &= \left[a(x) \cdot \psi^{-1} R(\psi, x) - \left(\frac{\partial \psi}{\partial x}, Ax \right) - \right. \\ &\left. - \frac{1}{2} \frac{\partial \psi}{\partial t} \psi^{-1} \right] \cdot \left(B^T \frac{\partial \psi}{\partial x}, B^T \frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^{-1} \cdot B^T \frac{\partial \psi}{\partial x}. \end{aligned} \quad (18)$$

Итак, вышепоставленная задача адаптивного управления программным движением решается на основании (4), (17) и (18).

Рассмотрим пример синтеза адаптивного закона управления программным движением.

Пример 1. Объект управления описывается системой

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u + \Delta Ax, \quad (19)$$

где

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad \Delta A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}.$$

При этом элементы матрицы параметрических возмущений удовлетворяют условию квазистационарности.

Пусть предписанная программа движения описывает гармонический процесс $X(t) = a \sin \omega t$ или

$$\psi(x, t) = x_1^2 + \frac{x_2^2}{\omega^2} - A^2 = 0. \quad (20)$$

Для нахождения U_{np} , согласно выражению (18), выберем в качестве положительно определенной функции $R(\psi, x)$ функцию вида

$$R(\psi, x) = \psi^2(x, t). \quad (21)$$

Тогда имеет место

$$a(x) \cdot \psi^{-1} R(\psi, x) = a(x) \cdot \psi(x, t). \quad (22)$$

С учетом того, что $\left(\frac{\partial \psi}{\partial x}, Ax \right) = 2x_1 x_2; \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0$, имеем

$$U_{np} = (a(x) \cdot \psi(x, t) - 2x_1 x_2) \frac{\omega^2}{2x_2} \quad (23)$$

Из сравнения с выражением (21) видим, U_{np} полностью совпадает с законом управления. Повторяя те же рассуждения, выбор $a(x)$ осуществляем из условий физической реализации (в данном случае это устранение в (23) деления x_2 , которая может принимать и нулевые значения). Окончательно имеем

$$U_{np} = -\omega^2 (x_1 + \alpha_0 \psi \cdot x_2), \quad (24)$$

где α_0 – положительное число.

Алгоритм самонастройки параметров регулятора определяется согласно (17). Для рассматриваемого примера уравнение (17) распишется в виде

$$\left[\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{C}_1 & \dot{C}_2 \end{pmatrix} \right]_i = \psi \frac{\partial \psi}{\partial x_i} \cdot X^T, \quad i = 1, 2.$$

Или отсюда имеем

$$\begin{cases} \dot{C}_1 = \psi \frac{\partial \psi}{\partial x_2} \cdot x_1, \\ \dot{C}_2 = \psi \frac{\partial \psi}{\partial x_2} \cdot x_2. \end{cases} \quad (25)$$

Литература

1. Румянцев В.В. Об асимптотической устойчивости и неустойчивости по отношению к части переменных // ПИМ.М. – 1971 – Т. 35. – Вып. 1. – С. 446–452.

УДК 618:372

Энергетическое определение понятия «язык», Его применение и возможности технической реализации

П.С. ПАНКОВ – член-корр. НАН КР, ИТПМ НАН КР

On the base of previous publications and software built under the author's leadership, new definitions of a subject (low-energetic commands cause sufficiently various high-energetic actions) and a language (system of such commands to obtain desired actions by other subject) uniting humans and computers and their languages are proposed. Surveys of such actions, implementations of these definitions for independent presentation of elements of natural languages and enlarging of methods of communication are given.

1. Основные определения

Анализ предлагавшихся ранее определений понятия «язык», таких, как «язык – это средство общения», показал, что, с одной стороны, оно не учитывает функций языка по преобразованию внутреннего состояния и окружающей среды, с другой стороны, является слишком широким, так как включает любое воздействие одного субъекта на другой. Анализ существовавших программных средств по обучению и контролю знаний по иностранным языкам показал, что «действия» в них сводятся в основном к «показу», «выбору из нескольких» правильного ответа.

В связи с этим нами, как перенос метода «полной физической реакции» обучения языкам [1] на компьютер, было предложено [3] определять понимание некоторых слов через действия пользователя по передвижению объектов на дисплее с помощью компьютерной мыши. В [4] мы предложили изучать иностранные языки без языков-посредников, с помощью активных действий пользователя.

В [7], [9], [12], [13] эта методика была развита, в [14], [16], [18], [19], [20], [21], [23], [24], [25], [27] было описано построенное программ-

ное обеспечение, по приказу Президиума НАН КР был выполнен проект [22].

В связи с развитием этой методики возник вопрос о введении соответствующих определений.

Анализ существующих технических средств для выполнения различных операций показал, что увеличение скорости – уменьшение времени выполнения требуемой операции сверхнеобходимого ведет к увеличению загрязнения окружающей среды. Как обобщение известного понятия «экономической скорости» транспортных средств (с наименьшими затратами топлива на единицу длины пути) нами была выдвинута следующая гипотеза [28].

Пусть имеется физическая замкнутая система, в данный момент она находится в стационарном состоянии A , и есть возможность перехода в другое стационарное состояние B . Тогда существует такой отрезок времени T_0 (адиабатическое время системы), что для любого $T < T_0$ приращение энтропии ΔH в системе не меньше некоторой положительной величины при любом переходе от состояния A к состоянию B за время T . Существует также такая константа C_0 , что $\Delta H|_T \geq C_0/T$ для

$T < T_0$ (размерность C_0 – масса \times длина \times длина / температура).

Если исходить из принципа детерминизма, то в замкнутой системе есть только один сценарий будущего, то есть не могут существовать различные возможности переходов. Поэтому необходимо предположить, что различные возможные действия внутри системы, переводящие ее из состояния A в состояние B , задаются некоторым внешним воздействием (управлением) достаточно малой энергии.

Анализ тенденций мирового развития показывает, что в окончательном виде большинство видов производства сводится к работе с информацией; эту информацию удобнее всего производить и использовать в электронной форме. Иными словами, передвижение и преобразования материи и энергии не только облегчаются использованием информационных технологий, но и заменяются переработкой и передачей информации при минимальных энергетических затратах. Таким образом, нами сделан вывод [11] о том, что информационные услуги становятся универсальным товаром.

Из вышесказанного получаем

Определение 1 [29]. Если малые по затратам энергии воздействия на объект вызывают существенно различные изменения во внутреннем состоянии объекта и большие по затратам энергии действия объекта, то такой объект называется «таасир этилүүчү» объект (для данного выражения нам не удалось подобрать краткий эквивалент на русском языке) или субъект.

Такое целенаправленное, малое по затратам энергии воздействие на субъект называется командой.

Примечание 1. Действия субъекта производятся за счет внутренней энергии субъекта. Энергия поступает в субъект из других источников.

Данное определение объединяет людей и компьютеры.

Определение 2 [29]. Система команд, при помощи которых один субъект может добиваться от другого субъекта желаемых достаточно многообразных действий, называется универсальным языком.

Данное определение объединяет естественные и универсальные алгоритмические языки.

Примечание 2. В качестве первого и второго субъекта в этом определении может выступать один и тот же человек. Например, человек боится, что он может забыть, и на основе своих знаний

в настоящий момент записывает инструкцию и другую необходимую информацию для выполнения какого-либо действия в будущем.

Примечание 3. Возможно также наличие трех и более субъектов, действующих (командующих) как последовательно, так и одновременно. «Команда о команде» наиболее естественно выражается в кыргызском языке, например, глаголы «көрсөттүү», «жүргүздүрүү», «жүктөтүү».

Примечание 4. С точки зрения Определения 1, все предложения в естественном языке являются командами. Для подтверждения этого отметим, что повествовательные предложения фактически используются и понимаются, как «запомните, что ...» (изменение внутреннего состояния субъекта). В алгоритмических языках высокого уровня операторы традиционно подразделяются на «декларации» и «команды». Вместе с тем каждую «декларацию» можно также представить как «команду». Это подтверждается тем, что в языке машинных кодов имеются только «команды».

2. Разнообразие определяемых языком действий и объективный контроль владения языком

Чтобы отличить универсальный язык в смысле Определения 2 от любого набора команд (который можно также называть специализированным языком, используя терминологию программирования), введено условие «достаточно многообразных» действий.

Для алгоритмических языков это требование известно – это эквивалентность одному из языков – Маркова или Тьюринга, или наличие команд ввода, вывода, условного перехода и арифметических действий (хотя бы только сложения).

Для других языков возможны разные трактовки, в том числе

- выполнить рисунок по его описанию [6];
- расставить данные предметы в указанном порядке [17];
- выполнить показанное действие компьютерной мышью на дисплее;
- найти спрятанную вещь в незнакомой обстановке по описанию ее расположения;
- навести бинокль на указанную точку [9];
- выйти в точку на местности, не имеющую отличительных признаков [30].

Приведем примеры. «Язык пчел» – это (по современным научным данным) специализированный язык – указывается только направление и расстояние (аналоговым способом) до цветов с нектаром. «Язык муравьев», как доказано в [30],

имеет элементы универсального – допускает задание целых чисел и их использование для определения точки на местности.

Нами предложено [6], [17], [26] использовать различные виды действий для объективного измерения владения языком с помощью проведения командных соревнований. Такие соревнования проводятся нами в учебных заведениях Кыргызстана, начиная с 1999 года.

3. Независимое представление естественных языков

Данные определения дают возможность осуществить независимое компьютерное представление естественных языков.

Определение 3 [12]. Пусть дано какое-либо «Понятие» («Слово») из языка. Если алгоритм, действуя на компьютере, демонстрирует человеку достаточно большое количество ситуаций; в каждой ситуации дает команду с этим «Словом»; принимает действия человека и наглядно демонстрирует их результаты; определяет, соответствуют ли эти результаты данной команде, то такой алгоритм будем называть компьютерным интерактивным представлением «Понятия».

Как мы показали [5], возможно такое представление не только для реальных понятий, но и для понятий, считавшихся ранее абстрактными.

Сначала предлагается ситуация, в которой возможно только одно естественное действие (и человек его выполнит, даже не понимая команды): «положить (поставить) предмет на место». Далее предлагается набор все усложняющихся ситуаций по принципу «новая ситуация – та же команда» – «та же ситуация – новая команда». Таким образом, сначала вводятся основные глаголы и ряд существительных, потом – прилагательные, различные предлоги (последологи), времена глаголов. С помощью этой методики человек сразу начинает думать на изучаемом языке.

Дальнейший анализ [31] показал, что каждому понятию в уме человека соответствует некоторая математическая модель, формулирующаяся в терминах нечеткой логики [2].

Пример. Глагол «кирүү»-«войти»-«enter» подразумевает объект с «существенной» внутренностью. Если рассматривать движение по плоскости и в качестве объекта – дугу окружности с центральным углом α , то при $\alpha=270^\circ$ любой носитель языка согласится с употреблением этого глагола для команды на передвижение из внешности объекта в его внутренность; при $\alpha=60^\circ$ – не согласится. При этом граничное зна-

чение угла каждый носитель языка будет указывать по-своему.

4. Технические возможности

совершенствования обмена информацией

Мозг человека имеет ограниченное количество каналов связи с внешним миром (нервов), но количество связей внутри мозга очень велико, и насколько известно, могут возникать и новые. В связи с этим выдвигается следующая гипотеза: любые нервы могут быть использованы для обмена информацией (использования языка) с другими субъектами при наличии соответствующего технического устройства и тренировок с обратной связью.

Приведем два примера.

4.1. В настоящее время разработаны различные системы управления с помощью биотоков или движений малой амплитуды. Однако, насколько нам известно, все они связаны с управлением (непрерывными) движениями или виртуальным движением на дисплее, и не существует реально используемых систем ускоренного ввода дискретной информации (в частности ввода и редактирования текстов) с помощью биотоков.

Как видно из [8], было реализовано чтение биотоков головного мозга, однако оборудование оказалось слишком дорогим (полтора миллиона долларов). Полученная система смогла только читать простейшие человеческие мысли типа «направо», «налево», «музыка». И произведенные затраты себя не окупили (по нашему мнению, поскольку получившееся устройство ввода не смогло конкурировать с существующим – компьютерной мышью). И, несмотря на прогнозы, сделанные экспертами в связи с [8], такие системы еще практически не используются.

Нами предложен способ ввода, отличающийся от известных тем, что считывание производится непосредственно в дискретном виде, не с биотоков человеческого мозга, а с мышц рук (что является значительно более дешевым и определенным), и целью является разработка системы для массового использования при наборе текстов. Учитывая, что естественная дискретизация осуществляется с помощью пальцев, и считая, что наиболее эффективным будет взаимное обучение человека и настройка аппаратуры, мы предложили [15] следующее.

- 1) Разработать систему кодировки основных знаков и действий при помощи не более, чем $2^{10} - 1 = 1023$ комбинаций нажатий десяти пальцами.
- 2) Запрограммировать эту систему на десяти кла-

вишах стандартной клавиатуры и написать программу, показывающую, какие клавиши нажаты одновременно. 3) Начать тренировку нескольких человек по этой системе, выяснить скорость работы и удобство кодировки. 4) Изготовить специальную десятипальцевую клавиатуру, где можно будет регулировать чувствительность каждой клавиши, и дублирующую ее систему из десяти датчиков на сгибаемые мышцы пальцев. Известно, что такие десятипальцевые клавиатуры существовали, по крайней мере, с 40-х годов XX века и использовались радистами, забрасываемыми в тыл врага). Разработать ее подключение к компьютерам через стандартные порты. 5) Разработать соответствующую микросхему с небольшой памятью, дающую возможность клавиатуре работать автономно. (Отметим, что такая клавиатура с микросхемой сама по себе уже может представлять коммерческий интерес, например как приставка к сотовым телефонам для набора текста в поездках). 6) В развитие программы в п.2 написать программу, показывающую на дисплее силу и согласованность нажатий (а также – нервных импульсов). 7) Продолжать тренировки: повышать чувствительность клавиатуры; дублировать нажатия показаниями датчиков; переходить на датчики. Параллельно с человеческими тренировками вести отладку коэффициентов порогов чувствительности и согласованности датчиков. 8) Решать вопросы, связанные с индивидуальной настройкой аппаратуры, в том числе с постепенным увеличением скорости работы. 9) Соединить все в единый комплекс и устроить соревнование с лучшими специалистами компьютерного набора.

Подчеркнем, что такую систему можно использовать вместе с обычной клавиатурой и компьютерной мышью.

В результате предполагается получить приставку к компьютеру стоимостью несколько сот долларов при массовом производстве, такую, чтобы пользователь мог за неделю научиться печатать со скоростью 400 – 500 знаков в минуту.

4.2. Существует (очень дорогое) устройство, отображающее поле зрения на язык (для слепых). Известно, что распознавание цветов радуги в человеческом глазу несовершенно: каждый луч света разлагается всего по трем составляющим: красный, зеленый, фиолетовый. Таким образом, человек принципиально не может отличить, например, смесь желтого и синего цветов от зеленого цвета. В связи с этим предлагается изготовить недорогое устройство, которое будет отображать

спектр луча света на какую-либо полосу на коже человека. Оно будет дополнять зрение, а для слепых – (вместе с приемом сканирования) заменять зрение.

Автор благодарит Президиум НАН КР за поддержку исследований, изложенных в третьем разделе, и своих соавторов и учеников за участие в реализации методик, описанных во втором и третьих разделах.

Литература

1. Asher J. The strategy of total physical response: An application to learning Russian // International Review of Applied Linguistics, 1965, no. 3.
2. Zadeh L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information Sciences, 1975, Vol. 8, pp. 199 – 249, 301–357; Vol. 9, pp. 43 – 80.
3. Панков П.С. Обучающая и контролирующая программа по словосизменению в кыргызском языке на ПЭВМ. – Бишкек: Мектеп, 1992. – 20 с.
4. Pankov P.S., Aidaraliyeva J.Sh., Lopatkin V.S. Active English on computer // Conference «Improving Content and Approach in the Teaching of English Language in the Context of Educational Reform», Bishkek, 1996. – Pp. 25 – 27.
5. Борубаев А.А., Панков П.С. Компьютерное представление кинематических топологических пространств. – Бишкек: КГНУ, 1999. – 131 с.
6. Панков П.С., Джаналиева Ж.Р., Кудайбергенова Д.К., Байсалова С.Дж. Организация командного языкового конкурса по методике информационно-графических преобразований // Управление и аудит качества образования в современном университете: материалы международного научно-практического семинара. – Бишкек: МУК, 1999. – С. 114 – 125.
7. Панков П.С. Информационно-действенные преобразования для компьютерного обучения и тестирования // Образование и наука в меняющемся мире: Материалы Международной конференции. – Бишкек: Илим, (с) Фонд «Сорос-Кыргызстан», 2001. – С. 304 – 314.
8. Mitchener B. Disabled Could Be Liberated By Brain-Wave Technology; Good Concentration Required // Wall Street Journal, March 14, 2001.
9. Панков П.С., Орузбаева Б.О. Проект: компьютеризация государственного языка в Кыргызстане // Информационные и коммуникационные технологии для развития: Материалы перво-

- го национального саммита. – Бишкек, 2001. – С. 156 – 159.
10. Pankov P.S. Report «Experience and Proposals on Objective Estimation of Quality of Military Translators' Work» at the NATO Advanced Networking Workshop «National Research and Education Networks: Development and Sustainability». – V. – Bulan-Sogottu, 2001.
 11. Бекболотов Т.Б., Панков П.С. Развитие информационной экономики и вузы Кыргызстана // Кут Билим, 2003. – № 33.
 12. Панков П.С., Жураев М. Кыргыз тилин компьютерлештирүүнүн проблемалары // Ж. Баласагын атындагы Кыргыз Улуттук университетинин жарчысы: Серия 1. Гуманитардык илимдер. Чыгарылышы 3. Филология. Тил илими. Мамлекеттик тил. – 2004. – 227 – 232 б.
 13. Панков П.С. Применение методики «Drag-and-Drop» для изучения и контроля знаний языков // Международный семинар «Вычислительные методы и решение оптимизационных задач»: Материалы семинара. – Новосибирск: РИЦ Прайс Курьер, 2004. – С. 138 – 141.
 14. Pankov P.S., Alimbay E. Virtual Environment for Interactive Learning Languages. – In: Human Language Technologies as a Challenge for Computer Science and Linguistics: Proceedings of 2nd Language and Technology Conference, Poznan, Poland, 2005. – Pp. 357 – 360.
 15. Панков П.С. Проект автоматизации ввода дискретной информации с помощью биотоков, считываемых с мышц человеческих рук // Проблемы автоматизации и управления: Научно-технический журнал / НАН КР. – Бишкек: Илим, 2005. – С. 125 – 127.
 16. Pankov P.S., Alaeva S.A., Kutsenko V.A. Algorithmic Interactive Presentation of Notions // «Speech and Computer»: Proceedings of the 11th International Conference. – St. Petersburg: Anatolya Publishers, 2006. – Pp. 478 – 480.
 17. Pankov P.S. Necessarily-Collective Computer Competitions for Schoolchildren // Information Technologies at Schools: Proceedings of the Second International Conference on Informatics in Secondary Schools «Evolution and Perspectives», 2006, Vilnius, Lithuania. – Pp. 585–588.
 18. Pankov P.S., Dolmatova P.S. Algorithmical Language for Computer-Based Presentation of Notions // 4th International Conference on Electronics and Computer. – Almaty: Suleyman Demirel University, 2007. – Pp. 274 – 279.
 19. Панков П.С., Долматова П.С. Построение дифференциальных уравнений для гибкого управления объектами с помощью компьютерной мыши // Исследования по интегрированным дифференциальным уравнениям, вып. 37. – Бишкек: Илим, 2007. – С. 18 – 23.
 20. Pankov P., Dolmatova P. Software for Complex Examination on Natural Languages // Human Language Technologies as a Challenge for Computer Science and Linguistics: Proceedings of 4th Language and Technology Conference, 2009, Poznan, Poland. – P. 502 – 506.
 21. Панков П.С., Долматова П.С. Геометрические проблемы интерактивного компьютерного представления понятий естественных языков // Актуальные проблемы теории управления, топологии и операторных уравнений: Материалы юбилейной научной конференции, посвященной 15-летию образования КРСУ. – Бишкек, 2008. – С. 113 – 115.
 22. Панков П.С., Жураев М., Баячорова Б.Ж., Долматова П.С., Иманалиева А.У. «Кыргыз тили боюнча электрондук окуулук жана расмий экзамен үчүн программалык жабдууну жасоо» долбоорун аткаруу боюнча арадагы отчет. – Бишкек: КР ИУА Теориялык жана колдонмо математика институту, 2008.
 23. Панков П.С., Баячорова Б.Ж. Кыргыз тилин негиздерин компьютерде көз карандысыз көрсөтүү // Известия Ошского технологического университета, 2008. – № 1. – С. 268 – 272.
 24. Панков П., Жураев М. Кыргыз тили боюнча электрондук расмий сынак үчүн жабдууну жасоо // Проблемы профессионального образования и социально-экономического развития Кыргызстана: материалы межвузовской научно-практической конференции. – Бишкек: Международная академия управления, права, финансов и бизнеса, 2009. – С. 14 – 18.
 25. Bayachorova B.J., Pankov P. Independent Computer Presentation of a Natural Language // Varia Informatica. – Lublin: Polish Information Processing Society, 2009. – Pp. 73 – 84.
 26. Панков П.С. Компьютерные и интерактивные методы в объективной оценке знаний языков // Современные методы оценки уровня владения языками народов государств-членов ЕвразЭС: материалы международного научно-методического семинара. – Алматы: Казахский университет международных отношений и мировых языков имени Абылай-хана, 2009. – С. 49–51.

27. Панков П.С., Баячорова Б.Ж. Кыргыз тилин негиздерин компьютерде көз карандысыз көрсөтүү // Ж. Баласагын атындагы Кыргыз Улуттук университетинин жарчысы: Серия 3. Табигый-техникалык илимдер. Чыгарылышы 4(8). Математика. Информатика. Кибернетика. – Бишкек: КУУ, 2009. – 73 – 84 б.
28. Панков П.С. Адиабатические показатели замкнутых систем // Вестник КНУ им. Ж.Баласагына. Серия 3. Естественно-технические науки. Физика и физическое образование, 2003. – С. 146–147.
29. Панков П., Баячорова Б., Жураев М. Кыргыз тилин компьютерде чагылдыруу. – Бишкек: Тугар, 2010. – 172 б.
30. Reznikova Zh., Ryabko B. Numerical competence in animals, with an insight from ants // Behaviour. 2011. – V. 148. No. 4. – P. 405 – 434.
31. Pankov P.S., Bayachorova B.J., Juraev M. Mathematical models for independent computer presentation of Turkic languages. In: Book of abstracts, IV Congress of the Turkic world Mathematical Society. – Baku, 2011. – P. 479.

УДК 639.3

Определение функций перемещения по элементам тензора Коши

Т.Б.ДУЙШЕНАЛИЕВ – доктор физико-математических наук

Vector field can be determined by its divergence and curl. This field can be represented as the sum of an irrotational field and a solenoidal field (Theorem Helmholtz decomposition). The search for such field leads to the solution of differential equations in partial derivatives for certain boundary conditions. There is another problem often. For example, the solution of the static boundary value problem in stress field gives the stress tensor, from which we can define the field tensor of the linear Cauchy problem. Then there is the problem of finding a field variable absorption, the corresponding tensor. This work is devoted to this problem.

Пусть в области V с границей S известен только тензор Коши

$$\varepsilon_{ij}(x_1, x_2, x_3), \quad x_i \in V, \quad (1)$$

где функции и их частные производные первого и второго порядка непрерывны. Определим функции u_i на основе этого тензора.

Дифференциал функций u_i напомним в виде

$$du_i = u_{i,j} dx_j = (\varepsilon_{ij} + \omega_{ij}) dx_j, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$ (3)

$$\omega_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} - u_{j,i}). \quad (4)$$

Легко проверить, что функции $\omega_{ij,k}$, удовлетворяют уравнениям

$$\omega_{ij,k} = \varepsilon_{ki,j} - \varepsilon_{kj,i}. \quad (5)$$

Следуя Чезаро, проинтегрируем выражение (2) по линии λ , лежащей в области V :

$$u_i(x_1, x_2, x_3) = u_i(x_1^0, x_2^0, x_3^0) + \int (\varepsilon_{ij} + \omega_{ij}) dy_j. \quad (6)$$

Уравнение (6) представимо в виде:

$$u_i(x_1, x_2, x_3) = u_i(x_1^0, x_2^0, x_3^0) + \int \varepsilon_{ik} dy_k - \omega_{ij} d(x_j - y_j).$$

Интегрирование по частям приводит это уравнение к виду:

$$u_i(x_1, x_2, x_3) = u_i(x_1^0, x_2^0, x_3^0) + \omega_{ij}(x_1^0, x_2^0, x_3^0)(x_j - x_j^0) + \int (\varepsilon_{ik} + (x_j - y_j)\omega_{ij,k}) dy_k.$$

Пользуясь соотношением (5), представим это выражение в виде

$$u_i(x_1, x_2, x_3) = u_i(x_1^0, x_2^0, x_3^0) + \omega_{ij}(x_1^0, x_2^0, x_3^0)(x_j - x_j^0) + \int (\varepsilon_{ik} + (x_j - y_j)(\varepsilon_{ki,j} - \varepsilon_{kj,i})) dy_k. \quad (7)$$

Здесь неизвестно является ли подынтегральное выражение полным дифференциалом или нет. Если оно не полный дифференциал, то, идя к точке (x_1^0, x_2^0, x_3^0) по разным линиям, получим разные величины функции (6). Для однозначности функции (7) подынтегральное выражение

$$(\varepsilon_{ik} + (x_j - y_j)(\varepsilon_{ki,j} - \varepsilon_{kj,i})) dy_k \quad (8)$$

должно быть полным дифференциалом. Если выражение (8) полный дифференциал, то криволинейный интеграл по любой замкнутой линии λ равен нулю:

$$\oint (\varepsilon_{ik} + (x_j - y_j)(\varepsilon_{ki,j} - \varepsilon_{kj,i})) dy_k = 0.$$

Пусть замкнутая линия λ является контуром некоторой поверхности s , лежащей в области V . Тогда по формуле Стокса

$$\oint (\varepsilon_{ik} + (x_j - y_j)(\varepsilon_{ki,j} - \varepsilon_{kj,i})) dy_k = \iint_s \text{rot}((\varepsilon_{ik} + (x_j - y_j)(\varepsilon_{ki,j} - \varepsilon_{kj,i})) e_k) \cdot n ds = 0,$$

где e_k – орты прямоугольной координатной системы, n – нормаль к поверхности s .

Для того чтобы интеграл по поверхности был равен нулю при любом выборе поверхности s , необходимо

$$\text{rot}((\varepsilon_{ik} + (x_j - y_j)(\varepsilon_{ki,j} - \varepsilon_{kj,i})) e_k) = 0, \quad x_i \in V.$$

Это выражение представимо в виде:

– тензор Леви-Чивиты.

Выполним дифференцирование:

$$\partial_{ijk}(\varepsilon_{pk,j} - \varepsilon_{jt}(\varepsilon_{kp,t} - \varepsilon_{kt,p}) + (x_t - y_t)(\varepsilon_{kp,tj} - \varepsilon_{kt,pj})) = \partial_{ijk}(\varepsilon_{pk,j} - (\varepsilon_{kp,t} - \varepsilon_{kt,p}) + (x_t - y_t)(\varepsilon_{kp,tj} - \varepsilon_{kt,pj})) = 0$$

Это выражение из-за симметрии тензора Коши () и свойства тензора Леви-Чивиты при перестановке индексов

$$\partial_{ijk} \varepsilon_{kj,p} = 0, \quad \varepsilon_{pk,j} - \varepsilon_{kp,j} = 0,$$

превратится в следующее уравнение

$$(x_t - y_t) \partial_{ijk}(\varepsilon_{kp,tj} - \varepsilon_{kt,pj}) = 0.$$

Для того чтобы это уравнение удовлетворялось при произвольных величинах x_i, y_i , принадлежащих области V , необходимо

$$\partial_{ijk}(\varepsilon_{kp,tj} - \varepsilon_{kt,pj}) = 0 \quad (9)$$

Здесь 81 уравнение (три свободных индекса), из которых только 6 независимы. Это те уравнения, которые известны как уравнения сплошности (или совместности деформации). Пусть ε_{ij} удовлетворяют уравнениям (9), тогда уравнение (7) можно написать в виде

$$u_i(x_1, x_2, x_3) = u_i(x_1^0, x_2^0, x_3^0) + \omega_{ij}(x_1^0, x_2^0, x_3^0)(x_j - x_j^0) + \int_{(x_1^0, x_2^0, x_3^0)}^{(x_1, x_2, x_3)} (\varepsilon_{ik} - (x_j - y_j)(\varepsilon_{ki,j} - \varepsilon_{kj,i})) dy_k. \quad (10)$$

Таким образом, если подынтегральное выражение (8) удовлетворяет уравнениям (9), то интеграл в уравнении (10) не зависит от линии, соединяющей точки (x_1^0, x_2^0, x_3^0) и (x_1, x_2, x_3) . В качестве этой линии проще всего взять прямую, проходящую через точки

$$g_i(x_1, x_2, x_3) = \int_{(x_1^0, x_2^0, x_3^0)}^{(x_1, x_2, x_3)} (\varepsilon_{ik} + (x_j - y_j)(\varepsilon_{ki,j} - \varepsilon_{kj,i})) dy_k, \quad (11)$$

напишем уравнение (10) в виде:

$$u_i(x_1, x_2, x_3) = u_i(x_1^0, x_2^0, x_3^0) + \omega_{ij}(x_1^0, x_2^0, x_3^0)(x_j - x_j^0) + g_i(x_1, x_2, x_3). \quad (12)$$

Вычисление интеграла (11) вручную весьма трудоемко. Система MathCad успешно проводит такое вычисление. Ниже приведена программа для определения вектора g_i из тензора ε_{ij} (далее будут использованы символы, применяемые в системе MathCad). Программа сначала проверяет, удовлетворяет ли заданный тензор ниже приведенным уравнениям совместности деформаций:

$$\frac{d^2}{da_2^2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,1} + \frac{d^2}{da_1^2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,2} = 2 \frac{d}{da_1} \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,2}$$

$$\frac{d^2}{da_3^2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,2} + \frac{d^2}{da_2^2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,3} = 2 \frac{d}{da_2} \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,3}$$

$$\frac{d^2}{da_1^2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,3} + \frac{d^2}{da_3^2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,1} = 2 \frac{d}{da_3} \frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,1}$$

$$\frac{d}{da_1} \left(\frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,3} + \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,1} + \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,2} \right) = \frac{d}{da_2} \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,1}$$

$$\frac{d}{da_2} \left(\frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,3} - \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,1} + \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,2} \right) = \frac{d}{da_3} \frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,2}$$

$$\frac{d}{da_3} \left(\frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,3} + \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,1} - \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,2} \right) = \frac{d}{da_1} \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,3}$$

Если эти равенства истинны, то сделаем следующие обозначения:

$$px_1(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) := \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,1} + (x_2 - a_2) \left(\frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,1} - \frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,2} \right) \dots$$

$$+ (x_3 - a_3) \left(\frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,1} - \frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,3} \right)$$

$$px_2(x, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) := \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,2} + (x_2 - a_2) \left(\frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,1} - \frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,2} \right) \dots$$

$$+ (x_3 - a_3) \left(\frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,1} - \frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,3} \right)$$

$$\begin{aligned}
px_3(x, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) &:= \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,3} + (x_2 - a_2) \left(\frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,1} - \frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,2} \right) \dots \\
&\quad + (x_3 - a_3) \left(\frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,1} - \frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,3} \right) \\
qx_1(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) &:= \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,1} + (x_1 - a_1) \left(\frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,2} - \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,1} \right) \dots \\
&\quad + (x_3 - a_3) \left(\frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,2} - \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,3} \right) \\
qx_2(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) &:= \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,2} + (x_1 - a_1) \left(\frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,2} - \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,1} \right) \dots \\
&\quad + (x_3 - a_3) \left(\frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,2} - \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,3} \right) \\
qx_3(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) &:= \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,3} + (x_1 - a_1) \left(\frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,2} - \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,1} \right) \dots \\
&\quad + (x_3 - a_3) \left(\frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,2} - \frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,3} \right) \\
rx_1(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) &:= \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,1} + (x_1 - a_1) \left(\frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,3} - \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,1} \right) \dots \\
&\quad + (x_2 - a_2) \left(\frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,3} - \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{1,2} \right) \\
rx_2(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) &:= \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,2} + (x_1 - a_1) \left(\frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,3} - \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,1} \right) \dots \\
&\quad + (x_2 - a_2) \left(\frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,3} - \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{2,2} \right) \\
rx_3(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) &:= \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,3} + (x_1 - a_1) \left(\frac{d}{da_1} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,3} - \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,1} \right) \dots \\
&\quad + (x_2 - a_2) \left(\frac{d}{da_2} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,3} - \frac{d}{da_3} \varepsilon(a_1, a_2, a_3)_{3,2} \right)
\end{aligned}$$

Обозначим радиус-вектор

$$r := \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}.$$

Параметрическое уравнение прямой линии, проходящей через точки

$$a_1 = \frac{x_1}{r}t, \quad a_2 = \frac{x_2}{r}t, \quad a_3 = \frac{x_3}{r}t, \quad 0 \leq t \leq r.$$

Вектор (11) в сделанных выше обозначениях

$$\begin{aligned}
g(x_1, x_2, x_3) &:= \int_0^r \left(px_1(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) \frac{x_1}{r} + px_2(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) \frac{x_2}{r} + px_3(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) \frac{x_3}{r} \right) dt \\
&\quad \int_0^r \left(qx_1(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) \frac{x_1}{r} + qx_2(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) \frac{x_2}{r} + qx_3(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) \frac{x_3}{r} \right) dt \\
&\quad \int_0^r \left(rx_1(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) \frac{x_1}{r} + rx_2(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) \frac{x_2}{r} + rx_3(x_1, x_2, x_3, a_1, a_2, a_3) \frac{x_3}{r} \right) dt
\end{aligned}$$

Системе MathCad удастся провести это символическое интегрирование.

К примеру, зададимся тензором (3) в виде:

$$\varepsilon(a_1, a_2, a_3) := \begin{pmatrix} 9a_1^8 a_2^7 - 2a_1 a_3^2 & \frac{7}{2} a_1^9 a_2^6 + 2a_1^3 a_3^7 \dots & -a_1^2 a_3 + \frac{5}{2} a_3^4 \dots \\ & + \frac{1}{2} a_3 & + \frac{5}{2} a_1^4 a_2^3 a_3 \\ \frac{7}{2} a_1^9 a_2^6 + 2a_1^3 a_3^7 \dots & -4a_2^3 a_3^3 & \frac{3}{2} a_1^5 a_2^2 a_3 + 2a_2^3 a_3^2 \dots \\ + \frac{1}{2} a_3 & & + \frac{7}{2} a_1^4 a_3^6 - \frac{3}{2} a_2^4 a_3^2 + \frac{1}{2} a_1 \\ -a_1^2 a_3 + \frac{5}{2} a_3^4 \dots & \frac{3}{2} a_1^5 a_2^2 a_3 + 2a_2^3 a_3^2 \dots & a_1^5 a_2^3 + 2a_2^4 a_3 - 8a_3^7 \\ + \frac{5}{2} a_1^4 a_2^3 a_3 & + \frac{7}{2} a_1^4 a_3^6 - \frac{3}{2} a_2^4 a_3^2 + \frac{1}{2} a_1 & \end{pmatrix}$$

Приведенная выше программа сначала проверяет удовлетворенность уравнений совместности деформации, затем, проводя дальнейшие вычисления, определяет вектор перемещения:

$$g(x_1, x_2, x_3) := \begin{pmatrix} x_3^5 - x_1^2 x_3^2 + x_1^9 x_2^7 \\ x_1^4 x_3^7 - x_2^4 x_3^3 + x_3^5 x_1 \\ -x_3^8 + x_2^4 x_3^2 + x_3^5 x_1^5 x_2^3 \end{pmatrix}.$$

Остается подставить это в выражение (12), что дает поле перемещения с точностью до постоянного вектора и постоянного антисимметричного тензора, которые являются произвольными постоянными интегрирования.

Определение тензора из найденных функций приводит к тензору, иначе говоря, к исходному тензору. К такому же выводу приводят и использования любых других исходных тензоров (разумеется, таких, при которых система MathCad в состоянии проводить вычисления). Таким образом, линейный тензор Коши определяет поле перемещений. Если поле перемещения установлено, то можно определить все, что оно создает. В этом смысле тензор является полной характеристикой напряженного и деформированного состояний.

Литература

1. Жакыпбек А.Б., Дуйшеналиев Т.Б. Новое воззрение на некоторые основы механики деформируемого тела. – Бишкек, 1999. – С.19–21.

УДК 537. 527

Численное исследование электрической дуги во внешнем поперечном магнитном поле

Т.Э. УРУСОВА – док. физ.-мат. наук ИФТПМ НАН КР
И.Р. УРУСОВА – преп. ИЦППК при КНУ им.Ж. Баласагына

Введение. Электрическая дуга находит широкое применение в различных технологических процессах [1–3], и в целях их оптимизации необходимы дальнейшие исследования дуговой плазмы. Наряду с экспериментальными методами исследования, большое значение имеют теоретические методы, в частности вычислительный эксперимент. Широко используемые аналитические, одно- и двумерные математические модели [4, 5] позволили существенно расширить и углубить знания о физике электродуговых процессов. Вместе с тем во многих электродуговых установках имеют место быстротекающие процессы, не обладающие осевой симметрией, например процессы в дуговом разряде во внешнем магнитном поле [6]. В этой связи развитие нестационарной трехмерной математической модели электрической дуги является актуальной задачей. В настоящей работе представлены результаты тестирования нестационарной трехмерной математической модели [7] на примере расчета электрической дуги, горящей во внешнем однородном поперечном магнитном поле.

Постановка задачи и математическая модель. Рассчитывается открытая электрическая дуга в аргоне атмосферного давления во внешнем поперечном магнитном поле. Параметры задачи

приняты близкими к условиям эксперимента [8]: стержневой графитовый катод радиусом $R_c = 3,5$ мм, сила тока $I = 317$ А, длина дуги $L = 20$ мм, внешнее магнитное поле величиной $H_{ext} = 1,3$ кА/м в направлении, обратном оси z (рис. 1).

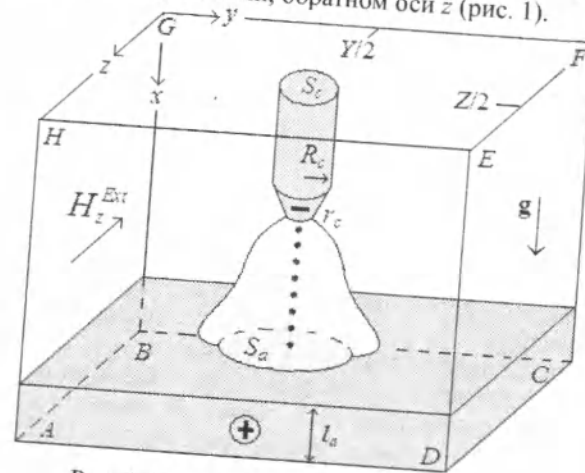


Рис. 1. Схема расчетной области дуги; ... – центральная ось.

Радиус катодной привязки определялся приближенно по фотографии дуги (рис. 2) и принят равным $r_c = 2$ мм. В работе [8] не указана толщина графитового анода, и в расчетах этот параметр за-

давался произвольно $l_a = 5$ мм. Размеры и положение анодного пятна привязки дуги определяются непосредственно в процессе численного счета из следующего условия: вблизи поверхности анода на расстоянии сеточного шага Δx поперечное сечение, в котором выполняется условие $T_e > T_e^{min}$, приравнивается размеру и положению анодного пятна.

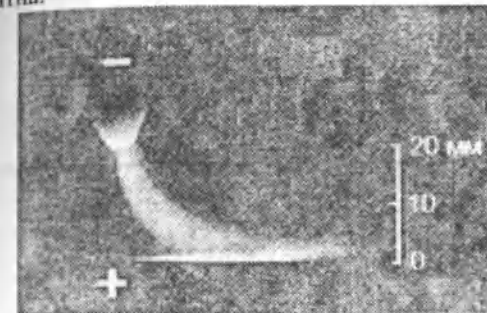


Рис. 2. Фотография дуги [8] с графитовыми электродами во внешнем поперечном магнитном поле $H_{ext} = 1,3$ кА/м, $I = 317$ А, $L = 20$ мм.

В декартовых координатах x, y, z система нестационарных трехмерных уравнений имеет следующий вид:

уравнение неразрывности газа

$$\partial \rho / \partial t + \text{div}(\rho \mathbf{U}) = 0; \quad (1)$$

уравнение неразрывности электронного газа

$$\partial N_e / \partial t + \text{div}[N_e(\mathbf{U} + \mathbf{U}_a + \mathbf{U}_i + \mathbf{U}_s)] = R_e \quad (2)$$

уравнение баланса энергии электронного газа

$$\partial(2,5kT_e + U_e)N_e / \partial t + \text{div}[N_e(\mathbf{U} + \mathbf{U}_a + \mathbf{U}_i + \mathbf{U}_s)(2,5kT_e + U_e)] = \text{div}(\lambda \text{grad} T_e) + \mathbf{j}^2 / \sigma - \psi - B(T_e - T) \quad (3)$$

уравнение баланса энергии тяжелых частиц

$$\partial \rho T / \partial t + \text{div}(\rho \mathbf{U} T) = [\text{div}(\lambda \text{grad} T) + B(T_e - T)] / (2,5k/m) \quad (4)$$

уравнения движения газа в направлениях осей x, y, z соответственно:

$$\partial \rho u / \partial t + \text{div}(\rho \mathbf{U} u) = \text{div}(\mu \text{grad} u) - \partial P / \partial x + \mu_0(\mathbf{j} \times \mathbf{H})_x + s_x + (\rho - \rho_s)g_x; \quad (5)$$

$$\partial \rho v / \partial t + \text{div}(\rho \mathbf{U} v) = \text{div}(\mu \text{grad} v) - \partial P / \partial y + \mu_0(\mathbf{j} \times \mathbf{H})_y + s_y; \quad (6)$$

$$\partial \rho w / \partial t + \text{div}(\rho \mathbf{U} w) = \text{div}(\mu \text{grad} w) - \partial P / \partial z + \mu_0(\mathbf{j} \times \mathbf{H})_z + s_z; \quad (7)$$

уравнения Максвелла:

$$\text{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j}, \text{rot} \mathbf{E} = 0, \text{div} \mathbf{H} = 0; \quad (8)$$

обобщенный закон Ома

$$\mathbf{E} + \mu_0(\mathbf{U} \times \mathbf{H}) = \mathbf{j} / \sigma + (\mu_0 \mathbf{j} \times \mathbf{H} - \text{grad} P_e) / q_e N_e; \quad (9)$$

закон Дальтона:

$$P/kT = N_i + N_e + N_s T_e / T. \quad (10)$$

Принято, что электродуговая аргонная плазма атмосферного давления является однократно ионизированной, квазинейтральной, течение плазмы ламинарное, дозвуковое, излучение объемное; вязкой диссипацией энергии, а также индукционными токами пренебрегается ввиду их малости. Приэлектродные процессы не рассматриваются.

При записи уравнений использованы следующие обозначения: t – время, $\rho, \lambda, \mu, \sigma, \psi$ – соответственно плотность газа, теплопроводность электронного газа и газа тяжелых частиц, вязкость, электропроводность, излучение; m – масса атома; N_i, N_e, N_s – концентрации ионов, атомов и электронов соответственно. $R_e = N_e K_i (N_e K_i - N_e N_i)$ – скорость генерации электронов, где K_i, K_e – константы ударной ионизации и трехчастичной рекомбинации соответственно; U_i – потенциал ионизации газа; $P_e = N_e k T_e$ – парциальное давление электронов; k – постоянная Больцмана; B – коэффициент энергообмена между электронами и тяжелыми частицами; \mathbf{g} – вектор ускорения свободного падения; $q_e = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл – заряд электрона; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; $\mathbf{U}, \mathbf{E}, \mathbf{j}, \mathbf{H}$ – соответственно векторы скорости, напряженности электрического поля, плотности электрического тока, напряженности магнитного поля; T, T_e – температура тяжелых частиц и электронов, P – давление; u, v, w – соответственно компоненты вектора скорости \mathbf{U} в направлении осей декартовой системы координат x, y, z ; $\mathbf{U}_a, \mathbf{U}_i, \mathbf{U}_s$ – векторы скоростей дрейфа электронов, термо- и амбиполярной диффузии, определяемые по формулам: $\mathbf{U}_a = \mathbf{j} / (q_e N_e)$, $\mathbf{U}_i = -0,5 / T_e D_a \text{grad} T_e$, $\mathbf{U}_s = -D_a / N_e \text{grad} N_e$, где D_a – коэффициент амбиполярной диффузии; s_x, s_y, s_z – дополнительные к $\text{div}(\mu \text{grad} u)$, $\text{div}(\mu \text{grad} v)$, $\text{div}(\mu \text{grad} w)$ вязкие слагаемые.

Электромагнитная часть задачи решается в переменных $(\phi - \mathbf{A})$, где ϕ – скалярный потенциал электрического поля $\mathbf{E} = -\text{grad} \phi$; $\mathbf{A}(A_x, A_y, A_z)$ – векторный потенциал магнитного поля, связанный с \mathbf{H} соотношением $\text{rot} \mathbf{A} = \mathbf{H}$.

Коэффициенты переноса и теплофизические свойства неравновесной аргонной плазмы рассчитываются в соответствии с методикой [5].

Температуры T неплавящихся катода и анода определяются из уравнения теплопроводности

$$\partial \rho c T / \partial t = \text{div}(\lambda \text{grad} T) + \mathbf{j}^2 / \sigma; \quad (11)$$

Таблица 1

Граничные условия	
Граница	Переменная
$AHED, DEFC, BGFC, AHGB$	$N_e = N_e^{min}, T_e = T_e^{min}, \partial T / \partial n = 0;$ $\partial U / \partial n = 0; \partial P / \partial n = 0; \partial \phi / \partial n = 0; \partial A / \partial n = 0;$
$HGFE$	$N_e = N_e^{min}, T_e = T_e^{min}, \partial T / \partial x = 0;$ $\partial U / \partial x = 0; P = P_0; \partial \phi / \partial x = 0; \partial A / \partial x = 0;$
S_c	$N_e = N_e^{min}, T_e = T_e^{min}, T = T^0, U = 0; P = P_0; \phi_1 = \frac{I \cdot \Delta x + \int_0^Z \int_0^Y \sigma^{1,2} \varphi_2 dy dz}{\int_0^Z \int_0^Y \sigma^{1,2} dy dz}; \partial A / \partial x = 0;$
$ABCD$	$N_e = N_e^{min}, T_e = T_e^{min}, T = T^0, U = 0; P = P_0;$ $\phi_N = \frac{I \cdot \Delta x - \int_0^Z \int_0^Y \sigma^{N-1,N} \varphi_{N-1} dy dz}{\int_0^Z \int_0^Y \sigma^{N-1,N} dy dz}; \partial A / \partial x = 0;$

где ρ, c, λ, σ – плотность, удельная теплоемкость, теплопроводность и электропроводность материала электродов.

Граничные и начальные условия. На боковых вертикальных границах $AHED, DEFC, BGFC, AHGB$ (см. рис. 1) ставятся условия гладкого сопряжения ($\partial/\partial n = 0$, где n – нормаль к поверхности) рассчитываемых характеристик с окружающей средой, а границы располагаются от столба дуги на достаточном удалении, обеспечивающем выполнение указанных условий; течение электрического тока отсутствует. Значения температуры и концентрации электронов для неионизованного газа приняты равными $T_e = T_e^{min} = 3,5$ кК, $N_e = N_e^{min} = 10^{18} \text{ м}^{-3}$. Компоненты векторного потенциала магнитного поля, строго говоря, следует определять через тройной интеграл по закону Био-Савара-Лапласа, но вычисление этим способом даже только на границах расчетной области потребует чрезмерно много компьютерного времени счета. В этой связи используются условия $\partial A/\partial n = 0$, которые, как показали результаты тестовых расчетов, обеспечивают получение корректных результатов.

На горизонтальной границе анода $ABCD$ для температуры и концентрации электронов задается $T_e = T_e^{min}, N_e = N_e^{min}$, температура охлаждаемого анода полагается равной $T = T^0 = 300$ К. Скорость газа равна нулю, давление равно $P = P_0$, компоненты векторного потенциала A определяются из условия $\partial A/\partial x = 0$. Значение ϕ определяется из

условия протекания электрического тока I по нормали к поверхности.

На горизонтальной границе $HGFE$, за исключением внешней токоведущей поверхности катода S_c , ставятся условия гладкого сопряжения рассчитываемых характеристик с окружающей средой, течение тока отсутствует. Значения температуры и концентрации электронов для холодного неионизованного газа полагается равными $T_e = T_e^{min}, N_e = N_e^{min}$; температура торцевой поверхности S_c катода равна $T = T^0$. При расчете потенциала электрического поля ϕ принято, что на токоведущей поверхности катода S_c электрический ток величиной I течет по нормали к поверхности.

Граничные условия приведены в табл. 1. Поясним, что в формулах для вычисления потенциала электрического поля ϕ индексы 1, 2, $N-1, N$ означают нумерацию сеточных линий в аксиальном направлении, $\sigma^{1,2}$ и $\sigma^{N-1,N}$ – соответственно электропроводность на грани контрольного объема между линиями 1 и 2, $N-1$ и N .

При постановке начальных условий необходимо отметить, что используемая в настоящей работе математическая модель не может рассчитать физические процессы непосредственно с момента зажигания дуги, и по этой причине промежуток времени Δt , в течение которого между электродами формируется высокотемпературный токопроводящий канал, не входит в вычислительный процесс. Как показывают эксперименты [1], продолжительность Δt может составлять

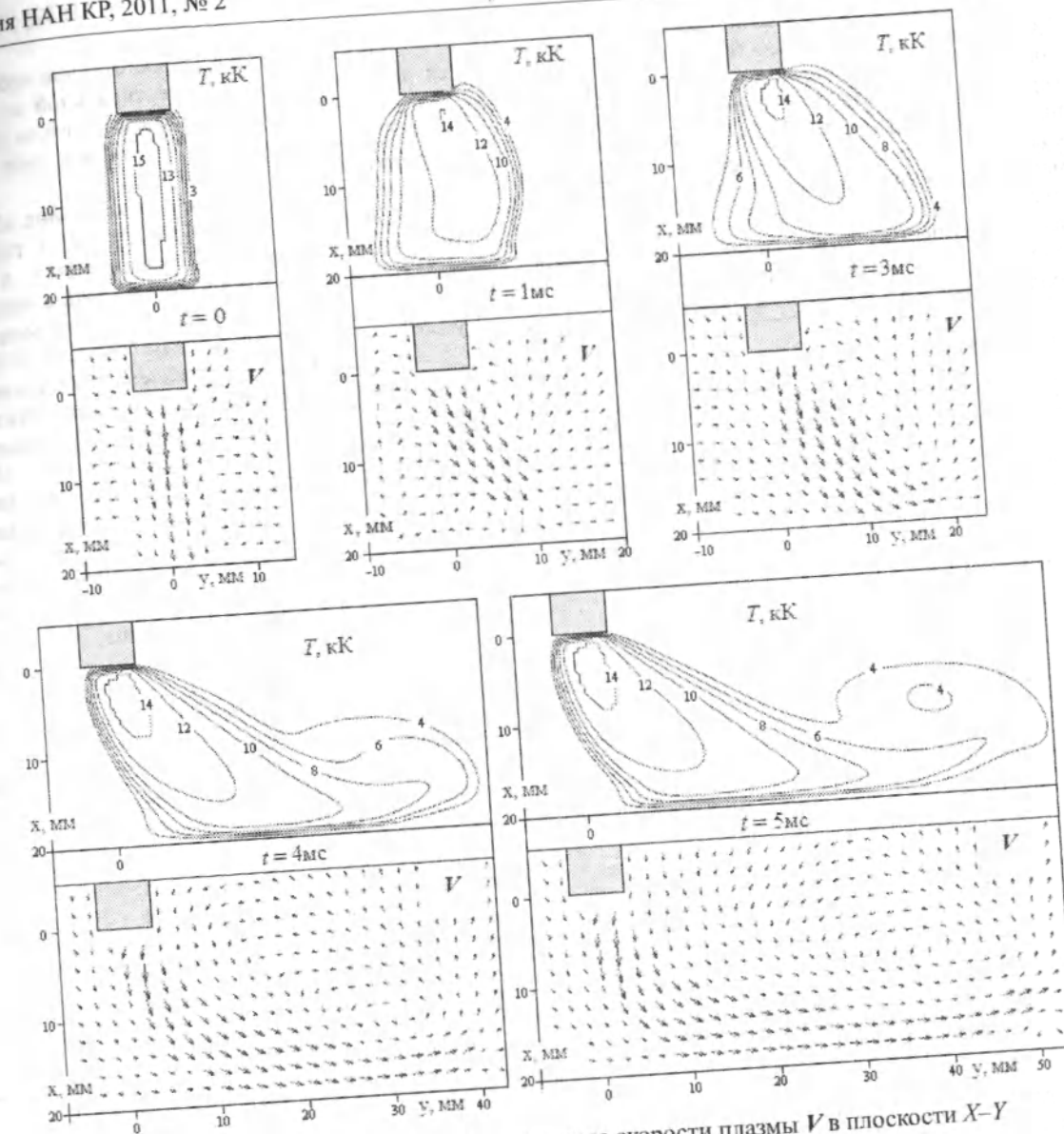


Рис. 3. Поле температуры T и векторное поле скорости плазмы V в плоскости $X-Y$ для различных моментов времени t .

до нескольких десятков микросекунд при токах в несколько сотен ампер. С учетом сказанного, в вычислительном алгоритме принято, что между электродами существует токопроводящая высокотемпературная ($T = 9$ кК) зона в форме цилиндра радиусом r_c с неподвижным газом. В течение первых $\Delta t = 50 - 70$ мкс при значениях временного шага $\tau \approx 10^{-6}$ с и погрешности $\varepsilon = 10^{-3} - 10^{-2}$ формируются распределения рассчитываемых переменных, и только после этого начинается отсчет

реального времени. Заданные таким образом начальные условия вполне реалистичны и позволяют проследить, по крайней мере, качественную эволюцию характеристик дуги до выхода на стационарный режим.

Вычисления проводятся на сетке с постоянным шагом $\Delta = 0,5$ мм, размеры расчетной области в направлениях осей x, y, z (см. рис. 1) составляют 35, 90 и 40 мм соответственно, значение временного шага полагалось равным $\tau = 10^{-4}$ с.

Обсуждение результатов расчета. На рис. 3, 4 показаны расчетные поля температуры, векторного поля течения плазмы и изолинии скорости в вертикальной плоскости $X-Y$ при $z = Z/2$ в различные моменты времени t . Взаимодействие токопроводящего дугового канала с внешним поперечным магнитным полем порождает пондеромоторную силу $f \sim j \times (H + \dots)$, направленную в данном случае преимущественно вдоль оси y (правило левой руки). В результате происходит смещение токопроводящего канала в том же направлении.

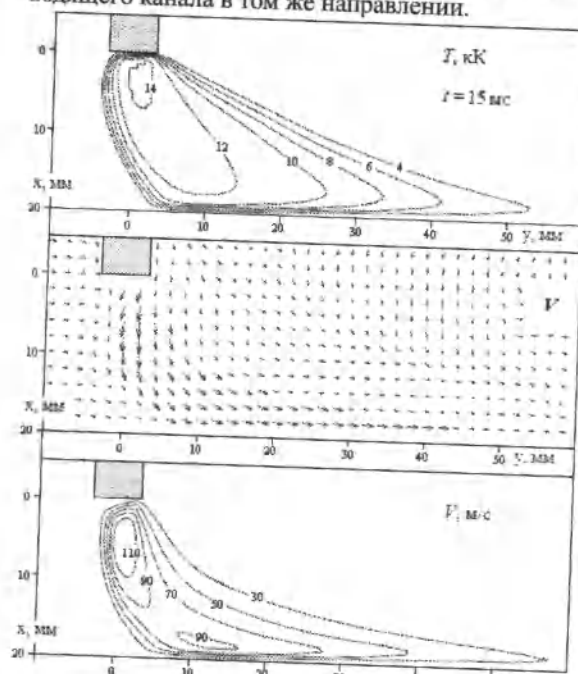


Рис. 4. Поле температуры T , векторное поле скорости плазмы V и изолинии скорости $V = \dots$ в плоскости $X-Y$ после выхода на стационарный режим.

Результаты расчета удовлетворительно согласуются с опытными наблюдениями [8], в которых установлено, что деформация дуги происходит непрерывно и плавно, начиная с катода и заканчиваясь на аноде. Расчетный временной интервал был ограничен $t = 15$ мс, так как после $t \approx 7$ мс характеристики дуги практически уже не менялись. Сравнение с фотографией дуги (см. рис. 2) показывает, что после выхода на стационарный режим горения ($t = 15$ мс) рассчитанное смещение анодного пятна от центральной оси (рис. 4) составляет ≈ 15 мм, что также согласуется с наблюдаемым в действительности смещением.

Вместе с тем некоторое отличие наблюдается по профилю дуги в вертикальной плоскости $X-Y$, а именно – по результатам расчета (см. рис. 4) отсутствует вогнутость профиля дуги справа от центральной оси.

Возможно, указанное расхождение обусловлено различием плазмообразующего газа, используемого в расчете и эксперименте, а также является следствием эрозии графита с поверхности электродов, чего математическая модель не учитывает.

Заключение. Представлена нестационарная трехмерная математическая модель электрической дуги в приближении частичного локального термодинамического равновесия плазмы. Проведено тестирование модели на примере электрической дуги во внешнем поперечном магнитном поле. Результаты расчета удовлетворительно согласуются с данными эксперимента, что свидетельствует о корректности математической модели и методики численного решения.

Литература

1. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. – М.: ИЛ, 1961.
2. Жуков М.Ф., Коротеев А.С., Урюков Б.А. Прикладная динамика термической плазмы. – Новосибирск: Наука, 1975. – 178 с.
3. Чердиченко В.С., Анышаков А.С., Кузьмин М.Г. Плазменные электротехнологические установки. – Новосибирск: НГТУ, 2005. – 508 с.
4. Математическое моделирование электрической дуги / Под ред. Энгельшта В.С. – Фрунзе: Илим, 1983. – 363 с.
5. Энгельшт В.С., Гурович В.Ц., Десятков Г.А. и др. Низкотемпературная плазма. Т. 1. Теория столба электрической дуги. – Новосибирск: Наука, 1990. – 374 с.
6. Лебедев А.Д., Урюков Б.А., Энгельшт В.С. и др. Низкотемпературная плазма. Т. 7. Сильноточный дуговой разряд в магнитном поле. – Новосибирск: Наука, 1992. – 267 с.
7. Урусова И.Р. Трехмерная нестационарная модель электродуговых потоков плазмы // Современные проблемы механики сплошных сред. – Бишкек, 2010. – Вып. 12. – С. 207–217.
8. Сердюк Г.Б. Экспериментальное исследование предела устойчивости сварочной угольной дуги в поперечном магнитном поле // Известия Киевского политехнического института. – Т.16. – 1954. – С. 90–99.

КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ И ОСВОЕНИЕ НЕДР ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК (575.2)+551.7+551.781

Строение палеогена Кызылтокойской впадины (южные предгорья Чаткальского хребта)

А.Б. БАКИРОВ – академик НАН КР
И.А. МЕЗГИН – см. науч. сотр.
Т.А. БЕКТЕМИРОВА – науч. сотр.
М. УСЕНОВ – науч. сотр.

In article the structure of Paleogene within Kyzyltokej depression is described. In its structure 8 layers conformity to similar sediments of other areas of Fergana allocated. Unlike them here the low part of a section possesses more high grade terrigenose composition. Both with underlaying, and with overlying formations the Paleogene it is limited by large nonconformity surfaces.
Keywords: Paleogene, layers, Kyzyltokej.

Палеоген Кызылтокойской впадины интересен содержанием ряда полезных ископаемых (глауконита, трепела, монтмориллонита и др.), пригодных для использования в различных отраслях народного хозяйства: земледелии, животноводстве, медицине, строительстве, химической промышленности и т. д. Район исследования находится в Джалаалабадской области, в зоне сочленения Алабукинского и Чаткальского районов в южных предгорьях Чаткальского хребта (рис. 1а).

Геологическая среда палеогена

Территория характеризуется широким развитием палеозойских осадочных и вулканогенных отложений и кайнозойских морских и континентальных осадков (рис. 1б). Геологические тела района образуют два структурных этажа – палеозойский и кайнозойский.

Палеозойский структурный этаж представлен толщами силура, нижнего и среднего девона, верхнего девона – нижнего карбона.

Силур слагает тектонический блок и образован конгломератами, сланцами и известняками. В верхней части встречаются изверженные породы среднего состава. *Нижний и средний девон* представлен конгломератами, песчаниками, вулканами среднего и кислого состава мощностью 800 м. Живетский ярус представлен конгломератами, большей частью карбонатами и пачками гипсов, встречаются красноцветные песчаники и аргиллиты мощностью 600 м. *Верхний девон – нижний карбон* сложен известняками с кремнями и песчаниками и алевролитами. Суммарная мощность палеозоя 2250 м.

Кайнозойский структурный этаж сложен палеогеновыми (палеоген – эоцен), верхним палеогеном – нижнепалеогеновыми, верхнепалеогеновыми и четвертичными отложениями. Подробная характеристика палеогена приведена ниже («Строение палеогена»). Верхнепалеогеновые – нижнепалеогеновые отложения (олигоцен-миоцен) залегают

а



б

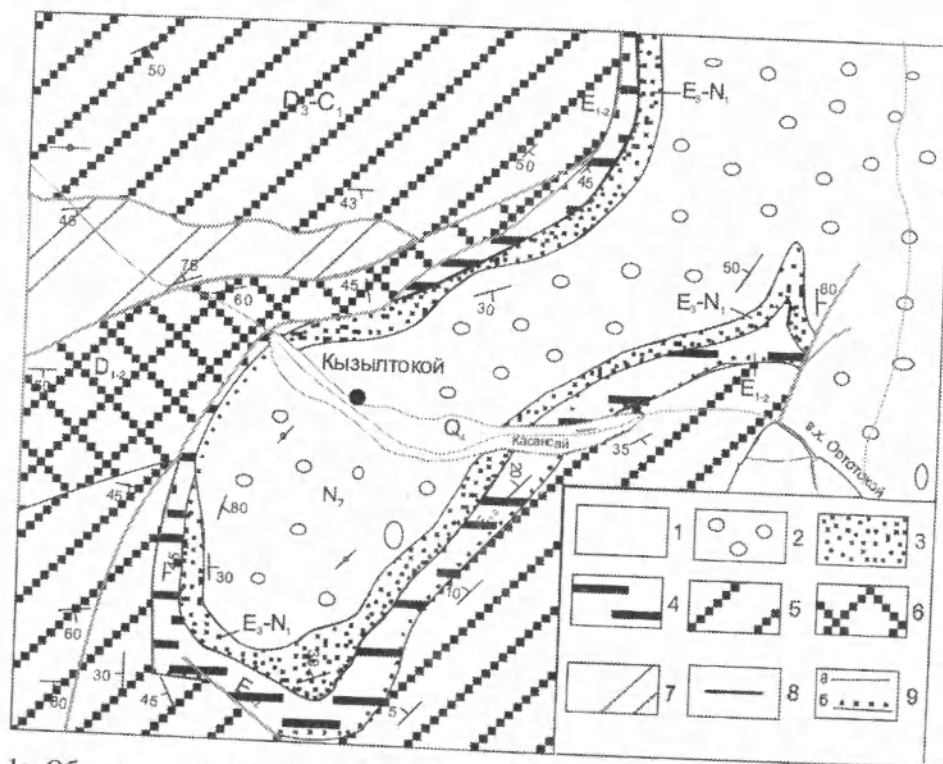


Рис. 1а. Обзорная схема. Цифры 1 и 2 на схеме – соответственно территории Чаткальского и Алабукинского районов Джалаалабадской области. Четырехугольная рамка – изученный нами участок.
Рис. 1б. Геологическая карта Кызылтокойской впадины (с использованием данных Л. И. Турбина, 1954).
1 – 4 – кайнозойский структурный этаж: 1 – морской палеоген, 2 – континентальный верхний палеоген – нижний неоген, 3 – верхний неоген, 4 – квартер; 6–8 – палеозойский структурный этаж: 6 – силур, 7 – нижний –средний девон, 8 – верхний девон – нижний карбон. Их характеристики приведены в тексте.
8 – тектонические контакты, 9 – стратиграфические контакты: а – согласные, б – несогласные.

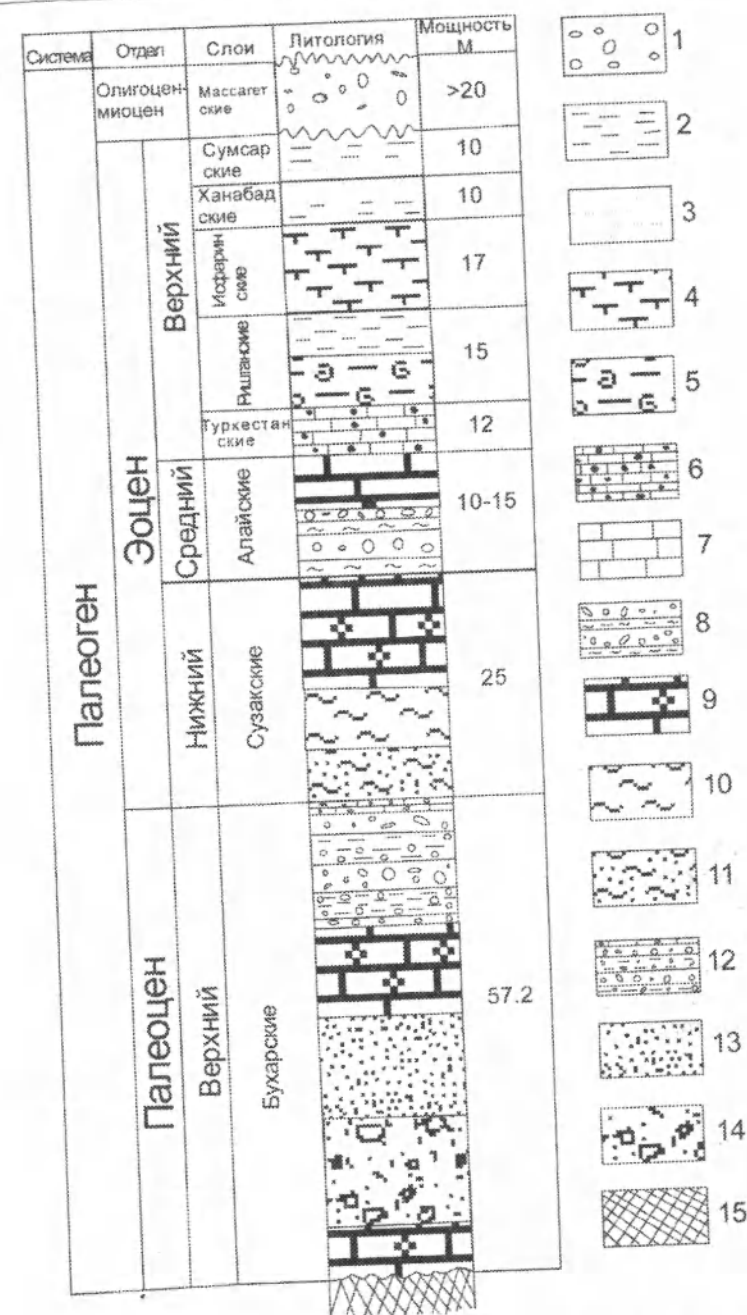


Рис. 2. Строение палеогена Кызылтокойской впадины.

1 – конгломераты, 2 – глины, 3 – глауконитовые песчаники, 4 – трепел и глинистый трепел, 5 – глины с устрицами, 6 – известняки с обломками песчаного и гравийного материала, 7 – песчаники с известковым цементом, 8 – переслаивание конгломератов и песчаников с глинистым цементом, 9 – конгломерато-песчаники с карбонатным цементом, 10 – мергели, 11 – пятнистые мергели с обломками песчаного материала, 12 – переслаивание конгломератов, гравелитов и песчаников с глинистым и карбонатным цементом, 13 – плохосортированные песчаники с глинистым и карбонатным цементом, 14 – плохосортированные конгломераты, гравелиты и песчаники, 15 – палеозой, карбонаты.

на морских палеоцен-эоценовых отложениях с несогласием и представлены кирпично-красной с розоватым оттенком толщей континентальных конгломератов, гравелитов и глин с горизонтом серовато-белых комковатых известняков вблизи основания. В 1962 г. И. Мезгиным и М. Кузнецовым в известняках собрана органика олигоцена. Общая мощность этой толщи 75 м. *Верхнеэоценовые (плиоценовые) отложения* залегают на всех нижележащих толщах несогласно и представлены палеовой толщей мелкогалечных конгломератов, гравелитов, песчаников с линзами суглинков. Мощность толщи – первые сотни метров. *Четвертичные отложения* представлены аллювием, аллюво-пролювием и делювием.

Деформационные структуры района представлены складчатыми и разрывными нарушениями. Палеозойские отложения разбиты разломами различных направлений, но в целом образуют синклиниорий субширотного простирания. Кайнозойский структурный этаж слагает Кызылтокойскую грабен-синклиналь северо-восточного простирания. Синклиналь замыкается на юго-западе и остается открытой к северо-востоку. Падение пород в крыльях этой складки составляет 15–20°. С северо-запада синклиналь нарушена альпийским Кызылтокойским взбросом.

Строение палеогена

Стратиграфия палеогена Ферганской долины в целом создана О.С. Вяловым (1935–1947 гг.) [1]. Он в нем выделял восемь фаунистически обоснованных ярусов (бухарский, сузакский, алайский, туркестанский, риштанский, исфаринский, ханабадский и сумсарский), которые, по его данным, соответствовали палеоцен-среднему олигоцену. Верхний олигоцен неразрывно связан с нижним неогеном, названным массагетской серией, и залегал, по его представлению, согласно на сумсарском ярусе. Советские геологи по разработке унифицированных стратиграфических схем Средней Азии в 1958 г. за основу приняло схему О.С. Вялова, но заменило название «ярусы» на «слои» [2].

Детальные разрезы по палеогену Северной Ферганы составлены в 1950-е годы геологами группы, возглавляемой Л.И. Турбиным, в процессе проведения геологической съемки М 1:200 000 (1954). В палеогене Кызылтокойской впадины выделялись нижние четыре яруса О.С. Вялова, а его риштанский, исфаринский и ханабадский ярусы не расчленялись и описаны как единые монотонные табачно-зеленые глины, алевролиты и мелкозернистые песчаники. Выделялся сумсар-

ский ярус. Выше он без перерыва перекрывался нерасчлененными отложениями верхнего олигоцена – нижнего неогена. Позже, при проведении крупномасштабной (1:25 000 и 1:50 000) геологической съемки (М.А. Акматов, Г.Н. Ситкович 1961–1963 гг.; С.В. Литовчак, К.В. Селиверстов 1981–1985 гг.), была принята стратиграфическая схема палеогена, предложенная Л.И. Турбиным.

По нашим данным, морские палеогеновые отложения выходят узкой полосой по периферии Кызылтокойской синклинали, образуя вытянутую дугу выпуклостью, обращенной к юго-западу и открытой к северо-востоку (рис. 1б). С крупным несогласием и разрывом они залегают непосредственно на палеозойских отложениях, а сверху с географическим несогласием перекрываются массагетскими слоями верхнего палеогена – нижнего неогена. Приведем характеристику разрезов морского палеогена Кызылтокойской впадины (рис. 2).

Бухарские слои слагают основание разреза палеогена. В южной части Кызылтокойской впадины на неровной поверхности палеозоя, сложенной серыми известняками, почти горизонтально залегают белые мелкокристаллические известняки. Они содержат обломки пород из палеозоя песчаного и гравийного размеров и более крупных вплоть до 30 см, а местами до 2–3 м. Они остроугольные, не окатаны или плохо окатаны. По-видимому, это элювиальные образования на древней земной поверхности. Мощность – 6 м. Выше залегают конгломераты, гравелиты и песчаники, образуя два крупных ритма, которые начинаются конгломератами внизу и завершаются песчаниками вверху. В первом ритме конгломераты обладают мощностью 13 м, а песчаники – 17,5 м. Общая мощность ритма 30,5 м. Цемент конгломератов карбонатный, а в песчаниках происходит смена глинистого цемента (11,5 м) карбонатным (6 м). Во втором ритме конгломераты (мощностью 6,5 м) сменяются вверх гравелитами (43,2 м) и завершаются песчаниками (1,5 м). Во всех типах пород происходит чередование состава цемента: глинистого и карбонатного. Мощности пластов с разным составом цемента колеблются от 1 м до 2,5 м. Редко встречаются небольшие (0,2 м) прослои гипса. Состав галек представлен серыми известняками, алевролитами и кварцем из палеозоя. В зависимости от состава цемента окраски пород становятся то светлыми (если цемент карбонатный), то серыми и коричнево-красными (если цемент пород глинистый). Общая мощность бухарских слоев – 57,2 м.

Сузакские слои залегают на конгломератах бухарских слоев. Внизу они сложены пятнистыми мергелями. Наличие пятен обусловлено сочетанием светло-коричневых и белых окрасок. Местами в них погружены обломки пород песчано-гравийного размера. Мощность – 6 м. Выше лежат внешние аналогичные мергели, но без содержания обломков пород. Мощность – 6,5 м. Вверху снова выходят пятнистые мергели с обломками пород. Мощность – 12,5 м. Общая мощность сузакских слоев – 25 м.

Алайские слои сложены внизу переслаиванием серых конгломератов с желтыми линзами тех же конгломератов разного размера (3–15 см по длине) и известняков. Мощности слоев конгломератов 0,3–1,0 м, а известняков 0,15–0,6 м. Мощность – 9 м. Выше лежат конгломерато-песчаники розовой окраски. Обломки разного размера хорошо окатанных галек погружены в песчаную массу с карбонатным цементом. Мощность – 1 м. Общая мощность алайских слоев в южной части Кызылтокойской синклинали – 10 м.

Туркестанские слои в южной части Кызылтокойской синклинали внизу сложены светлыми карбонатными породами с обломками пород песчано-гравийного размера. По простиранию они переходят в комковатые известняки без примесей обломков пород. Мощность – 5 м. Севернее на этом уровне появляются известняки с шаровидными конкрециями размером от 3–5 до 20–30 см. Во внутренней части они обладают радиально лучистым строением. В некоторых местах появляются линзы устричных ракушек. Выше залегают известняк белый массивный с обильным содержанием раковин ископаемых организмов. По простиранию он переходит в белый массивный песчаник с карбонатным цементом. Вверху пласта появляется белый плотный ракушняк. Мощность – 3–5 м. На самой верхней поверхности этих известняков наблюдаются обломки пород гравийного размера, погруженные в карбонатную массу. На левом борту р. Касан-Сай эти известняки полностью исчезают, и вместо них появляются гравелиты с белым глинисто-карбонатным цементом мощностью 3 м. В гальке отмечается хорошо окатанный кремний серой и темной окраски. Общая мощность туркестанских слоев – 12 м.

Риштанские слои начинаются желтыми глинами с раковинами устриц. Соотношение раковин и глин – 1:1. Мощность – 8 м. Выше залегают зеленовато-желтые глины мощностью 6 м. Общая мощность риштанских слоев – 15 м.

Исфаринские слои представлены типичными для всего Ферганского региона трепеловидными породами (глинистым трепелом) и трепелами. В средней части горизонта часто появляется пласт коричнево-желтых песчанистых пород с глинистым цементом. Мощность – 12–16 м. Выше они переходят в желтоватую глину мощностью 4 м. Общая мощность исфаринских слоев составляет 16–20 м.

Ханабадские слои представлены типичными зелеными глинами. Мощность – 10 м. В верхней части слоев появляются мелкозернистые глауконитовые песчаники мощностью 2–3 м. Выше они сменяются пятнистыми зеленовато-красными песчаниками также с глауконитом (1–3 м).

Сумсарские слои хорошо отличаются красным цветом и сложены густомалиновыми глинами. Мощность – 8–10 м. Выше залегают ракушняк, сложенный толстостенными устрицами мощностью 3–5 м. Общая мощность сумсарских слоев около 10–15 м.

Выше с разрывом и географическим несогласием на разные горизонты сумсарских слоев налегают *массагетские слои*, сложенные континентальными песчано-конгломератовыми отложениями.

Выводы. 1. Морской палеоген Кызылтокойской впадины образует непрерывный разрез. По характеру осадков слои палеогена можно объединить в две толщи, сложенные резко различными фашиальными образованиями.

Нижняя толща представлена в целом карбонатно-терригенными отложениями, песчаными, изменчивыми по фашиальному облику и мощности слоев как в разрезе, так и по латерали. Карбонат присутствует почти во всех слоях обломочных пород в виде цемента, образуя иногда самостоятельные горизонты. Терригенная часть толщи представлена конгломератами, гравелитами и песчаниками. Часто обломки пород гравийного размера присутствуют и в карбонатных горизонтах. Реже присутствуют слои и линзы мергелей и глин. Нижняя толща объединяет бухарский, сузакский, алайский и туркестанский ярусы О.С. Вялова.

Верхняя толща сложена хорошо выдержанными, как по фашиальному облику, так и по мощности, слоями в основном монтмориллонитовых глин, трепелов и глауконитовых песчаников. Геологи-съемщики (Л.И. Турбин, М.А. Акматов, С.В. Литовчак и др.) выделяли нерасчлененные риштанский, исфаринский и ханабадский ярусы,

как единую толщу и сумсарский ярус. Нашими исследованиями они подразделены на слои, которые по литологическому составу соответствуют названным ярусам О.С. Вялова.

Особенность разреза палеогена Кызылтокойской впадины заключается в том, что в отличие от других районов Ферганы здесь в нижней части разреза большую роль играют грубообломочные образования, хотя цементирующий материал представлен в первую очередь карбонатами и затем глинами. Состав осадков свидетельствует о близости района к береговой линии палеогенового моря.

2. В отличие от других районов Ферганы морской палеоген Кызылтокойской впадины не имеет согласного контакта с массагетской серией. Красные глины, которые в более южных районах согласно наращивают сумсарские слои, в этом районе отсутствуют, и на разных горизонтах сумсарских слоев прямо лежат красноцветные моласы, состоящие из конгломерато-песчаников.

3. Обоснование возраста слоев произведено сбором большого количества органических остатков в основном в южной части Ферганы [1 и 2]. В районе Кызылтокойской впадины отдельные органические остатки, достаточные для сопоставления слоев, были обнаружены геологами группы Л.И. Турбина. Единого мнения по возрасту слоев нет [2]. О.С. Вялов (1947), С.И. Симаков, Б.Г. Клейнберг и др. (1957) относили бухарские слои к позднему палеоцену, сузакские слои – нижнему, алайские – среднему, а туркестанские, риштанские и исфаринские –

верхнему эоцену. Ханабадские слои ими отнесены нижнему, а сумсарские слои – среднему олигоцену. Они считали, что нижняя часть массагетских слоев может быть отнесена к олигоцену-миоцену. Р.Ф. Геккер, Л.Н. Осипова, Т.Ф. Бельская (1962) бухарские слои относили палеоцену, сузакские – нижнему, алайские – среднему, туркестанские, риштанские и исфаринские слои – верхнему эоцену, а ханабадские и сумсарские слои – олигоцену без расчленения. Мнение Г. Н. Крейденкова и В.А. Распопина (1969) резко отличалось от предыдущих. Схема этих авторов [2], по нашему представлению, является наиболее обоснованной многочисленными сборами макро- и микрофауны и сопоставлениями с соседними регионами Таджикистана, Узбекистана и Приаралья. Согласно этой схеме, бухарские слои относятся к верхнему палеоцену, сузакские – к нижнему, алайские – среднему, туркестанские – среднему (?) – верхнему (?), риштанские, исфаринские, ханабадские и сумсарские – к верхнему эоцену, а массагетские слои олигоцену – миоцену без расчленения (рис. 2).

Литература

1. Вялов О. С. Третичные отложения Ферганы // Геология СССР. Т. XXV. Киргизская ССР. Кн. 1. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1954. – С. 451–471.
2. Крейденков Е.Д., Распопин В.А. Палеоген Южной Киргизии // Геология СССР. Т. XXV. Киргизская ССР. Кн. 1. – М.: Недра, 1972. – С. 237–250.

УДК 551.77 (575.2)

Результаты изучения кайнозойских отложений площади Чолпон-Ата, Северное Прииссыккулье

А.Б. ДЖУМАБАЕВА – научн. сотрудник

А.Б. ФОРТУНА – канд. геол.-минер. наук.

Materials of the field investigations are in the paper. There were studied Cenozoic deposits and there was conducted palinologic analysis of borehole cores.

Чолпон-Атинская площадь (междуречье Чолпон-Ата – Долонаты) расположена почти в центральной части северного борта Иссык-Кульской впадины (Предкунгейский прогиб) и представляет собой полого наклоненную в сторону водоема равнину, выполненную четвертичными и плиоценовыми отложениями. Ближе к отрогам южного склона хребта Кунгей Ала-Тоо обнажаются дислоцированные красноцветные палеоген-неогеновые породы, ограниченные Северо-Иссык-Кульским (Культорским) взбросом субширотного простирания [1].

Рассматриваемая территория выделяется как самостоятельный Чолпон-Атинский блок [2], ограниченный с юга западным продолжением Пришибского разлома, с запада – серией новейших сближенных Чолпон-Атинских разломов северо-западного простирания, приуроченных к долинам р. Чолпон-Ата и ее притоков, с востока – Бахту-Долонатинским разломом, который четко фиксируется в долине одноименной реки по смещениям (более 1 км) поверхности допалеогенового пенеплена на южных склонах гор Бозалаташ и Агалаташ. Среди серии Чолпон-Атинских разломов наиболее отчетливо выраженный протягивается по долине р. Чолпон-Ата, западному склону горы Ополтоо. В юго-восточной части блока выделяется Кызыл-Дюбинская горст – брахиантиклиналь с выходом в ее ядре гранитов. Северное крыло складки падает к северу под углами

от 25° до 10°, переходя в южное крыло Чолпон-Атинской синклинали. В строении последнего принимают участие породы сулутерекской (кок-турпакской) и шамсинской (киргизской) свит, срезанные в области поднятия конгломератами чуйской (иссык-кульской) свиты. Северное крыло этой складки оборвано новейшим разломом, проявляющимся в смещении верхнечетвертичных аккумулятивных поверхностей.

В пределах большей части Чолпон-Атинского блока породы кайнозоя смяты в широкую Чолпон-Атинскую синклиналию складку запад-юго-западного простирания, расположенную в междуречье Орто-Долонаты – Чолпон-Ата на протяжении 10–11 км. Восточное замыкание складки наблюдается на горе Чонташ. В западном направлении центральная часть синклинали полого погружается под четвертичные отложения. В ядре синклинали залегают грубообломочные породы шарпылдакской свиты, на крыльях – чуйской (иссык-кульской) свиты. Складка асимметрична, северное крыло синклинали значительно шире южного и осложнено разломом. В северном крыле складки породы шамсинской (киргизской) свиты срезаются отложениями верхнечуйской (верхнеиссык-кульской) подсвиты (рис. 1 а, б).

Между пос. Чолпон-Ата и конезаводом № 54 на расстоянии 260 м друг от друга пробурены две скважины: 1-Т – глубиной 2075 м и 2-Т –

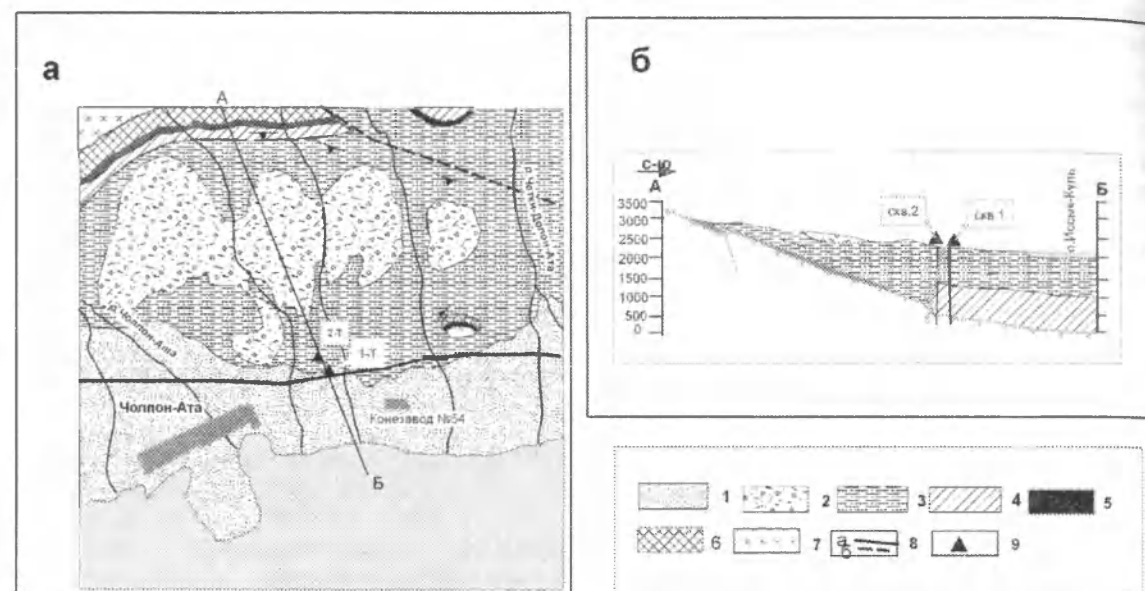


Рис. 1. а – геологическая схема-карта Чолпон-Атинской площади – (м-б 1:100000)

и б – поперечный профиль по линии А-Б.

Условные обозначения: 1 – четвертичные отложения; 2 – шарпылдакская свита, 3 – чуйская свита, 4 – шамсинская свита, 5 – сулутерекская свита; 6 – древняя денудационная поверхность, 7 – палеозойское основание, 8 – разрывы: а – установленные, б – предполагаемые, 9 – скважины.

глубиной 2104 м, которыми вскрыты палеозойские (мощность соответственно по скважинам – 277 м и 308 м) и кайнозойские (мощность 1798 м и 1796 м) отложения. Скважина 2-Т на глубине 580 м пересекает разрывное нарушение типа взброса – западное продолжение Пришибского разлома. Амплитуда смещения пород на основании результатов МОВ равна 100–150 м [3]. Палеозойские породы (силур – нижний девон) представлены крепкими, плотными кварцевыми, кварцево-полевошпатовыми и пироксено-полевошпатовыми порфиритами. Цвет пород серый, серовато-красноватый, розовый, мясокрасный. Трещины выполнены кварцем, кальцитом, лимонитом. Кайнозойскую группу пород составляют отложения палеогена и неогена, которые разделены на шамсинскую (киргизскую) и чуйскую (иссык-кульскую) свиты [4,5].

Из керна скважин были отобраны пробы на спорово-пыльцевой анализ в количестве: 41 – из скважины 1-Т (анализ А.А.Степановой) и 36 – из скважины 2-Т. В результате палинологических исследований выделено три спорово-пыльцевых комплекса: 2 из отложений шамсинской свиты, 1-чуйской свиты (рис. 2).

Шамсинская свита ($P_3 - N_1$ sm) скважиной 1-Т вскрыта в интервале 970–1798 м, мощность – 828 м; скважиной 2-Т – 970–1796 м, мощность – 826 м. По литологическому составу и окраске пород она разделена на две подсвиты: нижнешамсинскую и верхнешамсинскую.

Нижнешамсинская подсвита (мощности 276 м и 286 м) сложена однообразной толщей патумов коричневого цвета с подчиненными прослоями светло-коричневых алевролитов, местами переходящими в розовато-серые или красновато-коричневые разнотравные песчаники.

В палинокомплексе данной подсвиты доминирует пыльца травянистых растений, количество пыльцы древесных пород достигает 20–30%, споры единичны. Главную роль среди трав играют представители семейства *Chenopodiaceae*. Весьма значительно содержание пыльцы семейства *Compositae* и рода *Artemisia*; в одном образце – многочисленна пыльца разнотравья. Единичными зернами отмечаются *Ephedra* и *Gramineae*. Пыльца дендрофлоры принадлежит хвойным и листовым породам. Среди первых – *Striatopinites* (вероятно, переотложенная), *Pinaceae*, *Picea*, *Pinus*, *Tsuga*, *Taxodiaceae*, *Cupressaceae*. Группу вто-

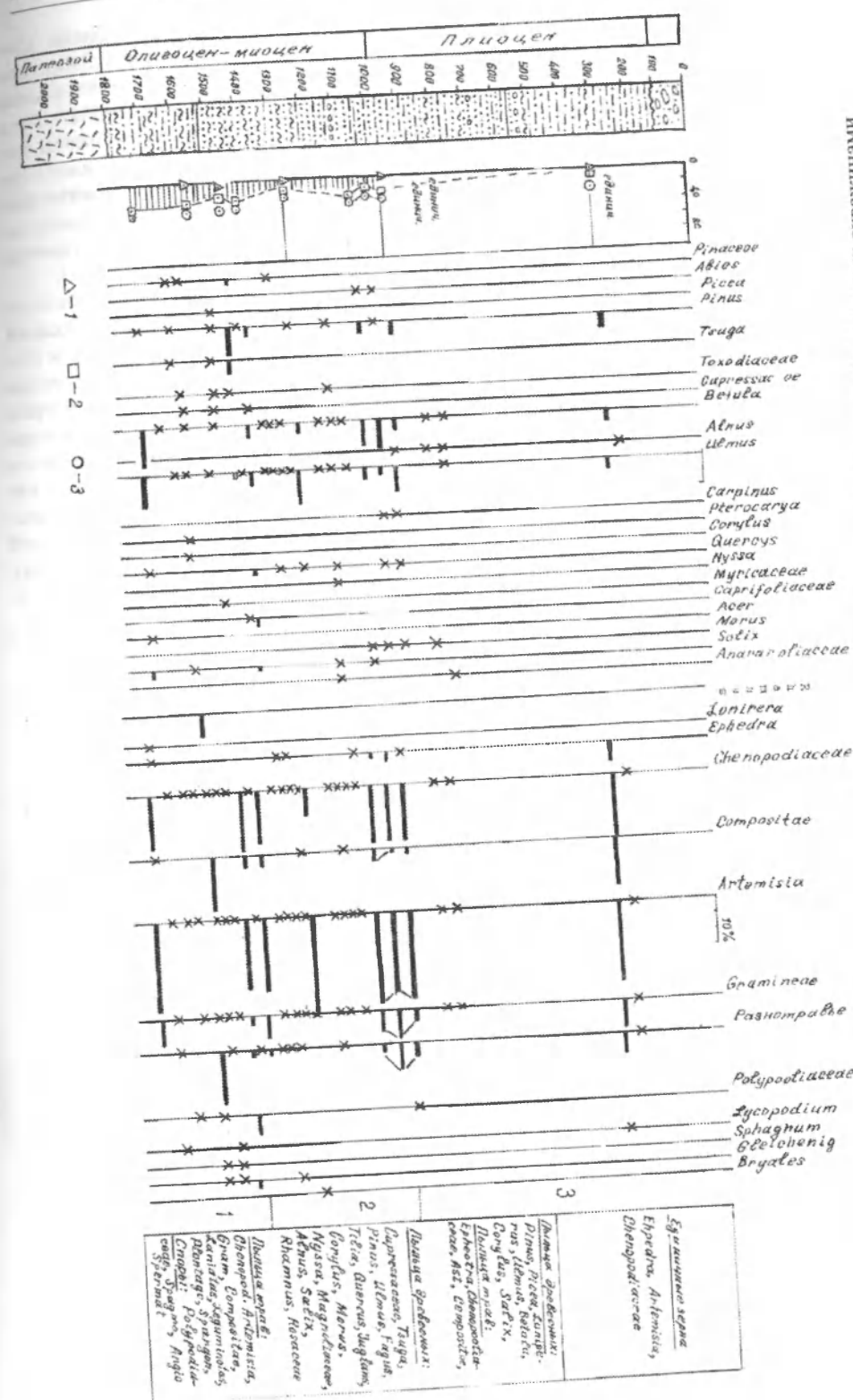


Рис. 2. Сводная спорово-пыльцевая диаграмма разреза палеоген-неогеновых отложений, вскрытых скважинами на Чолпон-Атинской площади.

Условные обозначения: 1 – споры; 2 – пыльца древесных пород; 3 – пыльца травянисто-кустарничковых пород.

рых составляет пыльца *Ulmus*, *Betula*, *Pterocarya*, *Corylus*, *Quercus*, *Acer*, *Salix*, *Myricaceae*, *Magnoliaceae*, *Nyssa*. Спорадически отмечается пыльца кустарниковых растений – *Rhamnus* и *Lonicera*. Споры папоротников и мхов принадлежат *Polypodiaceae*, *Lycopodium*, *Gleichenia*, *Sphagnum*. Особенностью комплекса является присутствие пыльцы тсуги и представителей субтропических растений (магнолиевые, ниссовые, таксодиевые). Данный комплекс имеет сходство с таковыми из олигоцен-раннемиоценовых отложений других регионов Тянь-Шаня [6,7,8].

Верхнешамсинская подсвита (мощности 552 м и 540 м) – переслаивающиеся желтовато-коричневые, местами зеленовато-серые и серые песчаники, алевролиты и паттумы. В верхней части преобладают алевролиты и паттумы. Мощность слоев составляет несколько метров. В отложениях подсвиты Ж.М.Малышева [9] обнаружена остракода, принадлежащая видам *Candoniella albicans* Br. и *Pyocypris bradyi* Sars., которые Л.Е.Бородин и Н.В.Александрова отнесли к миоценовым формам.

Спорово-пыльцевой состав комплекса подсвиты отличается от вышеописанного отсутствием пыльцы представителей субтропических растений и обеднением списка хвойных пород. В то же время среди семейства сосновых отмечена пыльца *Abies*, а состав листопадных дополняют *Carpinus*, *Tilia*, *Fagus*, *Morus*. Споры единичны и принадлежат зеленым мхам *Bryales*. В группе травянистых по-прежнему преобладают представители ксерофитной флоры – *Chenopodiaceae*, *Artemisia*, *Gramineae*, увеличивается содержание *Ephedra*. Отмеченные особенности комплекса позволяют содержащиеся их осадки отнести к средне-позднемиоценовым накоплениям. Близкий по составу палинокомплекс выделен из среднемиоценовых пород Чуйской впадины и в разрезе по р. Саты (южный склон Кунгей Ала-Тоо) [10,11].

Чуйская свита (N_2 shk), интервал 0–970 м, сложена чередующимися слоями желтовато-коричневых алевролитов, паттумов и песчаников. В нижней части разреза свиты чередование слоев равномерное, в верхней – преобладают алевролиты и песчаники, к которым добавляются пропластки гравелитов и конгломератов. На площади Торугай-гир (северо-западная часть Иссык-Кульской впадины) в коррелятных отложениях собраны остатки остракод среднемиоценового возраста [9].

В спорово-пыльцевом комплексе свиты преобладает пыльца травянистой растительности – до

87%, которая принадлежит *Chenopodiaceae*, *Compositae*, *Artemisia*, *Gramineae*, *Ephedra*, *Polygonaceae*, *Liliaceae*, *Umbelliferae*, *Potamogeton*. Пыльца древесных составляет в спектрах 10–13% – *Pinus*, *Betula*, *Ulmus*, *Quercus*, *Morus*, *Alnus*. Пыльца трех последних пород встречается только в нижних горизонтах свиты. В этих же отложениях присутствуют немногочисленные споры семейства *Polypodiaceae*. Описанный палинокомплекс аналогичен таковому из чуйской свиты соседних регионов [6,8,11].

Таким образом, приведенный палинологический материал уточняет возраст отложений, вскрытых скважинами на Чолпон-Атинской площади, и позволяет судить о составе олигоцен-миоцен-плиоценовой флоры этой территории, развитие которой шло по линии постепенного обеднения и вытеснения из состава фитоценозов теплолюбивых представителей дендрофлоры как среди хвойных, так и листопадных пород. Одновременно происходило сокращение площадей обсеянности и расширение открытых степных пространств с травянисто-кустарниковой ксерофитной растительностью.

Литература

1. Турчинский В.П. Геологическая карта СССР. Масштаб 1: 200 000. Лист К-43- XVIII. – М.: Недра, 1971. – 98 с.
2. Стрельцов Е.А., Семилетов Д.К., Петкаев В.Д. и др. О геолого-гидрогеологическом до изучения масштаба 1:50 000 в центральной части северного борта Иссык-Кульской впадины в пределах листов К-43-47, 48, 58, 59, 60. – Фрунзе: Фонды КГУ, 1980.
3. Кучин В.Н. О результатах поискового бурения на термальные и минеральные воды в Иссык-Кульской (площадь Чолпон-Ата) и Восточно-Чуйской (площадь Фрунзенская) впадинах. – Фрунзе: Фонды КГУ, 1969.
4. Фортуна А.Б. Отложения покрова // Детальное сейсмическое районирование Иссык-Кульской впадины. – Бишкек: Илим, 1993. – С. 11–15.
5. Язовский В.М. Схема стратиграфии палеоген-неогеновых отложений Северной Киргизии // Северный Тянь-Шань в кайнозое. – Фрунзе: Илим, 1979. – С. 3–16.
6. Григина О.М., Фортуна А.Б. Палеогеография Северного Тянь-Шаня в кайнозое. – Фрунзе: Илим, 1981. – 194 с.
7. Ржанникова Л.Н. Палинологическая характеристика палеогена и неогена Зайсанской впадины. – Алма-Ата: Наука, 1968. – 224 с.

8. Фортуна А.Б., Керимбеков Ч.К., Кузиков С.И., Миколайчук А.В. Литостратиграфия и палинологические данные кайнозойских отложений Тессык-Сарыбулакской впадины // Геология кайнозоя и сейсмоструктура Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 1994. – С. 26–40.
9. Малышева Ж.М. Остракоды палеогеновых, палеоген-неогеновых и четвертичных отложений Иссык-Кульской впадины. – Фрунзе: Фонды КГУ, 1968.
10. Абузарова Р.Я. Спорово-пыльцевые комплексы третичных отложений Северного Тянь-Шаня // Материалы по истории фауны и флоры Казахстана. – Алма-Ата: АН Казах. ССР, 1961. – Т. III. – С. 94–98.
11. Геология кайнозоя Чуйской впадины и ее горного обрамления. – Л.: Наука, 1976. – 128 с.

УДК 622.83:622.34

Основные принципы обеспечения безопасности при открытой разработке нагорных месторождений

К.Ч. КОЖОГУЛОВ - член-корр. НАН КР
О.В. НИКОЛЬСКАЯ - докт. техн. наук

In paper are stated the main failure causes of upland pit edges, method of stability edge assessment and principles of maintenance of safety at their designing and maintenance.

В настоящее время в Кыргызской Республике особое внимание уделяется освоению крупных золоторудных месторождений, таких, как Кумтор, Макмал, Джеруй и др. Отличительной особенностью как эксплуатируемых, так и проектируемых месторождений является то, что они приурочены к зонам тектонических разрывных нарушений в виде надвигов, сдвигов и сбросов.

По сравнению с равнинными карьерами нагорные карьеры находятся в стесненном рабочем пространстве и имеют высокую оползневую, селевую и лавинную опасность.

Деформирование откосов бортов нагорных карьеров обусловлено действием природных и техногенных факторов. Формы и интенсивность проявления деформаций зависят от геодинамики региона и тектоники месторождения, геологических и гидрогеологических факторов, а также вида техногенных воздействий.

Причины деформаций бортов нагорных карьеров имеют ряд специфических особенностей, обусловленных тем, что разработке подлежат мас-

сивы пород склонов, имеющих сложную историю формирования и геологическое строение. Запас устойчивости непосредственно склона постоянно меняется, а при строительстве и эксплуатации нагорного карьера изменяется и геомеханическое состояние.

Приповерхностная часть борта подвержена процессам выветривания и сезонного оттаивания-промерзания. Мощность зоны интенсивного выветривания и разгрузки составляет 3–4 метра. Вмещающими породами являются в основном метаморфизованные породы: окварцованные песчаники, известняки, амфиболиты, амфиболовые сланцы, мигматиты. Массив горных пород очень трещиноватый, количество трещин на погонный метр достигает 70. Качество массива не превышает 20–30%, на отдельных участках месторождения – 10–15%. В пределах этой зоны прочностные и деформационные свойства пород ниже свойств пород непосредственно в массиве вне зоны выветривания.

Деформационно-прочностные свойства пород являются одним из факторов, определяющих

напряженно-деформированное состояние породного массива, вид деформаций бортов карьеров и характер нарушения устойчивости бортов, включая обрушения. Вмещающие породы и рудные тела нагорных месторождений весьма хрупкие. Коэффициент хрупкости пород составляет 25–30%. Предел прочности пород на растяжение на два порядка меньше предела прочности при сжатии.

Обрушения бортов нагорных карьеров зарегистрированы при достижении глубины 100–150 м, на отдельных карьерах и при меньших глубинах. Угол борта таких нагорных карьеров составляет 47–50°, что не соответствует геомеханическим и тектоническим условиям обеспечения устойчивого состояния прибортового массива.

Согласно СНиП 11-16-76, критерий устойчивости для скальных массивов имеет вид:

$$S = n_c F \frac{m}{K_n R} \leq 0, \quad (1)$$

где F – расчетное значение обобщенной активной сдвигающей силы, МПа;

R – обобщенная сила предельного сопротивления сдвигу, МПа;

K_n – коэффициент надежности, учитывающий степень ответственности и срок эксплуатации карьера;

n_c – коэффициент сочетания нагрузок;

m – коэффициент условий работы.

Основной проблемой обеспечения безопасности при освоении нагорных месторождений является оценка устойчивого состояния борта карьера. Поэтому предлагается (1) записать в виде:

$$\frac{m}{K_n R} \geq n_c F \geq 1,3, \quad (2)$$

т.е. коэффициент устойчивости борта карьера должен быть больше 1,3, а для бортов, выполненных в сильно трещиноватых породах, – 1,5.

Сочетание таких факторов, как сложные климатические и горно-геологические и геомеханические условия разработки нагорных месторождений полезных ископаемых открытым способом, технологические требования к обеспечению безопасности и высокоэффективному ведению работ, обусловили необходимость комплексной оценки геомеханических условий на карьерах.

Геомеханическое обоснование безопасной разработки нагорных месторождений полезных ископаемых открытым способом заключается в оценке устойчивости геотехнической системы «склон – нагорный карьер». Для обеспечения безопасности работ в карьере наряду с оценкой общей устойчивости борта в пределах контура ка-

рьера следует выделить области со структурными нарушениями и различными значениями коэффициента устойчивости. При этом область борта карьера со значениями коэффициента устойчивости $K_u > 1,3$, т.е. область, в пределах которой коэффициент устойчивости соответствует нормативным значениям. Область на борту карьера со значениями $K_u < 1,3$ не соответствует условиям нормативной устойчивости и при значениях $K_u = 1,3$ соответствует состоянию предельного равновесия откосов борта карьера.

Сложность горно-геологических условий нагорных месторождений, требования к безопасности и экономической эффективности, поставленные перед горным производством, обусловили необходимость оценки и прогноза геомеханических условий на нагорных карьерах, позволяющих определить степень устойчивости как всего борта в целом, так и его отдельных участков.

Районирование карьерного поля осуществляется в целях выявления и качественной и количественной оценки влияния горно-геологических факторов на устойчивость прибортового массива и прогноза геомеханических условий разработки месторождения. В основе районирования прибортового массива по устойчивости лежит разделение массива горных пород в пределах борта карьера на участки с одинаковыми структурно-геологическими и геомеханическими условиями (структура, трещиноватость, прочностные и деформационные свойства пород).

На практике для оценки устойчивости бортов карьера применяют структурно-геологическое, инженерно-геологическое районирование, сейсмометрическое, в последнее время стали применять и геомеханическое [1–4]. Инженерно-геологическое районирование бортов применяют при недостаточной изученности прибортового массива склона. В этом случае прибортовой массив условно разделяют на устойчивые, неустойчивые без указания значений коэффициента устойчивости или запаса устойчивости. При инженерно-геологическом районировании не учитываются горнотехнические условия разработки – направление фронта работ, глубина карьера, элементы системы разработки. Например, устойчивость однородного откоса определяется не только физико-механическими свойствами, но и высотой или углом наклона откоса, значения которых не используются при описательных показателях районирования.

В случае когда карьер приурочен к крылу складки и ориентирован вдоль оси нарушения, в

одном борту могут оказаться слои, круто падающие в сторону выемки, а в противоположном борту слои будут падать в массив, что значительно повысит устойчивость этого борта. Таким образом, одинаковое геологическое строение прибортового массива не гарантирует получения одинаковых оценок устойчивости для бортов, расположенных в лежащем и висячем крыльях месторождения.

В основу инженерно-геологического районирования прибортового массива положены описание состояния борта карьера по таким признакам, как трещиноватость, наличие плоскостей ослабления, свойства пород, слагающих борт карьера, которые позволяют получить качественную оценку условий разработки. Для количественной оценки устойчивости карьерного поля необходимо ввести критерии устойчивости, которые можно устанавливать как по СНиПу, так и аналитическим путем.

Опыт районирования бортов карьера Макмал, проектируемого карьера Джеруй, Андаш показал, что предложенная методика позволяет существенно сократить число наблюдательных станций и сконцентрировать внимание только на потенциально неустойчивых участках, а не вести наблюдения по всему контуру карьерного поля.

Прогнозная карта геомеханической устойчивости борта нагорного карьера основывается на результатах комплексного обследования прибортового массива, включающего:

а) районирование борта по геологическому строению прибортового массива, выделяя участки с породами с низкими физико-механическими свойствами;

б) районирование борта по структурной неоднородности, регистрируя разломы и области их влияния, флексурные нарушения, складчатость, т.е. концентраторы напряжений и их параметры, выделяя участки прибортового массива с высокой степенью трещиноватости;

в) районирование борта по геомеханическим свойствам прибортового массива, выделяя участки с низкими деформационными и прочностными свойствами пород и массива, уделяя особое внимание участкам с высокими значениями напряжений и зонам концентрации напряжений;

г) расчет устойчивости прибортового массива по вертикальным сечениям с учетом сейсмичности, свойств пород, структурного ослабления массива и положения депрессионной кривой.

Расчет устойчивости прибортового массива проводится на базе топоосновы борта с нанесе-

нием выявленных геологических, структурных и геомеханических особенностей. Борт карьера по периметру разбивается на ряд вертикальных сечений, в пределах которого строятся инженерно-геологические разрезы. Длина каждого сечения соответствует высоте борта. Расстояние между сечениями следует назначать не менее 10 м, а на участках с высокой трещиноватостью, а, следовательно, с низкими прочностными характеристиками прибортового массива, – через 3–5 м. Каждое сечение по высоте разбиваем на отдельные расчетные блоки. Высота блока не должна превышать высоту одинарного уступа, т.е. 10–12 м, на проблемных участках 5–6 м. По этим инженерно-геологическим разрезам расчетными или геофизическими методами определяем положение потенциальной поверхности скольжения для однородного массива и наиболее опасную поверхность напластования при блочном или слоистом массиве. В пределах каждого сечения массив разбиваем на блоки и ведем расчет устойчивости, в пределах каждого блока рассчитываем коэффициент устойчивости. При этом необходимо расчет устойчивости прибортового массива по плоскостям напластования производить с учетом сопротивления сдвигу по трещине, свойства заполнителя по трещинам, остаточного сцепления по трещинам.

Трещины, падающие в сторону откоса, являются потенциально опасными плоскостями скольжения. Как показали натурные наблюдения, значения угла падения напластования могут составлять от 5° [5]. Основное влияние на устойчивость по контактам напластования имеют условия на контакте этих трещин. Устойчивость по таким трещинам будет определяться свойствами заполнителя. Прочность на сдвиг по трещине напластования определяется по результатам специальных полевых и лабораторных испытаний. Подготовка и проведение полевых опытов должны проводиться в соответствии с «Руководством по полевым исследованиям сопротивления скальных оснований». В результате испытаний пород на сдвиг строится паспорт прочности пород и устанавливается зависимость между пределом прочности пород на сдвиг и нормальными напряжениями, действующими на поверхности, т.е. $[\tau] = f(\sigma_n)$. Аналитически прочность пород при сдвиге определится по формуле [6]:

$$[\tau] = \sigma_{tg} \left[i_0 \left(1 - \frac{\sigma}{R_{tc}} \right)^{10} + \varphi_0 \right], \quad (3)$$

где φ_0 – угол внутреннего трения заполнителя трещины:

$$\varphi_0 = \arctg\left(\frac{\tau_0}{\sigma}\right), \quad (4)$$

τ_0 – остаточная прочность на сдвиг по трещине.

$$i_0 = \frac{i}{\left(1 - \sigma/R_{tc}\right)^{10}}, \quad (5)$$

где

$$i = \arctg\left(\frac{[\tau]}{\sigma}\right) - \varphi, \quad (6)$$

$$R_{tc} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1 \sqrt{i_2/i_1}}{1 - \sqrt{i_2/i_1}}, \quad (7)$$

$$i_1 = \arctg\left(\frac{[\tau]_1}{\sigma_1}\right) - \varphi_0; i_2 = \arctg\left(\frac{[\tau]_2}{\sigma_2}\right) - \varphi_0, \quad (8)$$

$(\sigma_1; [\tau]_1; \sigma_2; [\tau]_2)$ – горизонтальные составляющие нормальных и касательных напряжений по поверхности скольжения, по которым из (3) обратными расчетами получаются выражения (6) и (8) для параметров τ_0 и R_{tc} . Параметр R_{tc} определяют по результатам испытаний горных пород, полученных при различных значениях нормальных напряжений. Далее методом наименьших квадратов устанавливаются значения параметров R_{tc} , i_0 , φ_0 , наиболее точно аппроксимирующие экспериментальные точки [1].

В расчетах используются усредненные данные физико-механических свойств комплекса пород, слагаемых данной массив. Так, в расчетных схемах используют следующие усредненные характеристики массива – объемный вес, сцепление пород, сопротивление пород сдвигу по потенциальной поверхности скольжения:

$$\gamma_{ch} = \frac{\sum \gamma_i m_i}{\sum m_i}, \quad (9)$$

сцепление

$$c_{cp} = \frac{\sum c_i l_i}{\sum l_i}, \quad (10)$$

сопротивление сдвигу

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{\sum \operatorname{tg} \varphi_i \sigma_i l_i}{\sum \sigma_i l_i}, \quad (11)$$

где γ_i – объемный вес пород i -го слоя; m_i – мощность i -го слоя; c_i – сцепление i -го слоя; l_i – длина

участка поверхности скольжения в пределах i -го слоя; φ_i – угол внутреннего трения i -го слоя; σ_i – нормальные напряжения в пределах участка поверхности скольжения, проходящей в пределах i -го слоя.

Величина сцепления в массиве пород при наличии развитой трещиноватости определяется по зависимости:

$$c_M = \frac{c_i - c'_i}{1 + c \ln m_i W_i} + c'_i, \quad (12)$$

где c'_i – сцепление по трещинам в породах i -го слоя, c – коэффициент, зависящий от степени трещиноватости и сцепления в образце, изменяется в пределах 0,5–10;

w_i – средняя интенсивность трещиноватости (среднее количество трещин, приходящееся на 1 м) в пределах i -го слоя.

Опыт отработки месторождений с крутым (более 30°) залеганием слоев свидетельствует о характерных особенностях проявления деформаций в этих условиях, заключающихся в том, что даже при пологих углах наклона борта возникают значительные деформации верхней части прибортового массива без нарушения его общей устойчивости (т.е. до достижения им предельного состояния). При крутых углах падения естественной поверхности ослабления, если этот угол много больше угла внутреннего трения, коэффициент устойчивости определяется по известной формуле, предложенной Иофиним С.Л. [2]:

$$K_y = \frac{P \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi' + C' S}{P \sin \alpha}, \quad (13)$$

где P – масса всей призмы возможного обрушения; S – площадь потенциальной поверхности обрушения; C' и φ' – расчетное сцепление и расчетный угол внутреннего трения по потенциальной поверхности скольжения; α – угол наклона поверхности ослабления, по которой возможно обрушение.

Расчетные значения сцепления C' и угла внутреннего φ' трения определяются по данным, определяемым на образцах в пересчете на массив и с введением в последние минимального значения коэффициента устойчивости $K_y = 1,2$.

Расчетное сцепление пород определяется по формуле [2]

$$C' = \frac{C_0}{k_y}, \quad (14)$$

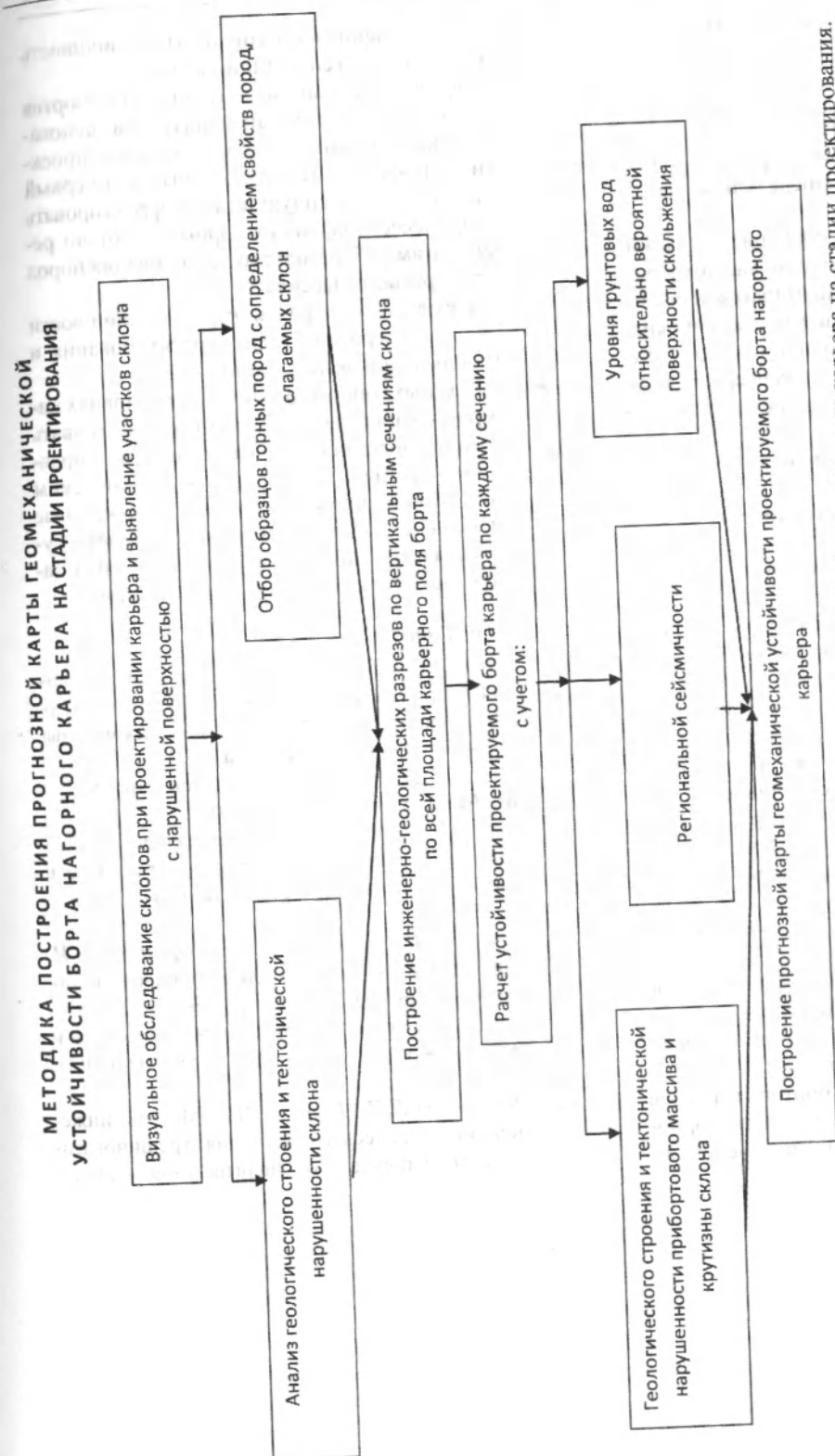


Рис. 1. Методика построения прогнозной карты геомеханической устойчивости борта нагорного карьера на стадии проектирования.

Расчетный угол внутреннего трения

$$\varphi'_p = \frac{\arctg \varphi}{k_y} \quad (15)$$

здесь k_y – расчетное значение коэффициента устойчивости; C_0 – сцепление пород; φ – угол внутреннего трения пород, определенные на образцах соответственно.

Полученные значения коэффициента устойчивости наносим на топооснову по каждому разрезу в соответствии с выбранным шагом и соединяем точки с равными значениями коэффициента устойчивости, т.е. строим изолинии равных значений K_y , затем в пределах борта карьера выделяем области со значениями коэффициента устойчивости:

- больше нормативной устойчивости – это, как правило, $K_y = 1,5-2,0$;
- равным нормативной устойчивости $K_y = 1,3-1,5$;
- меньше нормативной устойчивости $K_y = 1,0-1,2$.

На рис. 1. показаны основные узлы методики построения прогнозной карты устойчивости проектируемого борта нагорного карьера.

Отличие в построении карт устойчивости борта нагорного карьера на стадии проектирования от стадии эксплуатации состоит в том, что на этом этапе следует оценивать устойчивость склона. Оценка устойчивости борта карьера производится в пределах нескрытого карьерного поля, и основной задачей на этом этапе является установление угла откоса борта карьера и его высоты, обеспечивающей устойчивость борта карьера при его строительстве и эксплуатации.

Для рудных месторождений при открытой их разработке основными принципами ведения горных работ, обеспечивающих их безопасность, являются:

- расчетные углы откосов бортов карьеров и уступов должны соответствовать горно-геологическим и геомеханическим условиям

- месторождения и обеспечивать устойчивость на весь срок эксплуатации карьера;
- коэффициент запаса устойчивости бортов карьера следует устанавливать на основании разведочных данных на стадиях проектирования, строительства карьера, в первый период его эксплуатации, корректировать в процессе понижения горных работ по результатам лабораторного тестирования пород прибортового массива;
- необходимо построить карту устойчивости борта карьера на стадии проектирования и уточнять при эксплуатации;
- в сложных горно-геологических условиях нагорных карьеров необходимо разрабатывать специальные инженерные методы по управлению устойчивостью и геомеханическим состоянием прибортового массива, которые включают выбор обоснования паспорта буровзрывных работ, скорость продвижения забоя, маневрирование горными работами.

Литература

1. Гурин А.Н., Цевелев П.А. Оценка условий локальных деформаций высоких уступов при крутопадающих поверхностях ослабления массива // Записки Горного института. – Т. 146. – 2001.
2. Иофин С.Л. Устойчивость бортов карьеров. – М.: Металлургиздат, 1953. – 91 с.
3. Попов И.И., Окатов Р.П., Низаметдинов Ф.К. Механика скальных массивов и устойчивость карьерных откосов. – Алма-Ата: Наука, 1986. – С. 255.
4. Ильин А.И., Гальперин А.М., Стрельцов В.И. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах. – М.: Недра, 1985. – С. 248.
5. Газиев Э.Г. Устойчивость скальных массивов и методы их закрепления. – М.: Стройиздат, 1979. – 160 с.
6. Нейштадт Л.И., Пирогов И.А. Методы инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород. – М.: Энергия, 1969. – 248 с.

УДК 624.121:539.319, 517.518.45

Применение рядов Фурье в исследовании распределений остаточных напряжений в твердых телах

А.А. АМАНАЛИЕВ – канд. физ.-мат. наук

In this paper is given the substantiation of using of series Fourier in distribution research of residual stresses in solid bodies.

Для эффективной и экономически выгодной разработки месторождений или строительства геотехнических сооружений требуется при минимальных затратах создать устойчивую область вокруг выработок или сооружений. В этом случае наряду с другими возникают и задачи, связанные с установлением возможных очагов формирования горных ударов, их предотвращением или эффективной защитой от них. В происходящих в массивах горных пород катастрофических процессах немалую роль играет и величина остаточных напряжений.

В настоящее время не разработаны подходы к решению задач по определению напряженного состояния массивов горных пород с остаточными напряжениями. В существующих методах определения напряженного состояния массивов горных пород влияние остаточных напряжений не учитывается по нескольким причинам. Основными из которых, на наш взгляд, являются: сложность определения остаточных напряжений в массиве горных пород, малая изученность механизма проявлений остаточных напряжений и их влияние на напряженное состояние массива, отсутствие разработанных рекомендаций и методов учета проявлений остаточных напряжений в инженерной практике. Поэтому задачи математического моделирования распределения остаточных напряжений в массиве горных пород и их влияния на процессы, происходящие в массиве, являются актуальной проблемой геомеханики.

В этой связи целесообразна разработка комбинированных экспериментально-расчетных методов решения задач, связанных с остаточными напряжениями. Для разработки таких методов необходимо вести исследования для выяснений природы и закономерностей проявлений остаточных напряжений по следующим направлениям: 1) создание физической модели проявления остаточных напряжений; 2) проведение лабораторных исследований на разрушение пород с остаточными напряжениями; 3) анализ экспериментальных данных математическими методами; 4) создание математических моделей проявлений остаточных напряжений по результатам анализа экспериментальных данных; 5) разработка практических методов исследования остаточных напряжений в массиве горных пород на основе полученных знаний.

По первым двум направлениям уже ведутся работы и накоплен достаточный материал для дальнейших исследований. Для решения задач по применению результатов этих исследований на практике необходимо обратить особое внимание на проведение исследований по третьему и четвертому направлениям.

В работе [1] перечислены природные процессы, которые приводят к возникновению остаточных напряжений: 1) пространственно неравномерная упругопластическая деформация под действием тектонических и гравитационных напряжений; 2) неравномерное охлаждение магматогенных образований физически гетерогенного

породного массива и физико-химические процессы, обуславливающие метаморфизм пород. Исходя из изложенного можно выделить следующие главные факторы формирования остаточных напряжений в горных породах: температура, давление и метаморфизм горных пород при совместном действии температуры и давления. Тогда остаточные напряжения можно условно разделить по факторам их формирования как температурные, нагрузочные и метаморфические, каждая из которых, по нашему мнению, имеет свою специфику в механизме формирования и, как следствие этого, в механизме последующих проявлений.

В работах [1, 3] приведены результаты поляризационно-оптического метода моделирования на твердых оптически активных образцах с температурными остаточными напряжениями двух видов. Образцы, в которых остаточные напряжения получены случайным образом при их изготовлении, и образцы, в которых остаточные напряжения специально наведены термообработкой после их изготовления.

В [1, 2, 3] анализируются экспериментальные данные по остаточным напряжениям, из которых следует, что: 1) остаточные напряжения даже в однородной среде имеют периодический характер изменений, т.е. если даже и не меняют знак на противоположный, то, во всяком случае, постоянно (скачкообразно) меняют направление и величину; 2) в некоторых случаях однажды сформировавшиеся остаточные напряжения под воздействием природных сил (температурных, гравитационных и т.д.) могут оставаться без изменения в течение продолжительного времени. Таким образом, экспериментальные данные, которые нужно аппроксимировать, как видно из анализа этих данных, обладают скачкообразной и периодической изменчивостью величины, т.е. на графиках имеется большое количество экстремумов.

Во многих случаях ставятся задачи – определить на основе таблиц или графиков, полученных после статистической обработки опытных данных, аналитическую функцию, аппроксимирующую эти данные. Когда функция имеет на заданном интервале большое количество экстремумов, применяется приближение по методу наименьших квадратов с использованием полинома или тригонометрических функций.

Наиболее приемлема для анализа таких данных тригонометрическая аппроксимация на основе рядов Фурье. Применение полиномов в этом

случае даст степенные ряды очень большого порядка, которые при последующем использовании в аналитических выражениях затруднят вычисления. Также при больших степенях полиномиального ряда появляются дополнительные погрешности аппроксимации [4].

На основе вышесказанного можно заключить, что для математической обработки экспериментальных данных по остаточным напряжениям и последующего их использования (установления функциональных зависимостей, выявления периодичностей, получения математических соотношений, описывающих распределение напряжений по всему образцу, и т.д.) целесообразно использовать приближенный гармонический анализ ввиду периодического изменения величин напряжений, полученных экспериментальным путем.

Для вычисления коэффициентов ряда Фурье в приближенном гармоническом анализе используются формулы Бесселя. Методика вычисления коэффициентов ряда Фурье с помощью формул Бесселя приведена ниже.

Пусть функция $y = f(x)$ с периодом T и частотой $\omega = \frac{2\pi}{T}$ задана своими известными значениями y_k в точках x_k , ($k = 0, 1, \dots, 2n$). Искомую периодическую функцию $y = f(x)$ можно заменить точно или приближенно тригонометрической суммой [5, 6]:

$$S_n(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cos k\omega x + b_k \sin k\omega x), \quad (1)$$

где a_k, b_k – коэффициенты ряда (1), называемые коэффициентами Фурье, вычисляются по формуле Эйлера:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos k\omega x \, dx, \quad b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin k\omega x \, dx. \quad (2)$$

Для приближенного вычисления n -й суммы ряда Фурье (1) интегралы в (2) заменяются суммами по одной из формул приближенного интегрирования. Наиболее подходящим для данного случая является формула трапеции [5]:

$$\int_a^b y \, dx \approx \frac{h}{2} (y_0 + 2y_1 + 2y_2 + \dots + y_n), \quad h = \frac{b-a}{n}.$$

С помощью такой замены получены следующие формулы Бесселя:

$$na_0 = \sum_{k=0}^{2n-1} y_k, \quad na_m = \sum_{k=0}^{2n-1} y_k \cos \frac{k m \pi}{n}, \quad nb_m = \sum_{k=0}^{2n-1} y_k \sin \frac{k m \pi}{n}, \quad (3)$$

где $x_k = \frac{kT}{2n}$ и $y_k = f(x_k)$ – абсцисса и ордината точек деления, $k = 0, 1, \dots, 2n$, $m = 1, 2, \dots, n$, $b_n = 0$.

Тригонометрическая сумма

$$S_n(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cos k\omega x + b_k \sin k\omega x), \quad r < n \quad (4)$$

даст наилучшее приближение к функции, заданной ординатами y_k ($k = 0, 1, \dots, 2n$), когда ее коэффициенты вычислены по формулам Бесселя.

В случае $r = n$ коэффициенты суммы (4), вычисленные по формулам Бесселя, принимают заданные значения y_k при $x = x_k$ и являются тригонометрической интерполяцией для заданной периодической функции.

Экспериментальные данные – это в основном дискретные величины, поэтому для получения на их основе функциональных зависимостей и последующего математического анализа применение формул Бесселя (3) позволяет перейти от дискретных значений эксперимента к приближенным математическим функциям, разложенным в ряды Фурье вида (4). Приближение проводится по методу наименьших квадратов, и поэтому средняя квадратическая ошибка $\delta^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [f(x) - S_n(x)]^2 dx$ будет наименьшей.

В исследованиях [1, 3] поляризационно-оптическим методом моделирования образцов с остаточными напряжениями были получены величины компонент напряжений ввиду специфики метода по двум осявым (горизонтальному и вертикальному) сечениям образцов.

Коэффициенты рядов Фурье этих величин были вычислены по формуле Бесселя (3). На основе анализа экспериментальных данных и формул (3) и (4) получены следующие математические зависимости для осевых сечений образцов:

1) горизонтальное сечение

$$\sigma_x = \frac{\bar{a}_0}{2} + \sum_{k=1}^n (\bar{a}_k \cos k\omega x + \bar{b}_k \sin k\omega x),$$

$$\sigma_y = \frac{\bar{a}_0}{2} + \sum_{k=1}^n (\bar{a}_k \cos k\omega x + \bar{b}_k \sin k\omega x), \quad (5)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\bar{a}_0}{2} + \sum_{k=1}^n (\bar{a}_k \cos k\omega x + \bar{b}_k \sin k\omega x).$$

2) вертикальное сечение

$$\sigma_x = \frac{\bar{a}_0}{2} + \sum_{j=1}^m (\bar{a}_j \cos j\omega y + \bar{b}_j \sin j\omega y),$$

$$\sigma_y = \frac{\bar{a}_0}{2} + \sum_{j=1}^m (\bar{a}_j \cos j\omega y + \bar{b}_j \sin j\omega y), \quad (6)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\bar{a}_0}{2} + \sum_{j=1}^m (\bar{a}_j \cos j\omega y + \bar{b}_j \sin j\omega y),$$

где $a_0, a_k, b_k, \bar{a}_0, \bar{a}_k, \bar{b}_k, \bar{a}_0, \bar{a}_k, \bar{b}_k, k = \overline{1, n}$ – соответствующие коэффициенты ряда Фурье по горизонтальному сечению, $a_0, a_j, b_j, \bar{a}_0, \bar{a}_j, \bar{b}_j, \bar{a}_0, \bar{a}_j$,

$\bar{b}_j, j = \overline{1, n}$ – по вертикальному сечению, ω и ω – круговые частоты по длине и высоте образца соответственно.

По описанному методу составлена программа расчета для вычисления коэффициента Фурье a_k и b_k ряда (5) и (6). Были проведены расчеты и получены коэффициенты ряда Фурье для величины главных и максимальных касательных напряжений по горизонтальной и вертикальной сечениям вдоль осей симметрии по данным для 14 однородных образцов. Для проверки достоверности полученных результатов были построены графики исходных экспериментальных и расчетных данных. Эти графики в основном совпадали во всех точках, кроме некоторых графиков, где на границе образца имелись небольшие расхождения. Данный факт объясняется тем, что при измерении данных в ходе физического моделирования величины напряжений измерялись ввиду специфики оптического метода моделирования, не на самой границе, а в точке, лежащей близко к границе.

Предлагаются два способа устранения данной проблемы. Первый способ – искусственного удлинения образца за его пределы, где остаточные напряжения равны нулю. Второй – с помощью полинома простого вида (первого и второго порядков) свести к нулю значения напряжений на границе [4]. Выбор способа устранения проблемы будет зависеть от выполнения условия равенства соответствующих напряжений в точке пересечения сечений.

Полученные соотношения для нормальных и касательных компонент остаточных напряжений (5) и (6) описывают распределение этих напряжений по горизонтальным и вертикальным сечениям образца для экспериментальных данных. Эти соотношения будут использованы в дальнейшем для математического моделирования распределения остаточных напряжений по всему образцу.

Таким образом, обоснована и разработана методика расчета математических соотношений для равностоящих точек данных эксперимента с применением рядов Фурье и получены основные соотношения, описывающие поведение нормальных и касательных компонент остаточных напряжений по экспериментальным данным для двух взаимно перпендикулярных (осевых) сечений.

Литература

1. Айтматов И.Т. Геомеханические условия в зонах очагов горных ударов и техногенных землетрясений // Тр. Междунар. науч. конф. «Совре-

- менные концептуальные положения в механике горных пород. – Бишкек: Илим, 2002. – С. 8–35.
2. Айтматов И.Т., Тажиббаев К.Т. Проявление остаточных напряжений в деформации горных пород при их нагружении // Физика и механика разрушения горных пород. – Фрунзе: Илим, 1987. – С. 34–64.
 3. Айтматов И.Т., Тажиббаев К.Т., Казакбаева Г.О. О пространственном распределении действующих и остаточных напряжений в горных породах // Тр. Междунар. научной конф.

«Современные концептуальные положения в механике горных пород». – Бишкек: Илим, 2002. – С. 223–230.

4. Ланцош К. Практические методы приближенного анализа. – М.: Физматгиз, 1961. – 524 с.
5. Бронштейн И.И., Семендяев К.Л. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Гостехиздат, 1960. – 608 с.
6. Смирнов В.И. Курс высшей математики. – Т 2. – М.: Гостехиздат, 1953. – 627 с.

УДК 624.131:577.4 (575.2) (04)

Оценка геотехнических рисков методами факторного анализа

Ю. Г. АЛЕШИН – канд. техн. наук

Presented methods scratch assessment destructions geotechnical object in condition of the complex affecting factor. On example uranium tailing dumps in Mayluu-Su it's shown change the features to its stabilities at time. The analytical dependencies are brought for calculation of the probabilistic features of the scratch of the destruction like object.

Эффекты воздействия некоторых факторов на какое-либо свойство природно-техногенного объекта могут быть достаточно хорошо угаданы или довольно точно предсказаны, исходя из существующей теории. Однако не найдется такого объекта, который, во-первых, находился бы под воздействием только одного изменяющегося во времени фактора или имел бы одно интересующее геолога и владельца объекта свойство. Многие из свойств объекта, условия их формирования невозможно удовлетворительно объяснить на основе существующих теорий. Например, для объяснения эффекта сверхдальнего распространения крупных оползней привлекаются различного рода феноменологические теории: изменение закона трения; влияние воздушной подушки при захвате его внутрь оползня во время быстрого турбулентного движения оползневых масс; мощные акустические колебания, генерируемые в движущейся

горной массе. Системный подход к прогнозированию сложных природно-техногенных объектов означает максимально возможный учет совокупности факторов и параметров, характеризующих объект и взаимосвязи между ними. В процессе исследования эксперт-прогнозист вынужден выбирать компромиссный вариант между числом переменных в описании объекта и сложностью и трудоемкостью анализа и прогноза. Если к тому же большинство или все из этих факторов имеют стохастический характер, то задача значительно усложняется. Методы снижения размерности описаний сложных объектов в связи с этим являются весьма актуальными в анализе риска.

В последние годы значительные успехи были достигнуты в области теории и практики использования факторного анализа в решении задач снижения размерности и системного исследования сложных стохастических комплексов. Г. Харман

[1] указывает на большое разнообразие методов факторного анализа и их модификаций, которые известны в настоящий момент.

Воспользуемся методикой факторного анализа для оценки риска оползневой разрушения хвостохранилища №3 радиоактивных отходов в г. Майлуу-Суу. В качестве главных влияющих факторов определим следующие: $f_1 = H_{\text{ск}}$ – абсолютное значение уровня грунтовых вод в теле хвостохранилища на участке дамбы обвалования – величина случайная с математическим ожиданием H и стандартном σ_H ; $f_2 = J_{\Delta}$ – интенсивность сейсмических воздействий на территории г. Майлуу-Суу; $f_3 = V_{\text{пр}}$ – объем пролювиально-делювиальных наносов в чаше хвостохранилища в задаче первого типа и объем оползневых масс после обрушения верхней оползневой полки в задаче второго типа. Две постановки задачи связаны с тем, что при оползневом обрушении верхней оползневой полки в чашу хвостохранилища за счет инерционного продвижения оползневые массы пригрузят также и низовой откос дамбы. В качестве выходных переменных или характеристик состояния хвостохранилища выберем следующие: $y_1 = FS$ – средний запас устойчивости; $y_2 = PF$ – вероятность оползневой разрушения дамбы; $y_3 = RI$ – индекс надежности объекта; $y_4 = V$ – объем неустойчивой части хвостохранилища, который может быть вовлечен в оползневой процесс при данном значении FS . Заметим, что величина FS определена после поиска наиболее опасной плоскости скольжения, т.е. выполняются условия $FS \rightarrow \min$ при любом сочетании влияющих факторов.

Понятно, что реальный объект не допускает проведения каких-либо активных экспериментов на нем с тем, чтобы оценить его реакцию на определенные сочетания влияющих факторов. Поэтому задача факторного анализа решается путем имитационного математического моделирования, а выходные переменные получаются после проведения соответствующих аналитических расчетов (рис.1). Не вдаваясь здесь в детали создания такой модели и самой расчетной схемы, заметим только следующее: структура объекта содержит 9 элементов (разновидностей грунтов) со случайными характеристиками физико-механических свойств при их вариации в среднем от 10 до 15%, что указано в табл. 1, а в качестве расчетной схемы использован вероятностный анализ устойчивости по методу полного склона с критериями устойчивости Бишоп и Джанбу [2].

Полученные данные использовались далее в стандартной процедуре многомерной нелинейной регрессии для получения уравнения, связывающего показатели устойчивости FS и RI с влияющими факторами. После проверки коэффициентов уравнений на значимость, а уравнений в целом – на адекватность, последние можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \text{➤ средний запас устойчивости хвостохранилища в условиях первого состояния грунтов} \\ \text{прослой №7 и многолетней пригрузки его} \\ \text{чаши делювиально-пролювиальными грун-} \\ \text{тами:} \\ \bar{FS}_1 = 1,387H_{\text{ск}}^2 \cdot 10^{-5} + 5,519H_{\Delta} \cdot J_{\Delta} \cdot 10^{-5} - \\ - 0,0136J_{\Delta}^2 + 15,413 \pm 0,0546 \end{aligned} \quad (1)$$

➤ индекс надежности объекта:

$$\bar{RI}_1 = 0,0003H_{\text{ск}}^2 + 0,0023H_{\Delta} \cdot J_{\Delta} - 0,4196J_{\Delta}^2 + 352,5784 \pm 0,5. \quad (2)$$

Аналогичные уравнения получены для условий оползневой пригрузки дневной поверхности хвостохранилища и второго состояния суглинистого прослой №7.

Полученные уравнения обладают очень высокой объясняющей результаты имитационного моделирования способностью при отсутствии мультиколлинеарности и гетероскедстичности. Достаточно заметить, что коэффициент множественной корреляции между результатами имитационного моделирования и вычисленными значениями по приведенным уравнениям составляет в среднем 0,97, достигая в отдельных случаях значения 0,99. Эти уравнения достаточно просто и оперативно позволяют оценить или прогнозировать геомеханическое состояние объекта в условиях имеющейся информации: об уровне стояния грунтовых вод; интенсивности сейсмических воздействий; объеме пригрузки дневной поверхности объекта пролювиально-делювиальными наносами или оползневыми массами; о значении прочностных характеристик компетентного слоя (суглинки, прослой №7).

Для удобства в оперативной работе по уравнениям (1) и (2) могут быть построены графики. Пример приведен на рис. 2. В тех случаях, когда необходим временной прогноз устойчивости объекта, например, в форме ответа на вопрос: какова вероятность разрушения объекта за интервал времени ΔT в результате влияния комплекса факторов, то процедура прогноза несколько усложняется, поскольку на указанном временном интервале действует некоторое множество сейсмических

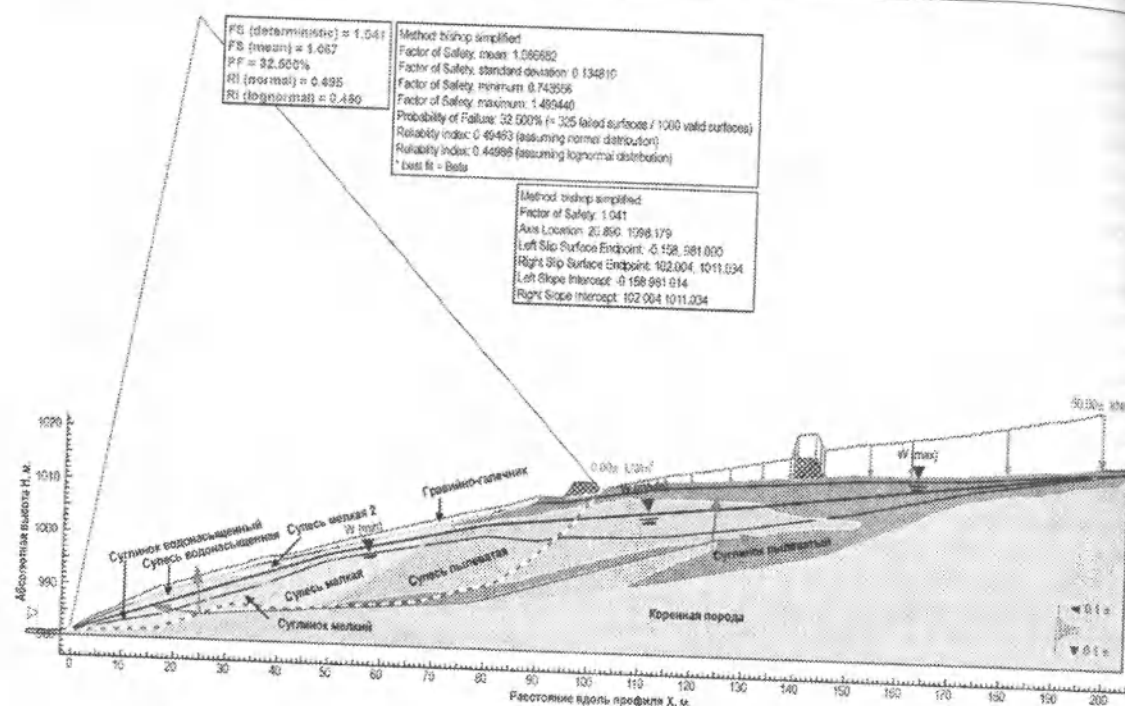


Рис. 1. Расчетная модель для оценки устойчивости низового откоса дамбы хвостохранилища № 3 в г. Майлуу-Суу.

толчков различной интенсивности, некоторые из них по вероятности могут быть разрушительными. Схема анализа риска разрушения объекта при этом может выглядеть следующим образом.

Прежде всего необходимо по данным сейсмического мониторинга или, в крайнем случае, на основе анализа кадастра землетрясений в радиусе до 200 км от изучаемой территории определить повторяемость $T_{кр}$ землетрясений на ней различной интенсивности J_{Δ} . Воспользовавшись каталогом NEIC сейсмической службы США, а также рекомендациями [3, 4] по прогнозу землетрясений, после обработки имеющихся данных для территории Майлуу-Суу будет получена зависимость числа землетрясений в год интенсивностью J_{Δ} , условная плотность вероятности $f(t/J_{\Delta}^*)$ которого описывается зависимостью

$$f(t/J_{\Delta}^*) = \frac{1}{T_{кр}(J_{\Delta}^*)} \exp\{-t/T_{кр}(J_{\Delta}^*)\}, \quad (3)$$

можно получить функцию выживания интенсивности землетрясения J_{Δ}^* для любого фиксированного временного интервала прогноза $P(J_{\Delta} > J_{\Delta}^*/\Delta T)$.

Распределение вида $F(J_{\Delta} > J_{\Delta}^*/\Delta T)$ относится к типу распределений экстремальных значений.

Хорошей аппроксимацией двумерной плотности вероятности выживания $\varphi(J_{\Delta}, \Delta T)$ может служить функция

$$\varphi(J_{\Delta}, \Delta T) = \alpha \Delta T c \cdot \lambda^c J_{\Delta}^{c-1} \cdot \exp\{-(\lambda J_{\Delta}^c)\} \cdot \exp\{-\alpha \Delta T \exp\{-(\lambda J_{\Delta}^c)\}\}, \quad (4)$$

где для условий Майлуу-Суу: $\lambda = 0,45$; Балл¹; $c = 1,713$.

Далее следует воспользоваться выражениями (1) и (2) и рассчитать для искомого временного интервала (ΔT) функции $\bar{F}_{S_i}(H_{r,z}, m(J_{\Delta}^*/\Delta T), V(\Delta T))$ и $D(\bar{F}_{S_i}) = D(\sigma^2 H_{r,z}); D(J_{\Delta}^*/\Delta T); \sigma^2(V(\Delta T))$, которые в итоге позволят оценить вероятность оползневой разрушения объекта PF за интервал времени ΔT . При этом достаточно обоснованной будет модель нормального закона распределения \bar{F}_{S_i} , при которой вероятность обрушения PF_i оценивается следующим образом:

$$PF_i(H_{r,z}, J_{\Delta}, V_{op}, \Delta T) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp\{-x^2/2\} dx, \quad (5)$$

$$\text{где } z = \frac{\bar{F}_{S_i} - 1}{\sqrt{D(\bar{F}_{S_i})}} \leq 0,3.$$

Результаты расчета прогнозных, вероятностных характеристик устойчивости рассматриваемого нами геотехнического объекта (хвостохрани-

Таблица 1

Физико-механические свойства грунтов, слагающих хвостохранилище № 3 в г. Майлуу-Суу

№ п/п	Литотип	Плотность Δ , г/см ³		Сцепление C , кПа		Угол внутреннего трения φ , град.	
		Среднее	Стандарт. откл.	Среднее	Стандарт. откл.	Среднее	Стандарт. откл.
1.	Гравийно-галечник	1,80	0,1	5,0	2,0	36	2,0
2.	Супесь водонасыщ.	2,0	0,05	3,0	1,0	30	1,0
3.	Суглинок водонасыщ.	1,9	0,05	0	0	20	0,5
4.	Суглинок + песок мелкозернистый	2,0	0,1	16,5	1,0	20	1,0
5.	Супесь 1 + песок мелкозернистый	2,1	0,1	15,0	1,0	33	1,0
6.	Супесь 2 + песок мелкозернистый	2,1	0,1	18,0	1,0	33	1,0
7.	Суглинок + супесь пылеватая водонасыщенные	1,8	0,1	1,0	1,0	30* / 26	1,3
8.	Супесь пылеватая + песок тонкозернистый	2,0	0,1	22,0	1,0	23	1,0
9.	Нижнемеловой песчаник и алевролит	2,57	0,04	10000	2000	65	5

Примечание: * в первом варианте среднее значение $\bar{\varphi} = 30^\circ$, во втором варианте $\bar{\varphi} = 26^\circ$.

лища № 3 в Майлуу-Суу) представлены на рис. 3. Расчеты показывают следующее:

Временной прогноз среднего значения запаса устойчивости хвостохранилища № 3 в Майлуу-Суу можно производить, основываясь на следующей зависимости:

$$\bar{F}_{S_i}(\Delta T, \varphi, V) = (0,05\varphi - 0,1)(1 - 0,912 \cdot 10^{-3} V_{кр}^{1,23}) [1 - (0,2408 - 0,006\varphi)(\Delta T)^{1,6}], \quad (6)$$

для условий: угол внутреннего трения компетентного слоя $23^\circ < \varphi < 34^\circ$; объем оползневых масс пригрузки хвостохранилища $V_{кр} \leq 50$ тыс. м³.

Угол внутреннего трения компетентного слоя $\varphi = 25^\circ$ является предельным, при котором происходит потеря устойчивости низового откоса дамбы хвостохранилища и при котором в процесс обрушения могут быть вовлечены материалы захоронения в объеме от 35 до 42% от общего объема; подобное обрушение происходит даже без пригрузки объекта оползневыми массами. При наиболее вероятном значении $\varphi = 27^\circ$ среднее «время жизни» $\Delta T_{ж}$ хвостохранилища составит ~ 150 лет. В случае наиболее вероятной оползневой

пригрузки в объеме $V_{кр} \sim 20$ тыс. м³ среднее «время жизни» объекта составит ~ 110 лет.

Эти значения нетрудно получить из (6), положив $\bar{F}_{S_i}(\Delta T) = 1$, откуда

$$\Delta T_{ж} = \arg\{\bar{F}_{S_i}(\Delta T) - 1 = 0\}$$

$$\varphi_{-} = \varphi_{+}; V_{кр} = V_{кр}^{+}$$

или в явном виде:

$$\Delta T_{ж} = \arg\left\{ \frac{0,05\varphi - 0,1(1 - 0,912 \cdot 10^{-3} V_{кр}^{1,23})}{[0,05\varphi - 0,1(1 - 0,912 \cdot 10^{-3} V_{кр}^{1,23}) - 1]} - 1 \right\}^{1,6}. \quad (7)$$

2. Индекс надежности объекта $RI/\Delta T$ является существенно нелинейной функцией времени, в значительной мере определяемой величиной оползневой пригрузки. При этом наибольшая скорость снижения надежности наблюдается в первые 10 прогнозных лет: при $\varphi = 27^\circ$ индекс надежности в этот период снижается с ~ 2,5 до 1, а в последующие 100 лет – с 1 до 0,2. При оползневой пригрузке $V_{кр} \sim 20$ тыс. м³ индекс надежности в первые 10 лет уменьшается почти вдвое.

3. Вероятность обрушения объекта целиком определяется поведением во времени двух рассмотренных выше характеристик, при этом для

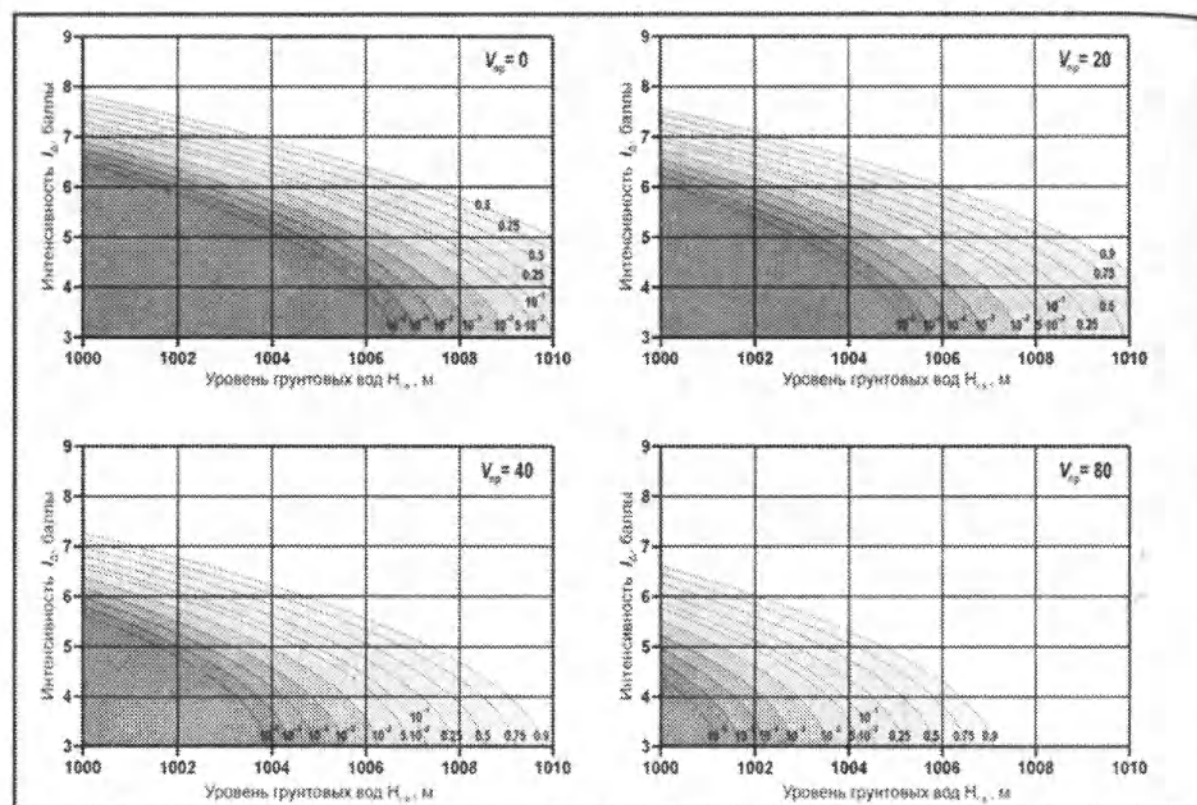


Рис. 2. Область существования объекта с различной вероятностью обрушения в пространстве основных влияющих факторов (H_0 , J_0 , V_0) в условиях оползневой пригрузки хвостохранилища.

ее оценки при горизонте прогноза $\Delta T < 100$ лет может использоваться нормальная модель распределения запаса устойчивости объекта, а в интервале $\Delta T < 100$ лет следует перейти к логарифмически нормальному распределению величины FS . Вслед за индексом надежности резкое возрастание вероятности обрушения объекта наблюдается в первые 10 лет прогноза. Следует отметить очень высокий риск обрушения, который при горизонте прогноза в 10 лет для средних значений $\varphi_r = 27^\circ$ составляет 20%. Оползневая пригрузка в объеме ~ 20 тыс. m^3 увеличивает этот риск почти вдвое.

4. Интенсивность аварий на объекте $h(t)$ в виде частоты возможных оползневых обрушений дамбы хвостохранилища за промежуток времени, равный одному году, является функцией времени; она довольно быстро возрастает и достигает совершенно неприемлемой величины ~ 1 обрушения / год за 1000 лет при $\varphi_r = 30^\circ$ и за 70 лет при $\varphi_r = 26^\circ$ даже без учета оползневой пригрузки чаши хвостохранилища или изменения прочностных

характеристик грунтов дамбы. Факт увеличения интенсивности аварий на объекте со временем определяется целиком вероятностью возрастания крупных сейсмических воздействий и тем большей, чем дальше горизонт прогноза.

5. Предложенная методика определения функции вероятности выживания интенсивности землетрясений в зависимости от горизонта прогноза позволяет довольно просто дать вероятностные оценки пикового сейсмического ускорения грунтов дамбы хвостохранилища для использования этой оценки в расчетах на сейсмическую устойчивость объекта. Для условий Майлуу-Суу при прогнозе в 10 лет следует использовать среднее значение пикового коэффициента сейсмичности $K_{c,0.5} = (a / \dot{g}) = 0,02$, но с запасом по вероятности $p = 0,95$ он должен составлять $K_{c,0.95} = 0,1$. То же самое в расчетах за 100 лет эксплуатации геотехнических объектов: $K_{c,0.95} = 0,316$, что обеспечивает определенные гарантии надежности оценок устойчивости объектов.

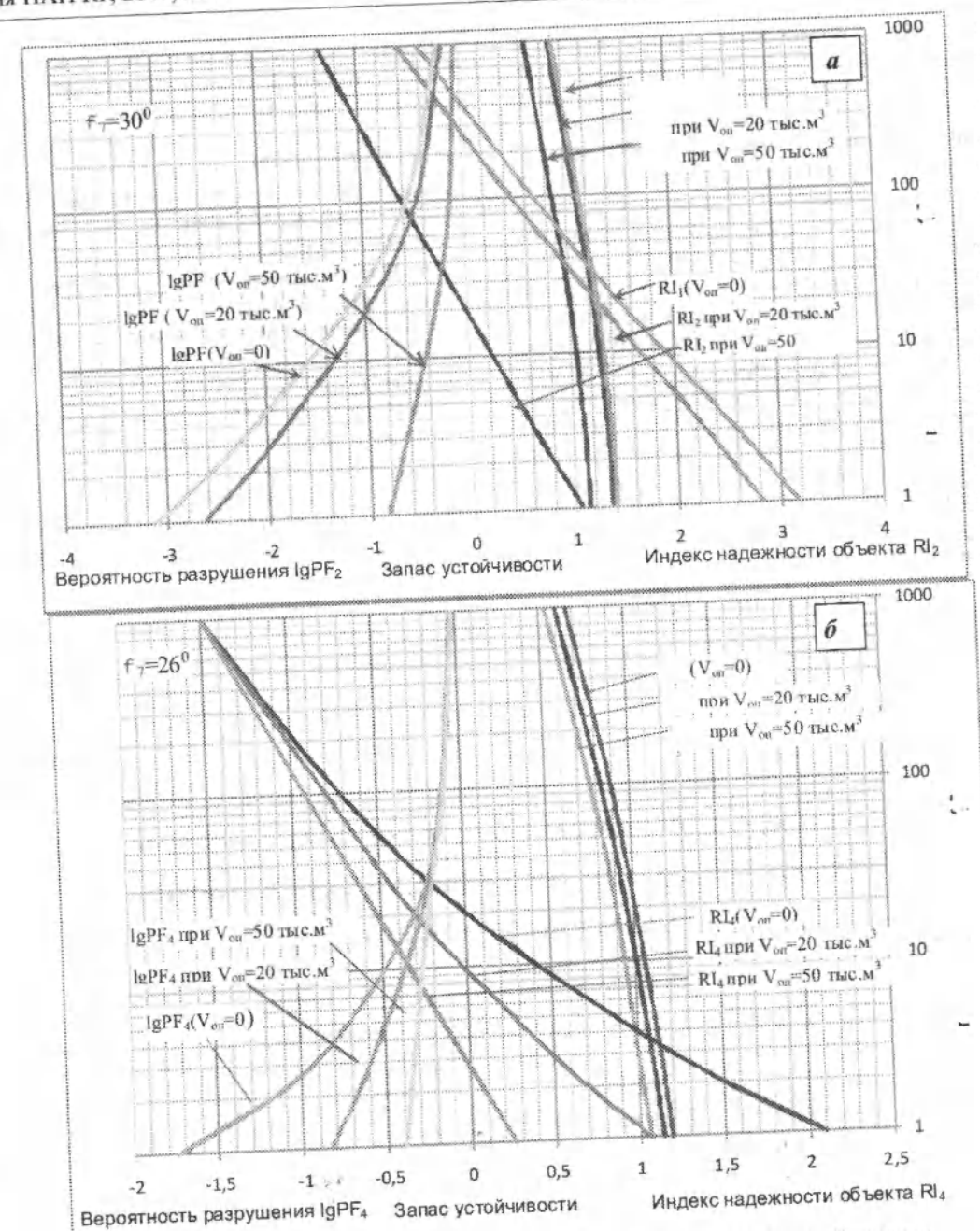


Рис. 3. Изменение прогнозных вероятностных характеристик устойчивости хвостохранилища № 3 в Майлуу-Суу в условиях оползневой пригрузки зависимости от горизонта прогноза T_Δ и угла внутреннего трения компетентного слоя: а) $\varphi = 30^\circ$ б) $\varphi = 26^\circ$.

6. Переходя к общему анализу предложенной схемы использования факторного анализа к выявлению скрытых закономерностей функционирования горнотехнических объектов и перспектив

их безопасности при заданном горизонте прогноза отметим следующие ее особенности.

Комплекс факторов неопределенностей, характерных для поставленной задачи, как это и ожи-

далось, приводит к неоднозначности получаемых результатов. Последнее получает наиболее адекватное выражение в распределенной (вероятностной) форме решений, в которой указывается соответствие между всеми возможными величинами оцениваемого системного параметра (например, времени «жизнь объекта» или запаса его устойчивости) и количественными характеристиками их реализуемости в условиях, создавшихся на реальном объекте, которые служат исходными данными для имитационного моделирования и последующего факторного и / или регрессионного анализа. Рассматриваемая форма представления результатов есть функция текущих и прогнозируемых условий и поэтому выражается через условные вероятностные распределения. Это позволяет обойти сложности, связанные с большой размерностью параметров задачи и, следовательно, многомерностью распределений. Условные распределения, предусматривающие фиксацию большинства фак-

торов, кроме ограниченного их числа (от одного до трех), создают благоприятные условия и простоту их использования при решении прогнозных задач.

Литература

1. Теория прогнозирования и принятия решений / Под ред. С. А. Саркисяна. — М.: Высшая школа, 1977. — 351 с.
2. Оползни. Исследование и укрепление / Под ред. Шустера Р. и Кризека Р. — М.: Мир, 1981. — 368 с.
3. Сейсмический риск и инженерные решения / Под ред. Ломнитца Ц. и Розенблюта Э. — М.: Недра, 1981. — 375 с.
4. Шахрамьян М. А. Оценка сейсмического риска и прогноз последствий землетрясений в задачах спасения населения (теория и практика). — М.: Изд-во ВНИИ ГОЧС, 2000. — 192 с.
5. Хастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. — М.: Статистика, 1980. — 95 с.

УДК 550.34

Параметры сейсмоактивных зон Кыргызстана: повторяемость землетрясений и вероятностная максимальная магнитуда

А.Г.ФРОЛОВА — зав. лаб. региональной сейсмологии
К.Д.ДЖАНУЗАКОВ — ведущий науч. сотр.
Е.В.ПЕРШИНА — инженер
Р.ШУКУРОВА — ст. науч. сотр.
Т.Н.ЯНКЕВИЧ — ст. науч. сотр

Results of studying recurrence interval of earthquakes in seismically active zones are considered in the article. Estimations of maximally possible magnitude of seismic hazard of Kyrgyzstan map development are provided.

Важной составляющей оценки сейсмической опасности является определение повторяемости землетрясений. На основании графиков повто-

ряемости осуществляется переход к максимально возможной магнитуде с вероятностью ее превышения за фиксированное время ожидания. И уже

на основании таких данных строятся вероятностные карты сейсмической опасности.

При оценке повторяемости землетрясений сложно учитывать короткие циклы сейсмической активизации и затишья, поскольку для построения достоверных графиков нужно иметь достаточно представительный материал. Относительно короткий период инструментальных наблюдений и неполнота исторических данных усложняют эту задачу. Использование данных о палеосейсмодислокациях дает возможность скорректировать результат, хотя такие данные тоже не отличаются полнотой. Поэтому при окончательной оценке вероятностной максимальной магнитуды для отдельных зон принимают во внимание весь комплекс имеющихся в наличии данных — сейсмических, сейсмотектонических, геофизических.

В расчетах повторяемости по сейсмическим данным мы использовали каталог землетрясений с энергетическими классами $K \geq 8$ за период наблюдений с 1951 года по настоящее время. Выбор нижнего энергетического предела определялся по западанию точек на графиках повторяемости. Для

большой части территории Кыргызстана в рассматриваемый интервал времени — это землетрясения 8-9 энергетических классов.

График повторяемости (или закон Гуттенберга-Рихтера) в общем виде представляется как

$$\lg N = a - Y * K, \quad (1)$$

где N — среднегодовое число землетрясений данного энергетического класса K , произошедших на единице площади S (обычно $S = 1000 \text{ км}^2$). График повторяемости характеризуется его наклоном Y .

Для перехода к вероятностным значениям максимально возможной магнитуды был использован закон Пуассона, который имеет вид:

$$P = 1 - e^{-t/T}, \quad (2)$$

где t — время ожидания в годах; T — период повторяемости; P — значение вероятности, с которой за это время t произойдет хотя бы одно событие, период повторяемости которого равен T . Для времени ожидания $t = 50$ лет и при заданном значении вероятности $P = 0,1$ период повторяемости из (2) равен 475 годам. Магнитуда этого макси-

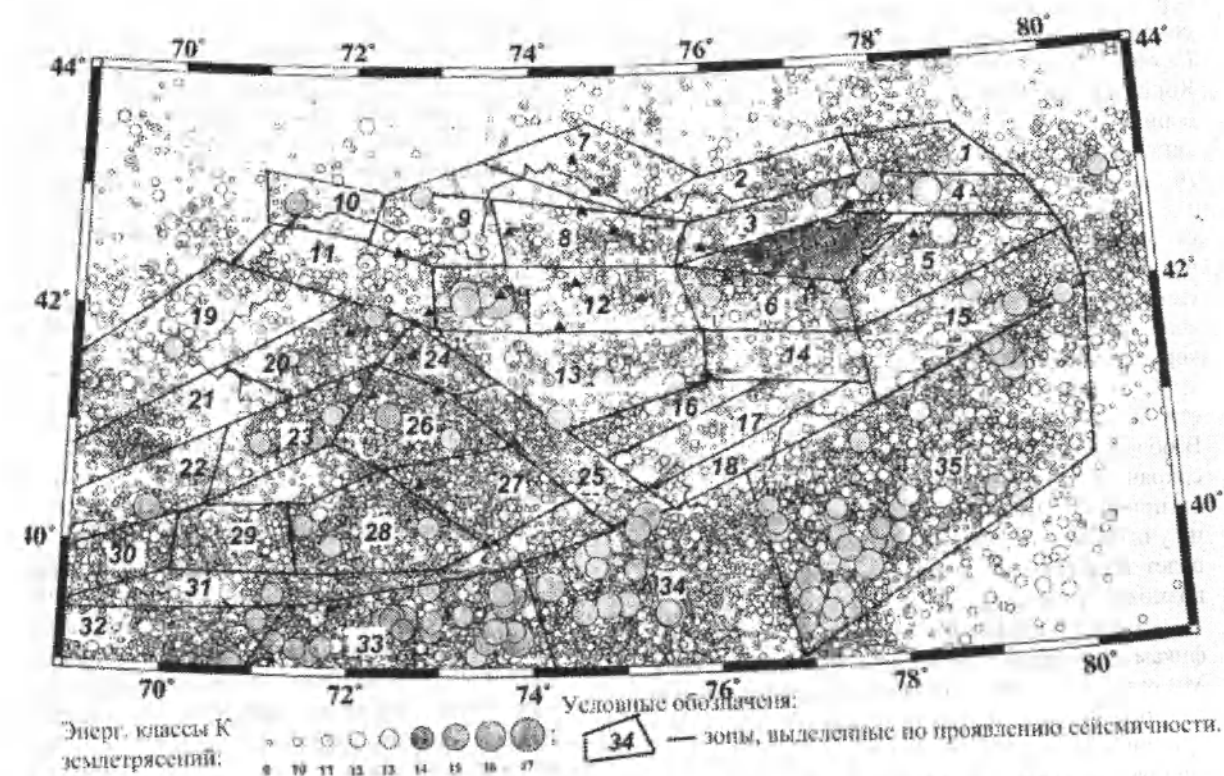


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Кыргызстана за период с 1951 по 2010 год.

мального землетрясения, которое имеет период повторяемости 475 лет, определяется из закона Гутенберга-Рихтера, полученного для этого района экспериментально, т.к. значение N в этом законе связано с периодом повторяемости обратно пропорциональной зависимостью, т.е. $N = 1/T$.

Одним из свойств пуассоновского потока событий является стационарность, поэтому для использования его при решении наших задач каталог землетрясений был очищен от форшоков и афтершоков с целью обеспечения равномерности хода сейсмичности.

На оценку периода повторяемости землетрясений отдельных зон, а значит и на величину вероятностной максимально возможной магнитуды влияет не только рассматриваемый временной диапазон сейсмичности, но и способ выделения и размер этих зон. На рис. 1 представлена карта эпицентров землетрясений за период с 1951 по 2010 год, на которой выделены зоны по проявлению сейсмичности. Для большей детальности отдельные зоны по сейсмичности можно разделить еще и на подзоны. Деление на зоны не ограничивалось территорией Кыргызстана, но и включило приграничные участки соседних государств, которые могут быть сейсмоопасны для нашей республики. В частности, к таким зонам относятся Гармская (32), Алайская (33), Кашгарская (34), Кокшаальская (35) – рис. 1. Для получения достоверных данных графики повторяемости землетрясений были построены не только для выделенных зон, но и для их объединений.

Большая часть графиков повторяемости имеет достаточно высокий коэффициент корреляции переменных, превышающий $-0,9$ и близкий к -1 . Исключением является Суусамырско-Джумгалская зона (рис. 1, зона 12), для которой коэффициент корреляции $-0,894$, несмотря на то, что афтершоки Суусамырского землетрясения по возможности были удалены из использованного каталога. В области землетрясений до 13-го класса график сохраняет свою линейность (рис. 2, справа), но если при аппроксимации экспериментальных точек не учитывать сильные землетрясения, то это приведет к занижению вероятностной максимально возможной магнитуды.

Для Суусамырско-Джумгалской зоны по графикам повторяемости получаются два значения $M_{\max} = 5,8$ и $M_{\max} = 5,0$. Судя по графику повторяемости (рис. 2, справа), Суусамырское землетрясение было неожиданным для этой зоны. Это еще раз говорит о том, что для прогноза возмож-

ных воздействий недостаточно только сейсмических данных и, по крайней мере, нужно привлекать еще данные палеосейсмодислокаций.

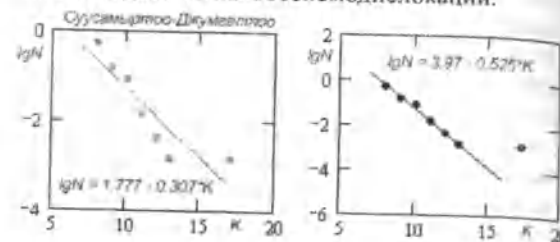


Рис. 2. Графики повторяемости для Суусамырско-Джумгалской зоны.

В последних публикациях [1, 2, 3 и др.] обсуждался вопрос о нелинейности графиков повторяемости. Факт нелинейности графиков повторяемости землетрясений объясняют тем, что очаги крупных событий возникают на больших глубинах и в других сеймотектонических условиях по сравнению со слабыми, приповерхностными. По нашим данным, неравномерность хода графиков повторяемости землетрясений в области энергетических классов $K \leq 13$ зачастую связана с недостаточным количеством использованных землетрясений – слабой сейсмичностью рассматриваемой зоны. Так, например, для Северо-Чуйской (зона 7) и Южно-Чуйской зон (зоны 8 и 9 на рис. 1) графики повторяемости землетрясений имеют относительно низкие значения коэффициентов корреляции. Чуйская зона как объединение этих зон имеет график повторяемости с высоким значением коэффициента корреляции. И если отдельные зоны Центрального Тянь-Шаня, например, Атбаши (зона 17) имеют низкий коэффициент корреляции точек на графике, то график для всей Центрально-Тянь-Шаньской зоны линейен с высокой степенью корреляции. Точно так же объединение Западно- и Восточно-Терекских зон (зоны 5 и 6 на рис. 1) в Терекскую увеличивает представительность, а значит – и достоверность данных. Следует отметить, что графики повторяемости большинства рассмотренных нами зон линейны в данном временном интервале и в диапазоне энергетических классов от 8 (9) до 13 (14). Мы можем объяснить этот факт высокой сейсмической активностью нашего региона и достаточным количеством экспериментальных данных именно для этого диапазона энергетических классов. Для тех зон, где, на наш взгляд, линейность в этом диапазоне классов нарушается, мы выполнили также аппроксимацию в виде полино-

ма второй степени. Пример такой аппроксимации приведен на рис. 3 для Токтогульской зоны.

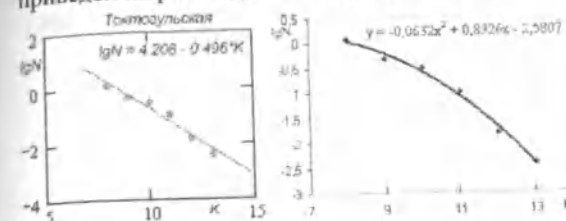


Рис. 3. Графики повторяемости землетрясений для Токтогульской зоны.

При сравнении с линейной аппроксимацией для тех же зон коэффициент корреляции увеличивается, но вероятная максимальная магнитуда уменьшается на $0,2-0,3$ единицы.

Нелинейная форма аппроксимации данных в диапазоне небольших энергетических классов землетрясений не решает проблемы прогноза воздействий. Нелинейность возникает в области сильных землетрясений, данных о которых у нас недостаточно. Для тех зон, в которых происходили сильные землетрясения в рассмотренный интервал времени (Кунгейская, вся Северо-Тянь-Шаньская, Алайская), наблюдается выполаживание графиков повторяемости землетрясений, начиная с $K > 14$.

Использование данных об исторических событиях и палеосейсмодислокациях позволяет в какой-то мере уточнить повторяемость сильных землетрясений. На рис. 4 приведены графики повторяемости землетрясений Таласо-Ферганского разлома и Алая, для которых были использованы данные о палеосейсмодислокациях, приведенные в работах [4, 5], и исторических событиях из ка-

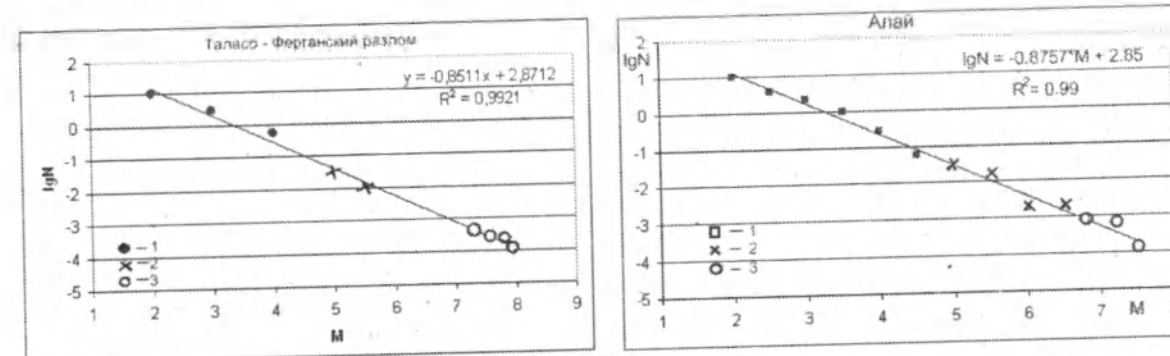


Рис. 4. Графики повторяемости землетрясений: слева – для зоны Таласо-Ферганского разлома, справа – для Алайской зоны: 1 – по данным за период наблюдений с 1951 по 2010 гг., 2 – с использованием исторических событий, 3 – с использованием палеосейсмодислокаций.

талога. Для этих зон графики сохраняют линейность вплоть до магнитуд 7,5–8,0.

На основании графиков повторяемости землетрясений оценена максимально возможная магнитуда с 10% вероятностью ее превышения за время ожидания 50 лет. Максимальные значения вероятностной магнитуды ($M = 6,5-7$) получились для Таласо-Ферганской и Алайской зон с учетом данных о палеосейсмодислокациях. Значения вероятностных магнитуд, превышающих шестерку, получены также для Кураминской и Наманганской зон. Возможны землетрясения с магнитудой 6 и близкой к ней в Восточном Кунгее, Западном и Восточном Терекее, Западном и Восточном Кокшаале, Кашгаре. По существующим правилам, к этим значениям прибавляется еще $0,5$ магнитуды – «про запас». Следует также заметить, что эти результаты получены только по сейсмологическим данным, а для двух зон – с учетом палеосейсмодислокаций.

Литература

1. Уламов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вестник ОГТТИН РАН, №1 (7), 99 / Электронный журнал seismos.uifz.ru / internet.htm.
2. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Некоторые вопросы методики общего сейсмического районирования. Электронный журнал seismos.uifz.ru / pdf / ulamov_o_programm.
3. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий Е.В., Пустовитенко А.А. Новые данные о сейсмической опасности г. Одессы и Одесской области // Ассоциация украинского сейсмостойкого строительства / Электронный журнал www / seism.org.ua / seism04-02_r.html.

4. Никонов А.А., Ваков А.В., Веселов И.А. Сейсмо-тектоника и землетрясения зоны сближения Памира и Тянь-Шаня. – М.: Наука, 1983. – 239 с.
5. Корженков А.М. Сейсмогеология Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов). – Бишкек: Илим, 2006. – 288 с.

УДК 622.02. (075.8), 622.831.32

Остаточные напряжения разных масштабно-структурных уровней и анализ их изменения на основе структурно-механической модели неоднородного твердого материала

К.Т.ТАЖИБАЕВ – докт. техн. наук, профессор
Р.М. СУЛТАНАЛИЕВА – канд. физ.-мат. наук

The formulas is presented for determination of 1-st, 2-nd, 3- rd kind residual stresses and quantitative analysis theirs changes on basis of proposed structural – mechanical model of stressed-deformation state heterogeneous solid material

Введение. Остаточные напряжения могут иметь место в твердых материалах на разных масштабных и структурных уровнях. Поэтому различают остаточные напряжения 1-го рода, уравнивающиеся на макроскопическом структурном уровне – на уровне зерен, 2-го рода – на микро-скопическом структурном уровне – на уровне кристаллических отдельных, 3-го рода – на субмикроскопическом структурном уровне – на уровне кристаллической решетки. Остаточное напряжение – это механическое напряжение, остающееся в структурах твердых материалов после устранения причин (внешние нагрузки, потоки тепла) его возникновения. Остаточные напряжения горных пород при нарушении их равновесия могут проявляться в виде самоподдерживающегося динамического разрушения по принципу цепной реакции, когда высвобождается энергия остаточных напряжений и на макро- и микро-структурных элементах горных пород в виде горного удара [3]. Вследствие неоднородности пространственного распределения, а также знакопеременной изменчивости величин на разных структурных и масштабных

уровнях остаточные напряжения таких гетерогенных материалов, как горные породы, композитные материалы, сплавы металлов и др., не поддаются непосредственному точному аналитическому описанию. В связи с этим возникает необходимость их исследования на основе структурно-механических модельных представлений. Результаты таких исследований в конечном счете позволят целенаправленно управлять механическими свойствами технических материалов руд, минералов, и эффективно решать технологические задачи по упрочнению металлов, конструкций, а также по разупрочнению крепких руд и минералов до их измельчения. При разупрочнении крепких руд обеспечивается наиболее полное извлечение из них полезного металла или компонента с меньшими материальными и энергетическими затратами.

Метод и результаты исследований. В гетерогенных твердых материалах типа горных пород остаточные напряжения неоднородны, и поэтому в них наблюдается сложная картина напряженного состояния. Для анализа остаточных напряжений, имеющих место на разных масштабных уровнях,

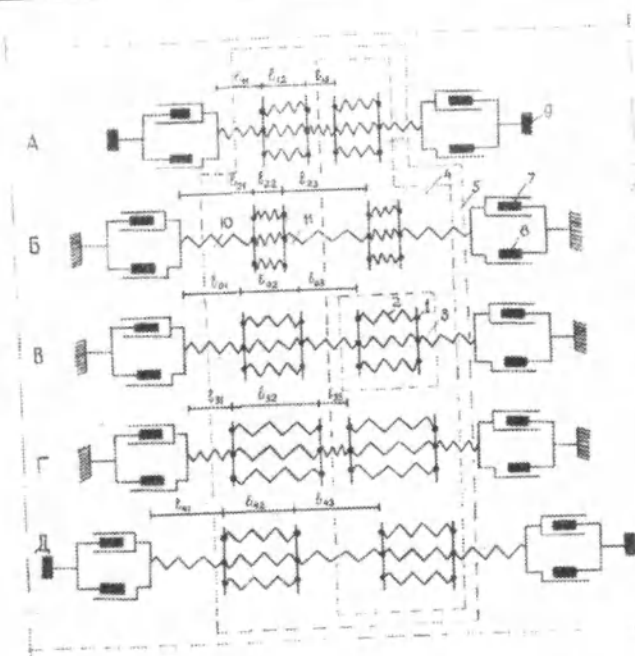


Рис. 1. Структурно-механическая модель напряженно-деформированного состояния неоднородного твердого материала. 1 – атом; 2 – межатомный упругий элемент; 3 – ячейка кристаллической решетки; 4 – кристаллическая отдельность (блок мозаики); 5 – зерно; 6 – блок 2-го уровня; 7 – вязкий элемент; 8 – пластический элемент; 9 – неустойчивый элемент (неуравновешенные частицы поверхности раздела фаз); 10 – упругий элемент границы зерна; 11 – упругий элемент границы кристаллической отдельности (блок мозаики); А – сжатая цепочка частиц неустойчивого равновесия 1-го порядка; Б – неоднородно-деформированная цепочка частиц неустойчивого равновесия 1-го порядка; В – цепочка частиц (нейтральной) устойчивого равновесия; Г – неоднородно деформированная цепочка частиц неустойчивого равновесия 1-го порядка; Д – растянутая цепочка частиц неустойчивого равновесия 2-го порядка; $\ell_{01}, \ell_{02}, \ell_{03}$ – параметры нейтральной цепочки частиц; $\ell_{11}, \dots, \ell_{43}$ – параметры деформированных цепочек частиц.

нами была предложена структурно-механическая модель напряженно-деформированного состояния неоднородной твердой среды [1] (рис. 1). Из анализа представленной модели вытекают следующие аксиомы.

Аксиома 1. Остаточные напряжения 1-го, 2-го и 3-го рода изменяются в соответствии с их знаками взаимосогласованно: в однонаправленно напряженных (всюду сжатых – отрицательные знаки или всюду растянутых – положительные знаки) структурных элементах разного масштабного уровня (цепочки А и Д) увеличение напряжений 3-го рода приводит к уменьшению напряжений 1-го и 2-го рода, а уменьшение напряжений 3-го рода к увеличению напряжений 1-го и 2-го рода.

Аксиома 2. В разнонаправленно напряженных структурных элементах (цепочки Б и Г)

увеличение напряжений 3-го рода приводит к увеличению напряжений 1-го и 2-го рода, а уменьшение напряжений 3-го рода до смены знака – к уменьшению напряжений 1-го и 2-го рода.

Аксиома 3. В разнонаправленно напряженных структурных элементах (цепочки Б и Г) уменьшение напряжений 3-го рода и смена знака приводит к уменьшению абсолютной величины напряжений 1-го и 2-го рода и смене их знака.

Аксиома 4. В структурных ненапряженных элементах (цепочка В) формирование сжимающих напряжений 3-го рода приводит к формированию растягивающих напряжений 1-го и 2-го рода, формирование растягивающих напряжений 3-го рода – к формированию сжимающих напряжений 1-го и 2-го рода.

Для количественного описания остаточных напряжений 1-го, 2-го и 3-го рода в соответствии с известными результатами исследований структуры горных пород и других твердых материалов принимаем следующие постулаты:

Постулат 1. Основное структурное состояние гетерогенных материалов дискретно-связанное. В реальных условиях имеет место единство континуума (сплошности) и дискретности в структуре твердого материала, структурные элементы которой дискретны и имеют нарушения сплошности на разных масштабных уровнях и в то же время по определенным каналам (границы кристаллических отдельных, зерен) связаны силовыми полями непрерывно [5]. На атомно-молекулярном уровне непрерывность силового поля обеспечивается взаимодействием элементарных частиц твердых материалов.

Постулат 2. Силы упругости твердых материалов противодействуют внешней силе и обусловлены взаимодействием и степенью перекрытия силовых полей составляющих структурных элементов.

Постулат 3. В твердых материалах вследствие их дискретно-связанной структуры распределение напряжения в разных масштабных уровнях неоднородное и имеет периодический характер.

Аналитические зависимости структурно-механической модели напряженно-деформированного состояния неоднородного твердого материала для направлений X, Y, Z представлены следующими формулами:

для цепочки А по направлению X
 $\varepsilon_{XA} = -\varepsilon_{1AX} - \varepsilon_{2AX} - \varepsilon_{3AX}$ или

$$\varepsilon_{XA} = -\frac{\sigma_{1AX}}{E_{1X}} - \frac{\sigma_{2AX}}{E_{2X}} - \frac{\sigma_{3AX}}{E_{3X}} \quad (1),$$

для цепочки Б по направлению X
 $\varepsilon_{XB} = \varepsilon_{1BX} + \varepsilon_{2BX} - \varepsilon_{3BX}$ или

$$\varepsilon_{XB} = \frac{\sigma_{1BX}}{E_{1X}} + \frac{\sigma_{2BX}}{E_{2X}} - \frac{\sigma_{3BX}}{E_{3X}} \quad (2),$$

для цепочки В по направлению X $\varepsilon_{XB} = 0$ (3),

для цепочки Г по направлению X
 $\varepsilon_{XG} = -\varepsilon_{1GX} - \varepsilon_{2GX} + \varepsilon_{3GX}$ или

$$\varepsilon_{XG} = -\frac{\sigma_{1GX}}{E_{1X}} - \frac{\sigma_{2GX}}{E_{2X}} + \frac{\sigma_{3GX}}{E_{3X}} \quad (4),$$

для цепочки Д по направлению X
 $\varepsilon_{XD} = \varepsilon_{1DX} + \varepsilon_{2DX} + \varepsilon_{3DX}$ или

$$\varepsilon_{XD} = \frac{\sigma_{1DX}}{E_{1X}} + \frac{\sigma_{2DX}}{E_{2X}} + \frac{\sigma_{3DX}}{E_{3X}} \quad (5),$$

где $\varepsilon_{1AX}, \varepsilon_{2AX}, \varepsilon_{3AX}, \varepsilon_{1BX}, \varepsilon_{2BX}, \varepsilon_{3BX}, \varepsilon_{1GX}, \varepsilon_{2GX}, \varepsilon_{3GX}, \varepsilon_{1DX}, \varepsilon_{2DX}, \varepsilon_{3DX}$ – относительные деформации (остаточных напряжений) 1-го, 2-го, 3-го рода соответственно цепочки А, Б, Г, Д по направлению X; $\varepsilon_{XA}, \varepsilon_{XB}, \varepsilon_{XB}, \varepsilon_{XG}, \varepsilon_{XD}$ – результирующая относительная деформация для цепочки А, Б, В, Г, Д по направлению X; $\sigma_{1AX}, \sigma_{2AX}, \sigma_{3AX}, \sigma_{1BX}, \sigma_{2BX}, \sigma_{3BX}, \sigma_{1GX}, \sigma_{2GX}, \sigma_{3GX}, \sigma_{1DX}, \sigma_{2DX}, \sigma_{3DX}$ – остаточные напряжения 1-го, 2-го, 3-го рода соответственно цепочки А, Б, Г, Д по направлению X;

E_{1X}, E_{2X}, E_{3X} – модуль упругости 1-го, 2-го, 3-го рода соответственно по направлению X; E_{1Y}, E_{2Y}, E_{3Y} – модуль упругости 1-го, 2-го, 3-го рода соответственно по направлению Y и Z соответственно

$$\varepsilon_{YA} = -\frac{\sigma_{1AY}}{E_{1Y}} - \frac{\sigma_{2AY}}{E_{2Y}} - \frac{\sigma_{3AY}}{E_{3Y}}, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{YB} = \frac{\sigma_{1BY}}{E_{1Y}} + \frac{\sigma_{2BY}}{E_{2Y}} - \frac{\sigma_{3BY}}{E_{3Y}}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{YB} = 0, \quad (8)$$

$$\varepsilon_{YG} = -\frac{\sigma_{1GY}}{E_{1Y}} - \frac{\sigma_{2GY}}{E_{2Y}} + \frac{\sigma_{3GY}}{E_{3Y}}, \quad (9)$$

$$\varepsilon_{YD} = \frac{\sigma_{1DY}}{E_{1Y}} + \frac{\sigma_{2DY}}{E_{2Y}} + \frac{\sigma_{3DY}}{E_{3Y}}, \quad (10)$$

$$\varepsilon_{ZA} = -\frac{\sigma_{1AZ}}{E_{1Z}} - \frac{\sigma_{2AZ}}{E_{2Z}} - \frac{\sigma_{3AZ}}{E_{3Z}}, \quad (11)$$

$$\varepsilon_{ZB} = \frac{\sigma_{1BZ}}{E_{1Z}} + \frac{\sigma_{2BZ}}{E_{2Z}} - \frac{\sigma_{3BZ}}{E_{3Z}}, \quad (12)$$

$$\varepsilon_{ZB} = 0, \quad (13)$$

$$\varepsilon_{ZG} = -\frac{\sigma_{1GZ}}{E_{1Z}} - \frac{\sigma_{2GZ}}{E_{2Z}} + \frac{\sigma_{3GZ}}{E_{3Z}}, \quad (14)$$

$$\varepsilon_{ZD} = \frac{\sigma_{1DZ}}{E_{1Z}} + \frac{\sigma_{2DZ}}{E_{2Z}} + \frac{\sigma_{3DZ}}{E_{3Z}} \quad (15)$$

Для изотропных материалов

$$E_{1X} = E_{1Y} = E_{1Z};$$

$$E_{2X} = E_{2Y} = E_{2Z};$$

$$E_{3X} = E_{3Y} = E_{3Z}.$$

Для экспериментального изучения параметров структуры и остаточных напряжений 1-го, 2-го, 3-го рода нами подвергались рентгено-структурному анализу образцы минералов пяти разновидностей горных пород [4]. При этом исследованию подвергались минералы горных пород в исходном состоянии и после термической обработки. Особое внимание уделялось изучению изменений структуры и остаточных напряжений после термической обработки. Измерения параметров структуры и остаточных напряжений проводились в лаборатории «Исследования физических процессов в горных породах» МГИ (Россия) с использованием рентгеновского дифрактометра типа ДРОН – 2 и специальной программы для ЭВМ, разработанной в лаборатории. На основе анализа положения и формы профилей рентгеновских лучей с использованием методов Фурье и гармонического анализа распределения интенсивности были получены следующие данные: средний размер блока мозаики М; величина относительной деформации остаточных напряжений кристаллической решетки (3-го рода) ε ; плотность дислокации на границе и внутри блока мозаики ρ_c и ρ_s ; величины остаточных напряжений (2-го и 1-го рода) внутри и на границе зерна σ_s и σ_c ; расстояние между дислокациями на границе блока Λ_c , расстояние между дислокациями внутри блока Λ_s .

Результаты исследований показали, что термическая обработка в режиме закалки приводит к существенным изменениям остаточных напряжений на всех структурных уровнях. В кварцах сжимающие остаточные напряжения 3-го рода снижаются, а в некоторых случаях преобразуются в растягивающие напряжения, а в кальцитах растягивающие напряжения преобразуются в значительные сжимающие остаточные напряжения, за счет чего происходит упрочнение, тогда как в кварцах термическая обработка за счет увеличения растягивающих остаточных напряжений приводит к разупрочнению. Полученные экспериментальные данные по изменению остаточных напряжений 1-го, 2-го, 3-го рода хорошо описываются на основе структурно-механической модели напряженно-деформированного состояния неоднородного твердого материала и предложенных расчетных формул. Например, для исходного состояния кварца гранита (Кыр-Табылга) остаточное напряжение 3-го рода сжимающее (отрицательное), а остаточное напряжение 1-го и 2-го

рода растягивающее (положительное). Такое состояние соответствует в модели цепочке Б и описывается формулой 2. Согласно модели и формуле 2 для указанного состояния, снижение сжимающих остаточных напряжений 3-го рода приводит к снижению растягивающих остаточных напряжений 1-го и 2-го рода. Экспериментально это полностью подтверждается данными рентгено-структурного анализа [4] (см. табл.2). Для кварца песчаника, согласно модели, увеличение сжимающих остаточных напряжений 3-го рода приводит к увеличению растягивающих остаточных напряжений 1-го и 2-го рода, что также экспериментально подтверждается [4]. При наличии в исходном состоянии сжимающих остаточных напряжений на всех рассматриваемых структурных уровнях, то есть когда остаточные напряжения 1-го, 2-го, 3-го рода все сжимающие (отрицательные), согласно модели (цепочка А) и формуле 1, уменьшение сжимающих остаточных напряжений 3-го рода приводит к увеличению сжимающих остаточных напряжений 1-го и 2-го рода. Такие изменения подтвердились экспериментальными данными и другого автора [2], согласно которым при облучении СВЧ-волнами уменьшение сжимающих остаточных напряжений 3-го рода приводит к увеличению сжимающих остаточных напряжений 1-го и 2-го рода. Можно показать также и количественное соответствие экспериментальных данных с данными, получаемыми на основе расчетной формулы. Для этого необходимо иметь данные о величине модуля упругости 2-го и 3-го порядка, а модуль упругости 1-го порядка обычно легко определяется экспериментально. Подобно тому как теоретическая прочность в сотни раз превышает «реальную» (измеренную на практике) прочность, как было показано [5], из-за ошибки определения площади истинного живого сечения, передающего нагрузку (по границам зерен и кристаллических отдельных) как сплошная конструкция, модуль упругости 3-го рода в несколько раз превышает модуль упругости 1-го рода, так как данный показатель зависит от плотности. Следует отметить, что остаточное напряжение 3-го рода также в несколько раз превышает остаточное напряжение 1-го рода.

На основе $E_1 < E_2 < E_3$ для кварца принимаем $E_3 = 25E_1$; $E_2 = 5E_1$. Для кварца гранита (Кыр-Табылга) экспериментально установленная величина $E_1 = 0.75 \cdot 10^5$ МПа [4]. По формуле 2 определяем остаточное напряжение 1-го рода и сравним расчетное значение со значением, уста-

новленным экспериментально на основе рентгеноструктурного анализа [4]. Подставляя значения модулей упругости и напряжений 2-го и 3-го рода для кварца термообработанного гранита (Кыр-Табылга) из табл. 2 [4] в формулу 2 получим значение остаточного напряжения 1-го рода $\sigma_1 = 64,9$ МПа. Экспериментально установленное рентгеноструктурным анализом значение остаточного напряжения 1-го рода для кварца гранита после термической обработки $\sigma_1 = 61$ МПа [4]. Отклонение расчетного напряжения от экспериментального напряжения составляет 6,4%.

Таким образом, можно отметить, что структурно-механическая модель и соответствующие расчетные формулы позволяют анализировать остаточные напряжения на разных структурных и масштабных уровнях, вести расчеты остаточных напряжений и в конечном итоге разработать технологические меры по целенаправленному изменению механических свойств твердых материалов.

Выводы

1. В твердых материалах вследствие их дискретно-связанной структуры распределение остаточного напряжения в разных масштабных уровнях неоднородное и имеет периодический характер.

2. Остаточные напряжения на разных структурных элементах: кристаллическая решетка, зерно, граница зерна могут иметь разные знаки и изменяются в соответствии с их знаками взаимно согласованно:

а) в однонаправленно напряженных (всюду сжатых – отрицательные знаки, или всюду растянутых – положительные знаки) структурных элементах разного масштабного уровня увеличение напряжения 3-го рода приводит к уменьшению напряжений 1-го и 2-го рода, а уменьшение напряжений 3-го рода – к увеличению напряжений 1-го и 2-го рода;

б) в разнонаправленно напряженных структурных элементах увеличение напряжения 3-го рода приводит к увеличению напряжений 1-го и 2-го рода, а уменьшение напряжения 3-го рода до

смены знака – к уменьшению напряжений 1-го и 2-го рода;

в) в ненапряженных структурных элементах формирование сжимающих напряжений 3-го рода приводит к формированию растягивающих напряжений 1-го и 2-го рода, формирование растягивающих напряжений 3-го рода – к формированию сжимающих напряжений 1-го и 2-го рода.

3. Предложенная структурно-механическая модель напряженно-деформированного состояния неоднородного твердого материала и его соответствующие расчетные формулы позволяют анализировать остаточные напряжения на разных структурных и масштабных уровнях, разработать технологические меры по целенаправленному управлению механическими свойствами технических материалов, руд и минералов.

Литература

1. Тажиббаев К.Т., Султаналиева Р.М. Структурно-механическая модель напряженно-деформированного состояния неоднородной твердой среды // Геомеханическое обоснование методов расчета устойчивости обнажений. – Бишкек: Илим, 1992. – 99–107 с.
2. Заворыкина Т.К. Разработка метода управления селективным раскрытием минеральных сростков окисленной железной руды высокочастотным электромагнитным воздействием // Автореферат дисс. канд. техн. наук. – М.: МГИ, 1909. – 17 с.
3. Тажиббаев К.Т. Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов. – Фрунзе: Илим, 1989. – С.180.
4. Султаналиева Р.М., Тажиббаев К.Т., Заворыкина Т.К., Зильбершмидт М.Г. Результаты определения параметров структуры и остаточных напряжений горных пород методом рентгеновской дифрактометрии // Геомеханическое обоснование методов расчета устойчивости обнажений. – Бишкек: Илим, 1992. – 107–110 с.
5. Тажиббаев К.Т. Деформация и разрушение горных пород. – Фрунзе: Илим, 1986. – С.106.

УДК 551.324.435 (575.2)(04)

Типы моренно-ледниковых комплексов как критерий регрессии оледенения Тянь-Шаня

С.А. ЕРОХИН – вед. научн. сотр.

Т.В. ТУЗОВА – гл. научн. сотр., канд. физ.-мат. наук

Accumulation and erosion factors of glacial lithogenesis have been examined. Depending on energy of scouring of glacier with melt waters, six types of moraine-glacial complexes in the Tien Shan responsible for regression of glaciers forming them were determined. It is proposed to define the stage of glacier retreat according to the type of its moraine-glacier complex and to forecast its future development.

Под моренно-ледниковым комплексом понимается геологическое тело, сформированное ледником за последнюю эпоху оледенения в единой физико-географической обстановке и сложное определенным набором фаций, формирующих его внутреннюю структуру [1]. В это геологическое тело входят как отделившиеся от ледника ледниковые останцы (так называемый погребенный лед), так и разные формы ледниково-моренной аккумуляции. Моренно-ледниковый комплекс формируется в теле ледника и проявляется на дневную поверхность при его регрессии. Изучению стадий регрессии посвящена данная статья.

Моренно-ледниковые комплексы Тянь-Шаня, согласно альпийской схеме оледенения [2], представляют собой морены стадии фернау, образованные в период малой ледниковой эпохи (XIII–XIX века) и окаймляющие языки деградирующих ледников. При образовании моренно-ледниковых комплексов действуют в основном два фактора ледникового литогенеза – аккумуляционный (А) и эрозионный (Э). Первый характеризует насыщенность ледника обломочным материалом и способность ледника аккумулировать этот материал в своей приконцевой зоне моренообразования.

Второй фактор представляет эрозионную энергию потоков талых вод, стекающих с ледника, и способность этих потоков размывать накопления обломочного материала в приконцевой части ледника. От соотношения этих факторов зависят форма, состав и строение моренно-ледниковых комплексов.

Изучение горно-долинных ледников Тянь-Шаня [3–5] показывает, что в процессе формирования моренно-ледниковых комплексов на этих ледниках роль фактора Э наиболее значительна у гигантских ледников гималайского или древовидного типа, а роль фактора А на этих ледниках минимальна. Обратная ситуация наблюдается на небольших простых долинных ледниках или ледниках присклонового и склонового типов. Здесь роль фактора А в формировании моренно-ледниковых комплексов становится максимальной, а фактор Э играет незначительную роль. В соответствии с изменением соотношения факторов А и Э изменяется состав и строение моренно-ледниковых комплексов. По мере увеличения роли фактора А с соответствующим уменьшением фактора Э состав и строение моренно-ледниковых комплексов постепенно усложняется. В этом процессе про-

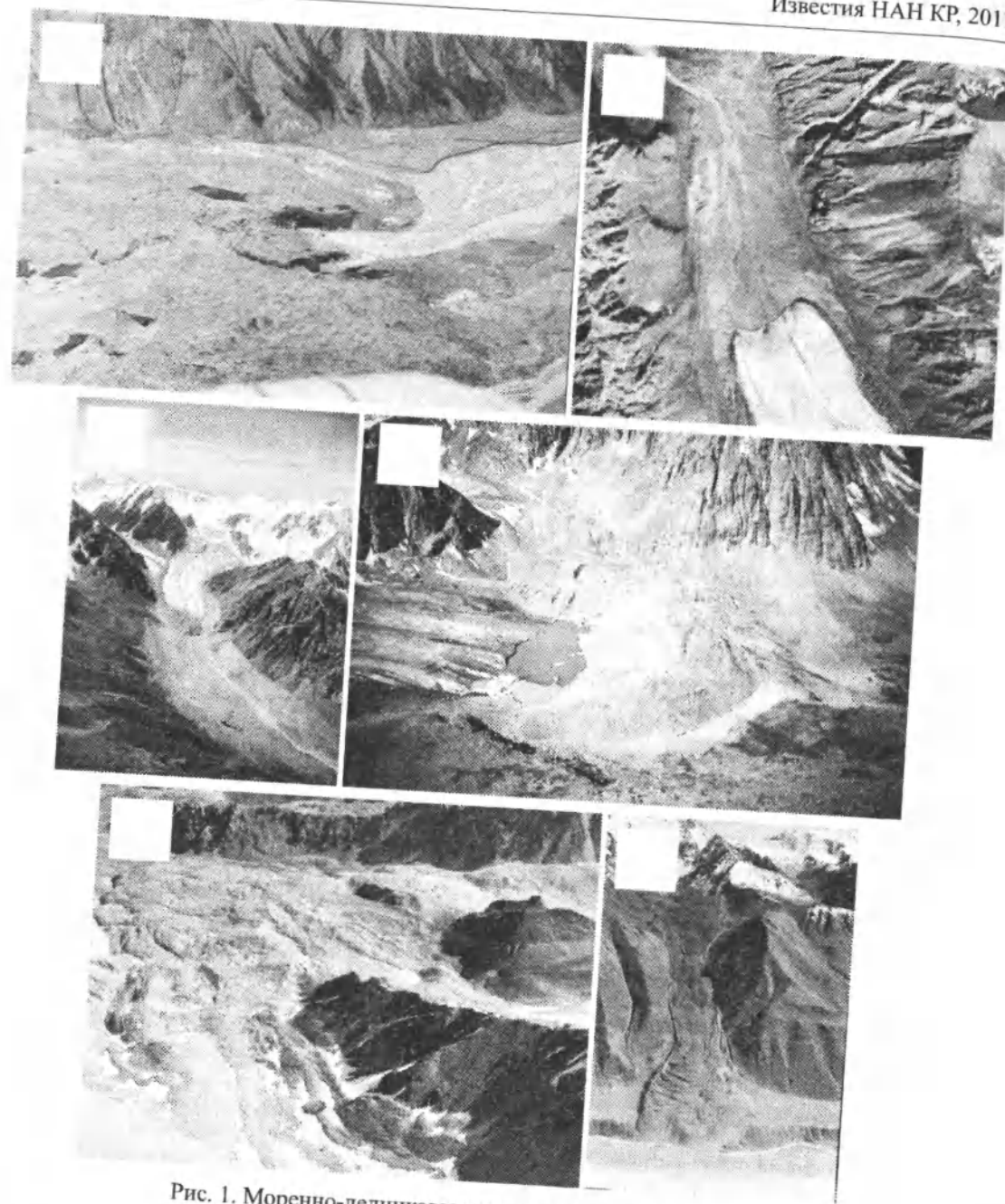


Рис. 1. Моренно-ледниковые комплексы разных типов.

слеживается ряд стадий, каждой из которых соответствует свой тип моренно-ледниковых комплексов. Можно выделить шесть стадий и соответствующих им шесть типов моренно-ледниковых комплексов (см. рис.).

Первый тип (рис. 1-1) представляют моренно-ледниковые комплексы гималайского или дре-

вовидного типа (ледники-гиганты Иныльчек, Каинды, Мушкетова). Водность этих ледников и энергия потоков талых ледниковых вод настолько велика, что весь обломочный материал, приносимый ледником, уносится за пределы зоны моренообразования. Поэтому моренно-ледниковые комплексы первого типа представлены маломощ-

ными чехлами моренного материала на склонах троговой долины, а также останцами береговых морен.

Второй тип (рис. 1-2) формируется на ледниках, где потоки талых вод размывают только центральную часть зоны моренообразования, а в прибрежных частях складываются благоприятные условия для формирования валов береговых морен, между которыми располагается флювиогляциальное задровое поле, открытое вниз по долине. Фронтальной морены нет. Такие моренно-ледниковые комплексы образовались на Зеравшанском леднике, на леднике Конурленг (северный склон Терской-Ала-Тоо), на леднике Тушинского (северный склон Кыргызского хребта).

Третий тип (рис. 1-3) моренно-ледниковых комплексов представлен, кроме валов береговых морен, валом фронтальной морены, за которым между береговых валов формируется внутриморенная депрессия. Размывающая энергия потоков талых вод на ледниках, формирующих этот тип моренно-ледниковых комплексов, еще достаточна, чтобы промыть в вале фронтальной морены проран. Поэтому внутриморенная депрессия на них открыта через проран вниз в долину. Примерами могут служить комплексы на ледниках Давыдова (до начала работ рудника «Кумтор»), Наливкина в хребте Кокшалтау, Южный Карасай на горном массиве Акшыйрак.

Моренно-ледниковые комплексы четвертого типа (рис. 1-4) образуются на ледниках, у которых энергии потоков талых вод не хватает для размыва прорана в вале фронтальной морены и формирования в нем прорана. Поэтому внутриморенная депрессия на этих комплексах полностью замкнута и на её дне обычно образуется озеро. Такие комплексы сформированы на ледниках: Петрова и Главный Каинды (горный массив Акшыйрак); Сарытор, Карабаткак, Тургенбаку (северный склон Терской-Ала-Тоо); Дугова (Алайский хребет), Джардыкаинды (Кыргызский хребет).

Пятый тип моренно-ледниковых комплексов (рис. 1-5) формируется в условиях, когда количество обломочного материала, поступающего в приконцевую часть ледника, настолько превышает энергию размыва, что береговые и фронтальная морены сливаются в единый конечно-моренный язык, который благодаря высокому содержанию в нем погребенных льдов движется вниз по долине самостоятельно. На его поверхности появляются валы сползания. Между конечно-моренным языком и языком ледника образуется депрессия, в

которой формируется озеро. В качестве примеров можно привести комплексы забронированных ледников северного склона Кыргызского хребта: Кентор, Салык, Ашутор, Чонкурчак, Кургактор, Кольтор и др.

Энергия размыва на моренно-ледниковых комплексах шестого типа (рис. 1-6) настолько низка, что моренный язык ледника сползает вниз в долину и может продвинуться на несколько километров. Вдоль его осевой линии вытягивается внутриморенная депрессия, превращаясь в узкую извилистую ложбину, которая постепенно выклинивается в теле конечно-моренного языка. Моренно-ледниковых комплексов такого типа много на забронированных ледниках в долине Быты (бассейн р. Иссык-Ата), в других долинах Кыргызского хребта, в долинах Терской и Кунгей-Ала-Тоо.

Каждый из шести описанных типов моренно-ледниковых комплексов отражает определенный этап периода деградации формирующих их ледников. По типу моренно-ледникового комплекса определяется стадия регрессии (деградации) формирующего его ледника. Шесть типов моренно-ледниковых комплексов определяет столько же стадий регрессии горно-долинных ледников, закономерность которых следующая.

В процессе деградации ледник все больше насыщается обломочным материалом и покрывается чехлом поверхностной морены, которая бронирует ледник и замедляет его таяние. Процесс регрессии хоть и имеет общие для всех ледников признаки, характерные для каждой стадии, но протекает на каждом леднике своеобразно. Это обусловлено отличиями в морфологии и геологии тех горных долин, в которых развиваются ледники. Поэтому разные по размерам и даже типам ледники могут находиться на одной стадии регресса. Например, сложнодолинный ледник Петрова длиной 11 км и сравнительно простой горно-долинный ледник Карабаткак длиной 3,5 км находятся на четвертой стадии регресса. Продолжительность каждой стадии регресса горно-долинных ледников зависит от своеобразия условий их развития.

Таким образом, предлагаемая стадийность горно-долинных ледников позволяет классифицировать их по степени регресса. Ледники, находящиеся в настоящее время на одной стадии регресса, могут быть сгруппированы в один класс. На Тянь-Шане выделяется шесть классов ледников. Такая классификация ледников по степени их де-

градации позволит прогнозировать их дальнейшее развитие.

Литература

1. Теоретические основы инженерной геологии. Под редакцией Сергеева Е.М. – М.: Недра, 1985. – 332 с.
2. Герасимов Ю.В. Малая ледниковая эпоха Тянь-Шаня // Гляциологические исследования в Центральном Тянь-Шане. – Фрунзе: Илим, 1984. – С. 83–99.
3. Erochin S.A., Mamatkanov D., Tuzova T.V. Monitoring of Kirgiz Lakes at Risk of Outburst Floods // International Symposium on Floods and Modern Methods of Control Measures, Tbilisi, Georgia, GWMI-80, 2009. – P. 130–147.
4. Erochin S.A., Cerny M. Monitoring of Outbursting Lakes of Kirgizstan // Mitigation of natural hazards in mountain areas // Materials of International Conference. Bishkek: Salam, 2009. – P. 30–35.
5. Valyaev A.N., Erochin S.A., Tuzova T.V. Processes under outbursts of mountain lakes and model for risk assessment. In Book: "Proceedings CHAOS2008 Editor: H. Skiadas, Published House: World Scientific, 2009. – P. 350–363.
6. Valyaev A.N., Erochin S.A., Tuzova T.V. Assessments and decreasing of risks and damages from outbursts of Tien-Shan high mountains lakes. In Book: Uranium, Mining and Hydrogeology. Published House: Springer Berlin Heidelberg, 2008. – P. 819–826.
7. Mamatkanov D., Erochin S.A., Tuzova T.V. Risk evaluation of water breakout from high mountain lakes in Tien-Shan // Стимулирование потенциала общества, науки и неправительственных организаций к сохранению биоразнообразия и охраны окружающей среды // Сб. тезисов докладов международной конференции. – Душанбе: АН Республики Таджикистан, 2011. – С. 13.

УДК 55: 624.131.2

Инженерная геонимия и катастрофование основы Общей теории Земли

Ш.Э. УСУПАЕВ – докт. геолого-минералогических наук, проф., руководитель отдела геодинамики и геокатастрофы.

The methodology based on the concept of paleo-catastrophic formation of planets of Solar system, including the Earth is presented developed engineering-geonomicheskaja (IGN). Are made universal from positions of their comparative analysis and synthesis ИГН of model on the basis of transformation of thematic penalties of researches considered till now as the end results. Causes and effects defining laws of development of slow and fast accidents on the Earth are revealed.

Вода на Земле обеспечивает жизнедеятельность фауны и флоры, в том числе человека, и играет исключительную роль практически во всех геосферах. В настоящее время вода, сосредоточенная в форме природных льдов, распределена

на площади 72,4 млн. кв. км в верхней оболочке земной коры, занимает более половины поверхности суши, объем которой – более 30 млн. куб. км, что составляет около 70% объема пресных вод. Аналогичный объем воды могут накопить на

планете все реки земного шара лишь за 700 лет. Водные проблемы заключаются не только в ее истощении либо избытке, включая вопросы ее загрязнения, но и в развитии различного рода опасных процессов и явлений, вызываемых водной компонентой окружающей среды, в виде цунами, селей, паводков, прорыва плотин горных озер, лавин, обрушений и пульсаций ледников. С 1960 по 1990 год площадь орошаемых земель в Центральной Азии увеличилась на 65%, население выросло с 14 млн. человек до 50 млн., а потребность в воде – с 60 до 120 куб. км в год, что в регионе обостряет проблему обеспеченности водой, в том числе питьевой. Одновременно в связи с глобальным изменением климата возрастают ассортимент и число стихийных бедствий и вызванных ими чрезвычайных ситуаций. Гидросфера играет исключительную роль в формировании и распределении катастроф на Земле.

В связи с вышеуказанными обоснованиями разработаны инженерно-геономическая концепция и методология «Катастрофование» в качестве теоретической и прикладной основы Общей теории Земли (ОТЗ). Выявленные ИГН-закономерности отражают причинно-следственные особенности одновременно происходящих множества периодически взаимосвязанных внутренних и внешних орбитальных движений, которые способствуют формированию катастроф как быстрого, так и медленного характера на Земле:

1. При обычном орбитальном движении Земли вокруг Солнца. 2. В результате необычного, внутреннего орбитального движения твердых ядер внутри жидкого ядра Земли. 3. Циклического дополнительного воздействия на границы геосфер приливных геоволновых сил тяготения, которые также поднимают и опускают поверхность Земли до определенных глубин за счет притяжения: а) Солнца, б) Луны, в) парада планет.

При этом гидросфера, криосфера, литосфера и ее составные части – тектонические блоки, на которых построены энергетические объекты (ГЭС, АЭС, населенные пункты, космодромы, линейные сооружения, горнорудные предприятия и иные ответственные инженерные сооружения), систематически испытывают деформации напряжения, сопровождающиеся геодинамическими и современными движениями, землетрясениями, цунами и вызванными ими многоступенчатыми опасными процессами и явлениями.

1. Ежемесячно ритмически изменяющиеся объемные динамические ИГН-модели небесных

тел при орбитальном их вращении вокруг Солнца: а) внешнего (Земля), б) внутреннего (твердые ядра, движущиеся внутри жидкого ядра планеты (рис. 1). В качестве примера на рис. 1 приведена ИГН-модель обоснования геологической истории образования Земли. Исследование истинной объемной фигуры Земли по картам-геоидам и объемным моделям позволило по сохранившимся пониженным участкам и поднятиям на поверхности Земли установить шесть рубежей ударного образования нашей планеты. На рис. 1 представлены геовозрасты произошедших древнейших столкновений палео-Земли с подобными небесными телами, которые создали геонид (т.е. современную весьма сложную объемную фигуру и форму Земли). Столкновения катастрофического характера приводили к скачкообразному увеличению объема обобщенной планеты. В настоящее время в центральной части планеты внутри жидкого ядра по собственной орбите ежегодно под углом 45 градусов к Солнцу совершают 1 оборот в год шесть твердых ядер, ранее объединившихся с Землей древних планетоблем. Эти твердые шесть ядер плавают по своей орбите внутри жидкого ядра Земли, периодически возмущают все выше размещенные геосферы, передавая массы и моменты тектонических и гравитационных сил в зонах ко-гомологических контактов. Группа из шести сближившихся твердых ядер вызывает эффект ко-гомологии в местах их контактирования с окружающими геосферами. Именно на участках контактного давления твердые ядра поднимают вверх зоны нижней мантии и вышерасположенные геосферные слои. При этом на приповерхностной части земной коры вследствие эффекта ко-гомологии происходит скупивание тектонических блоков со сжатием и с заземлением разломов и активизируются процессы вытеснения и подъема уровней подземных вод. Поверхностные воды вследствие уменьшения проницаемости геотриационной среды способствуют увеличению ресурсов и росту стихий, связанных с поверхностными водами. Одновременно с диаметрально противоположной стороны Земли эффект ко-гомологии вызывает процессы опускания поверхности нижней мантии в жидкое ядро, а вышележащие приповерхностные зоны земной коры испытывают напряжения растяжения и разгрузки накопленной упругой энергии. При этом тектонические блоки, входящие в состав соответствующих литосферных плит, раздвигаясь, отталкиваются друг от друга, разломы, расширяясь,

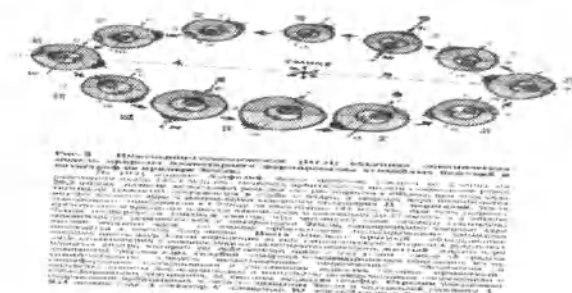


Рис. 1.



Рис. 2.

способствуют проникновению подземных вод в глубь недр, а подземные воды, понижая свой уровень, одновременно увеличивают ресурсы и запасы. В данной обстановке поверхностные воды уменьшают свои объемы и ресурсы, пополняя запасы подземных вод, и смягчают риски бедствий от воздействия поверхностных вод.

В зимний период (перигелий в декабре) в северном полушарии (в это время наступает лето в южном) орбитальное движение Земли ускоряется до 30,3 км / сек при максимальном приближении к нашему светилу на расстоянии 147 млн. км, что увеличивает массу и сжимает объем планеты. При этом водно-земельные и энергетические ресурсы, инфраструктура населенных пунктов, ответственные инженерные сооружения, горнорудные предприятия в карьерах и подземных шахтах в северном полушарии испытывают огромные нагрузки. В случае, когда Земля максимально удалена от Солнца (афелий – июнь, на расстоянии до 152 млн. км), идут процессы уменьшения массы планеты, скорость движения снижается до 29 км / сек., а объем планеты расширяется.

2. На геониде, разделенном специфическими и знакопеременными границами 12 литосферных

плит, получили развитие следующие геоволновые процессы и явления: а) дивергентные (в пределах СОХ, т.е. срединно-океанических хребтов), б) конвергентные (в пределах развития горных сооружений, и) моновергентные (южно- и северо, западно- и восточнотвергентные) (рис. 2). Границы литосферных плит являются активными, особенно на узлах их множественного пересечения. При этом (СОХ – срединно-океанические хребты) постоянно формируют новые площади молодой базальтовой земной коры.

3. На ИГН-модели построена палеокосмическая концепция катастрофического формирования Земли за счет шести крупнейших столкновений с равновеликими (подобными) небесными телами, временные рубежи которых позволяют корректировать ныне используемые, по сути, устаревшие эволюционные геохронологические шкалы (рис. 3).

4. На преобразованных в геониде планетарного, надрегionalного, регионального и локальных масштабов тематических карт для сравнительно аналитического и синтезирующих унифицированных оценок, а также установления закономерностей изменения природной среды показаны следующие ИГН-данные: а) широтного

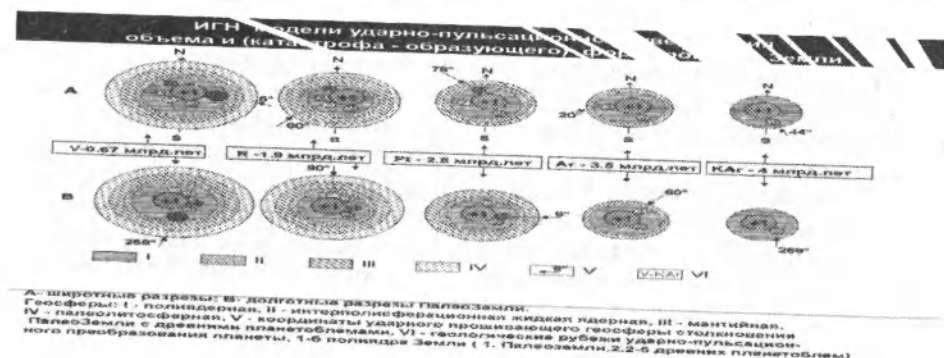


Рис. 3.

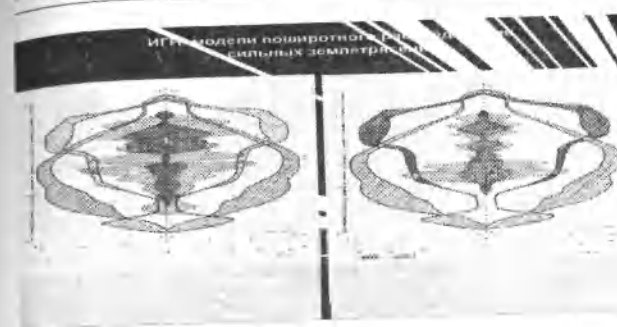


Рис. 4.

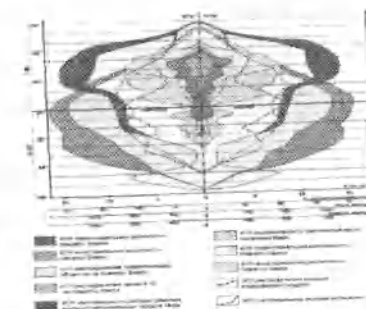


Рис. 5.

распределения количества сильных не-, и глубоководных землетрясений (рис.4), б) широтного распределения количества гидроэнергетических систем и атомных электростанций, в) распределения населения мира, г) широтного распределения количества крупных сейсмоопасных городов мира, д) выпадающих атмосферных осадков, е) широтного распределения количества испарения воды (рис.5). Максимальный пик размещения энергетических объектов располагается в пределах 37–38 градусов северной широты, т.е. природная среда, наиболее благоприятная для развития гидроэлектростанций и их водообеспеченности, а атомных электростанций на 48–50 градусов с.ш., т.е.природная среда, наиболее благоприятная для развития ГЭС, расположена на указанных широтах. Закономерности распределения наиболее важных гидросферных компонентов, а именно геонидов атмосферных осадков и испарения, свидетельствуют об имеющихся геобезопасно-благоприятных условиях для повышения потенциала перспектив решения водноэнергетико-земельных проблем на широтах от 23 до 40 градусов северной широты. А в пределах широты 23–26 градусов на геониде отмечаются минимальные величины испаряемости на фоне роста количества выпадающих атмосферных осадков. Северо-полушарный минимальный пик геониде испаряемости тесно квазисимметрически коррелируется на ИГН-модели с пересечением геонидом экваториальности и территориальности планеты Земля. Одним из основополагающих в комплексном использовании водных ресурсов является после продовольственных, питьевых и сельскохозяйственных потребностей именно гидроэнергетическая значимость. На нужды гидроэнергетики в прогнозном аспекте будет приходиться около 8% мирового расходования водных ресурсов. Водные проблемы связаны на Земле

и ее субчастях неравномерным распределением гидролого-гидрогеологических ресурсов, представленных различными ее фазовыми состояниями и неодинаковым их качеством, особенно для использования в питьевых целях. По прогнозным оценкам, при условии возрастания населения до 10 млрд. человек смоделировано, что в ближайшем будущем питьевое водопотребление ожидается в 10 раз меньше расходования воды на орошение. Водопотребление по странам света составляет: в Азии – 56%, Северной Америке – 19,4%, Европе – 18,2%, Африке – 3,1%, Южной Америке – 2,1%, Австралии и Океании – 1,2 %. При этом суммарное безвозвратное расходование воды составляет 2520 кубических километров в год. По статистике, в 2000 году количество населения в Китае, необеспеченное должным образом водой, достигало 379 млн. человек, а в 2009 году составило более 200 млн. человек. При этом затраты на обеспечение водой 160 млн. сельчан в Китае составляет около 6 млрд. долларов США. На обеспечение водой одного человека было затрачено 37,5 доллара США.

5. На геониде планетарного широтного распределения площадей: а) оледенений, б) многолетней мерзлоты, в) морских льдов (зимой – фиолетовый, а летом – синий цвет) (рис. 6) представлены закономерности, свидетельствующие о пиках максимального развития исследуемых компонент криосферы Земли. На следующей геониде даны надрегionalные закономерности (для евразийского континента), а именно по широтное распределение: а) количества сильных землетрясений, б) площади сейсмогенных зон, в) площадей горных сооружений, г) площадей равнин (рис. 7).

В течение указанного межледникового времени выделяются четыре эпохи: две холодные с минимумами в 2900 – 2300 и 330 – 125 лет назад,

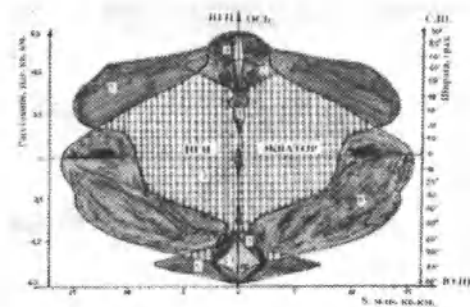


Рис. 6.

и теплые с цикловыми пиками, выразившимися в палеоклиматических реконструкциях около 5000 – 3000 и 1000 – 800 лет тому назад. Самые последние холодные эпохи палеоклимата датируются 1435 – 1860 г. нашей эры (длились 425 лет), а теплая – 985 – 1185 лет нашей эры (продолжалась 200 лет). В указанные периоды времени вследствие перераспределения масс воды, переходящих из одной в другие фазовые состояния, происходили изменения в ритмике напряженно-деформированного процесса в геосферах.

6. В результате преобразования тематических карт в ИГН широтные и высотные площади распределения ледников для территорий Кыргызстана (рис. 8 – латеральное, 10 – вертикальное) и Таджикистана (рис. 9 – латеральное, 11 – вертикальное) составлены соответствующие геонмодели: а) горных сооружений, б) межгорных долин, в) оледенения (ледников).

Кыргызстан представляет собой состоящую из Тянь-Шаньской и Алайской горных систем страну, где 94,2 % ее территории лежит выше 1000 метров над уровнем моря, а 40,8% – выше 3000 м. Климат континентальный, с резкими контрастами, связанными с высотной поясностью. В Кыргызстане насчитывалось 8 208 ледников общей площадью 8100 кв. км. Ледники питают шесть бассейнов рек и соответственно распределены по их площади развития в следующем уменьшающемся порядке: 1) бассейн реки Сары-Джаз – 33% от общего оледенения Кыргызстана, 2) бассейн реки Нарын – 17%, 3) горное обрамление Ферганской долины – 12%, 4) бассейн реки Кызыл-Суу Западный – 8%, 5) бассейн озера Иссык-Куль – 8%, 6) северный склон Кыргызского хребта – 5,8%. Крупные семь ледников имеют площади от 65 кв. км до 632 кв. км и длину от 11 до 60,5 км. На ИГН-модели оценки рисков деградации ледников и изменения климата видно, что

оледенение Кыргызстана образует в широтном отношении с севера на юг три пика на геонме распределения ледников. Поскольку при движении в южном направлении возрастает риск деградации ледников, в указанном направлении, вероятнее всего, и будут оттаивать и по этапам сокращаться массивы оледенения. Из ИГН-модели видно, что максимальные пики площадей оледенений приурочены к пикам развития геонма площадей гористости территорий. При этом наиболее северный пик геонма площадей ледников расположен на широте около 42 град. северной широты. Следующий пик, расположенный на широте 41 градус, характеризуется наименьшим из трех пиков по развитости и располагается в срединной широтной части территории Кыргызстана. Третий пик геонма ледников расположен на широте 39 град. 30 мин. и размещается на южной части ИГН-модели, которая синхронна на графике с пиком развития площади гористости.

На основе проведенных за последние 5 лет международных экспедиций совместно с GFZ г. Потсдам (Германия) получено, что ледники Кыргызского Тянь-Шаня, включая крупнейшие из них, такие, как Энгильчек длиной до 60,5 км, имеющие общую площадь 847,4 кв. км, подвержены деградации. По данным повторных фото-теодолитных измерений, объемы ледников в области абляции уменьшались в течение трех лет до 1,5–2,0 мм, а линейное отступление составило от 25 метров (ледник Аксуу), до 100 м (ледник Давыдова – массив Ак-Шыйрак). В связи с законом изостазии изменение баланса масс вызывает активизацию современных движений и рост сейсмичности в горноскладчатом регионе.

Таджикистан, состоящий из Тянь-Шаньской, Алайской и Памиро-Дарвазской горных систем, страна, имеющая абсолютные отметки от 300 метров в южной равнинной части территории и 7495

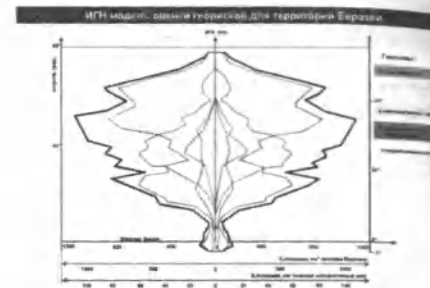


Рис. 7.

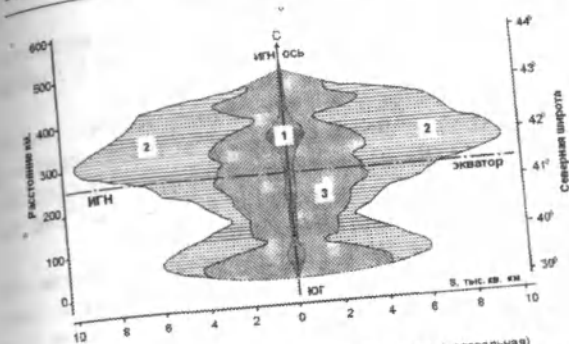


Рис. 1 Инженерно – геонмическая (ИГН) горизонтально-латеральная модель территории Кыргызского Тянь – Шаня и распределение геонмов: 1 – оледенности, 2 – орогенности, 3 – долиньности

Рис. 8.

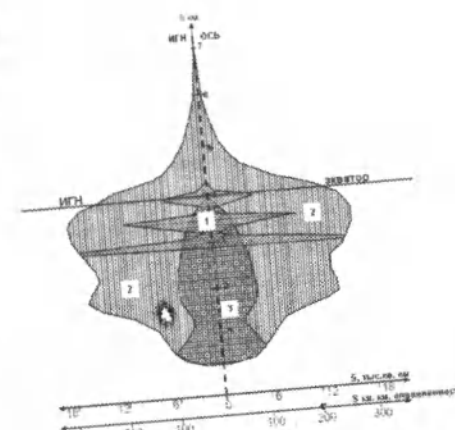


Рис. 2 Инженерно – геонмическая (ИГН) вертикально – высотная модель территории Кыргызского Тянь – Шаня и распределение геонмов: 1 – оледенности, 2 – орогенности, 3 – долиньности

Рис. 10.

метра на пике Коммунизма в восточной Памиро-Алайской части страны. Здесь, по данным Р.Д. Забировой (1955 г.), насчитывалось до 1085 ледников длиной более 1,5 км и общей площадью 8041 кв. км. Около 16 ледников достигали длины более 16 км. Наиболее крупный ледник Федченко имел длину более 70 км и площадь – 907 кв. км. При этом 91% площади оледенения находится в бассейне реки Аму-Дарья. Характер распределения ледников на территории Таджикистана в приведенной ИГН-модели имеет, по предварительным измерениям, четыре пика геонма площадей распространения ледников. Наибольший и широкий пик геонма площадей ледников расположен в северной части страны на широте от 38 град. 30 мин. до 39 град., одновременно, как и в Кыргыз-



Рис. 3 Инженерно – геонмическая (ИГН) модель латерального поперечного распределения геонмов для территории Таджикистана: 1 – орогенности, 2 – абсолютных отметок до 1 км (долиньности), 3 – оледенности

Рис. 9.

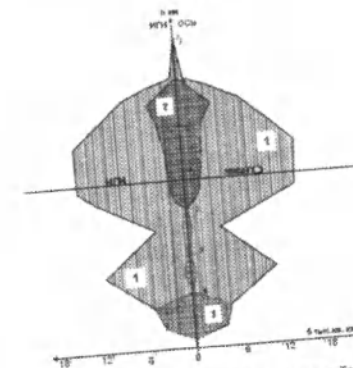


Рис. 4 Инженерно – геонмическая (ИГН) модель территории Таджикистана с высотным распределением геонмов: 1 – территорияльности, 2 – оледенности, 3 – долиньности на примере Таджикистана

Рис. 11.

стане, синхронна с геонмом пика максимальной площади оледенения. На представленной (рис. 4) инженерно-геонмической модели высотного распределения геонмов показаны закономерности: 1) территорияльности, 2) степени оледенения на примере в Таджикистане, где по сравнению с территорией Кыргызстана высоты распространения ледников в Таджикистане варьируют с 3 до 6 и более километров. На составленных ИГН-моделях (рис. 8-11) показано, что при условиях глобального или регионального потепления климата ледники будут уменьшаться по площади и объему в соответствии с установленными точными координатами пиков геонмов.

В целях единого подхода к оценке георисков, прогнозирования и картирования опасных из-

менений природной среды составлена 12-мерная унифицированная ИГН-шкала индикаторов и классификационных показателей чрезвычайных ситуаций природного, техногенного, экологического и социально-биологического характера

Выводы

1. Разработаны междисциплинарные универсальные для исследований геоним-модели на основе количественного и поординатного преобразования считающихся конечным результатом разноматематических карт Земли и ее субчастей. ИГН-модели проецируются на ось вращения Земли и составляются для карт любых масштабов и содержания, что позволяет выявить закономерности латерального (широтное и долготное) и вертикального (высотное и глубинное) распределения различных по тематикам геонимов: 1) территориальности, 2) кватерниальности, 3) орогенности, 4) криогенности, 5) оледененности, 6) распределенности энергетических систем, 7) опустыненности, 8) размещенности энергетических (ГЭС и АЭС) объектов, а также для других сопряженных компонентов окружающей природной среды (1-8).

2. На составленных разномасштабных геоним-моделях установлены ранее не фиксируемые особенности и закономерности развития геосистемных компонентов, позволяющие унифицировать на основе использования 12-мерной ИГН-шкалы оценивать и прогнозировать опасные изменения природной среды.

3. В практике и теории исследований необходимо использовать разработанную инженерно-геономическую междисциплинарную концепцию и методологию, которые являются основой Общей теории Земли.

Литература

1. Основы инженерной геонимии и катастрофологии (2006) / Под редакцией профессора Усупова Ш. Э. – Бишкек: Изд-во ДЭМИ. – 662 с.
2. Львович М.И. (1986) Вода и жизнь: (Водные ресурсы. Их преобразование и охрана). – М.: Мысль. – 254 с.

3. Дмитриев А.А. (1987) Солнечная активность, погода и климат Будыко М.И. (1977) Глобальная экология. – М.: Мысль. – 328 с.
4. Hans-Ulrich Wetzel, Andreas Reigber, Andreas Richter, Wasili Michajlow «Gletschermonitoring und Gletscherseebrüche am Jnyyltschik (Zentraler Tianshan) – Interpretation mit optischen und Radarsatelliten» (2005) Bishkek. – P. 4.
5. Усупов Ш.Э. Инженерно-геономическая модель прогнозирования радиационных и энергетических катастроф на планете Земля и ее субчастях / Труды конференции государственных участников СНГ «Инновационные технологии в ядерной энергетике XXI века. Цели, критерии выбора, концепция развития». – М., 2001.
6. Усупов Ш.Э., Ачкасов П.В. Инженерно-геономическая палеокатастрофия образования объемных фигур планет (на примере геода Земли) // Материалы Международной конференции по геодезии и геоинформатике 18–19 октября. – Бишкек, 2007. – С. 160–163.
7. Усупов Ш.Э. Инженерно-геономическая методология моделирования и оценки геокриосферных рисков при глобальном изменении климата на планете Земля и ее субчастях // Сб. статей и докладов научной конференции «Перспективы использования водноэнергетических ресурсов Таджикистана в условиях изменения климата». – Душанбе, 2009. – С. 59–63.
8. Усупов Ш.Э. Прикладные основы теории прогноза георисков и обращения с опасными изменениями природной среды // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (издание седьмое с изменениями и дополнениями). – Бишкек: МЧС КР, 2010. – С. 670–674, 753.
9. Усупов Ш.Э. Основы инженерно-геономической (ИГН) методологии прогнозирования катастроф // В кн.: Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (издание восьмое с изменениями и дополнениями). – Бишкек: МЧС КР, 2011. – С. 682–683, 718.

УДК 691.327:006.357

Создание конструкции вибропрессующего оборудования для брикетирования угольной мелочи

Б.С.СУЛТАНАЛИЕВ – доктор тех. наук
Д.МЕЛИС УУЛУ – кандидат тех. наук
СОЛПИЕВ С.Т. – научный сотрудник

Creation of vibrating press facility for coal fines briquetting is considered in the article.

В нашей республике все более ощущается дефицит дешевого сортового топлива для коммунально-бытовых нужд. В последнее время угольные предприятия республики все больше проявляют интерес к установкам по брикетированию угольной мелочи, так как в связи с ростом добычи угля накапливается ее огромное количество. Эти отходы могут быть с помощью брикетирования превращены в высококачественное сорговое топливо и сорбенты. Именно возможность в процессе производства задать размеры, форму, вес, состав брикетируемой смеси и при этом получить продукт, брикет (рис.1) с необходимыми свойствами, которые не имеют входящие в него компоненты – определяет уникальную полезность брикетирования и особенно отходов.

Развитие брикетирования для получения высококачественного бездымного бытового топлива характеризуется разработкой и внедрением новых схем и стадий брикетирования, связующих, аппаратуры.

Следует отметить, что разработка технологии получения высококачественного связующего на основе отходов производства для улучшения качества брикетного топлива – это назревшая на сегодняшний день задача.

Брикетирование угольной мелочи приобретает важное значение, так как угольные брикеты являются наиболее экономичным, калорийным,

транспортабельным и удобным в быту твердым топливом. Таким образом, проблема получения угольного топлива приобретает особую актуальность.

В промышленности наиболее распространены следующие типы брикетных прессов [3,4,5]:

- по типу рабочих органов – вальцевые, штемпельные и ротационные;
- по типу привода рабочих органов – механические и гидравлические.

В условиях нашей республики применение механических брикетных прессов в настоящее время из-за их металлоемкости и себестоимости неэффективно. Поэтому частные предприниматели отдают предпочтение малогабаритному, конкурентоспособному и мобильному оборудованию. Следует отметить, что при соответствующей постановке работы создание гидравлического пресса для брикетирования угольной мелочи можно рассматривать как одно из перспективных направлений машиностроительной отрасли республики.

Институт машиноведения НАН КР занимается проектированием и исследованием различного оборудования для горнорудной промышленности, строительства, металлургии, машиностроения и сельского хозяйства. На основе изучения потребности рынка и отечественных предпринимателей нашей республики в Институте машиноведения

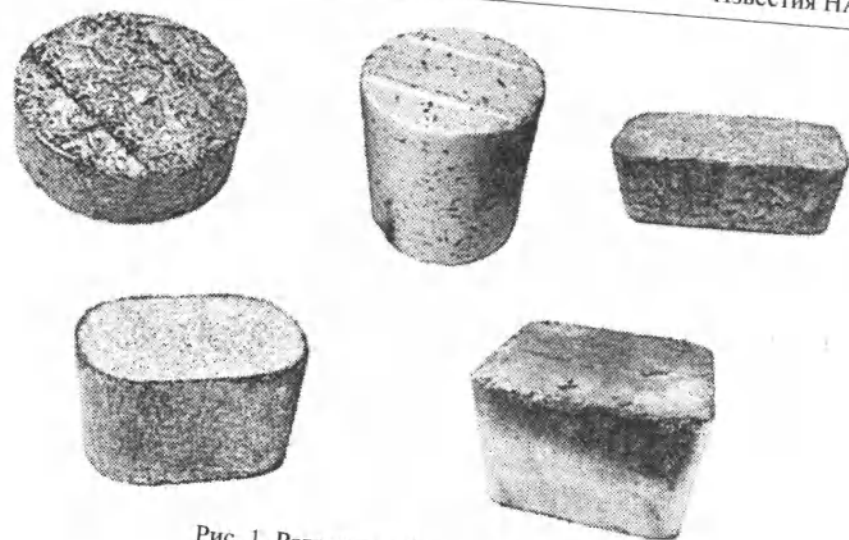


Рис. 1. Различные формы брикетов.

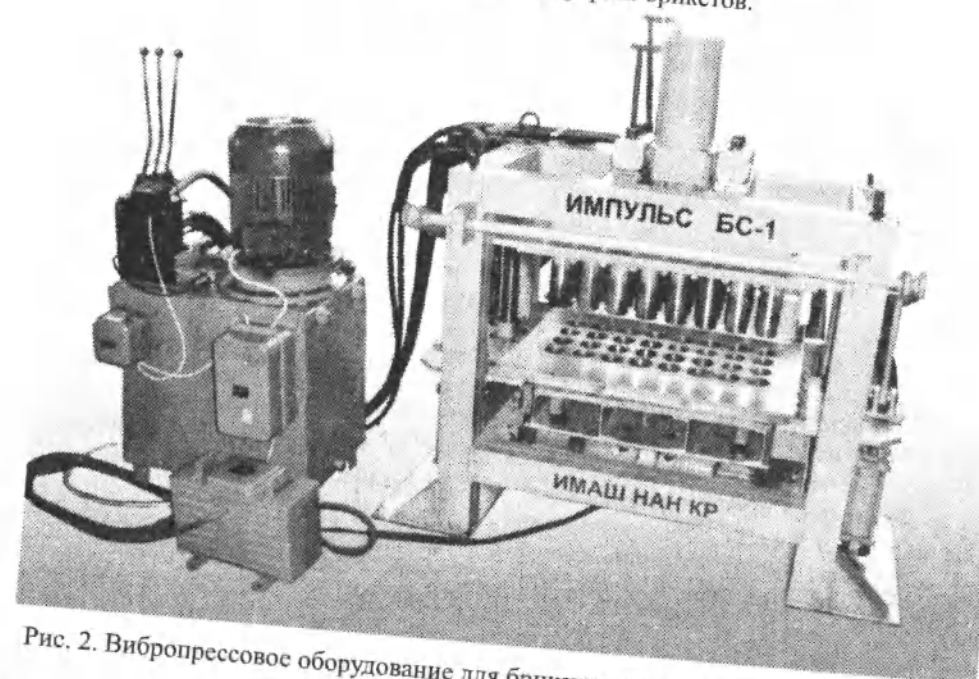


Рис. 2. Вибропрессовое оборудование для брикетирования угля «Импульс БС-1.0».

разработана новая конструкция гидравлического пресса «Импульс БС-1.0» (рис. 2) для брикетирования угольной мелочи.

Брикетный вибропресс (рис. 3) состоит из вибрационного стола 8 с вибраторами. Узел станины (рама) 1 состоит из четырех стоек и нижней опоры, к которой крепятся четыре направляющие колонны 6 для перемещения пуансона 2. На станину сверху прикрепляется узел траверсы 7, где

с помощью гидроцилиндра 4 осуществляются подъем и опускание пуансона. На основании матрицы 3 на четырех резиновых амортизаторах установлена опорная плита. Для уменьшения вибраций между матрицей и опорной плитой прокладывается деревянная опора.

Принцип работы вибропресса заключается в следующем: в приемно-загрузочное устройство загружается угольная смесь, которая будет пода-

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕССА ИМПУЛЬС БС-1,0 ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ УГОЛЬНОЙ МЕЛОЧИ

Количество одновременно формуемых брикетов (шт)	32
Характеристика брикетов:	
диаметр брикета (мм)	60,0
Масса (кг)	0,2-0,3
Тип вибратора	ИБ-98Б
Количество вибраторов (шт)	1
Производительность оборудования (т/час)	0,8-1,2
Номинальное давление жидкости в гидросистеме (МПа)	14,0
Мощность насосной станции (кВт)	7,5
Габаритные размеры вибропресса (мм)	1500x1400x1900
Масса вибропресса (кг)	950

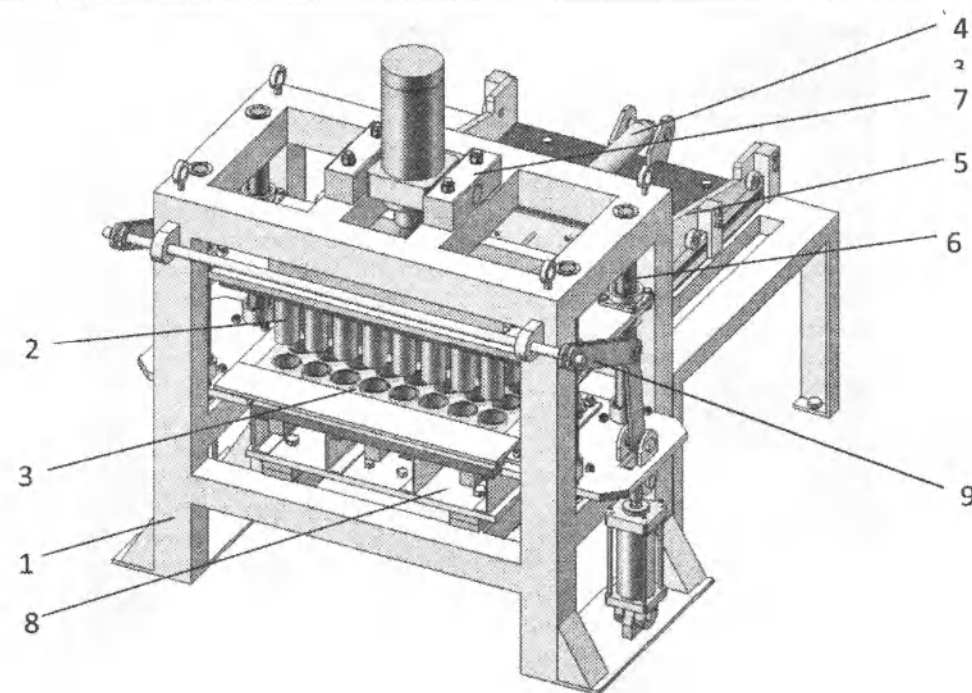


Рис. 3. Общий вид брикетного вибропресса: 1 – рама; 2 – пуансон; 3 – матрица; 4 – гидроцилиндр; 5 – приемно-загрузочное устройство; 6 – направляющие; 7 – траверса; 8 – стол и площадка вибратора; 9 – шарнирный рычаг синхронизации цилиндров матрицы.

ваться на рабочую зону матрицы, где осуществляется формообразование до требуемой прочности, затем включается вибратор для уплотнения угольной смеси в матрице. После формования угольной смеси в ячейках матрицы с помощью гидроцилиндров пуансон опускается вниз до прижатия угольной смеси в ячейках матрицы. Далее матрица начинает движение вверх, при этом пуансон остается неподвижным, и в этот

момент осуществляется выталкивание из ячеек матрицы полученных брикетов угольной смеси. При достижении матрицы верхнего положения готовая продукция из матрицы остается на деревянной опоре и ее можно изымать. Таким образом, в описании работы брикетного вибропресса можно выделить 4 положения:

1) исходное положение. Рама пуансона находится сверху, матрица расположена на дере-

вяной опоре. Загрузочное устройство загружено угольной смесью;

2) пуансон находится в верхнем положении. Загруженное угольной смесью загрузочное устройство с помощью гидроцилиндра движется вперед в зону загрузки матрицы. Далее происходит заполнение ячеек матрицы. Затем включается вибратор для полного заполнения и уплотнения ячеек матрицы;

3) гидроцилиндр пуансона выдвигает шток, тем самым производится движение пуансона вниз, далее происходит сдавливание пуансоном угольной смеси;

4) при неподвижном нижнем положении пуансона осуществляется подъем матрицы, тем самым оставляя готовое изделие на деревянной опоре. Далее процесс повторяется.

Опытный образец вибропресса прошел предварительные экспериментальные испытания, в ходе которых подтверждены его работоспособность и соответствие расчетных и действительных параметров.

В ходе испытаний при прессовании угольного брикета давление устанавливали в диапазоне от 9–16 МПа. При давлении 16 МПа усилие прессования составляло 20 кг/см². По нашим расчетам, с такими условиями прессования полученный брикет должен обладать максимальной прочностью, правильной формой и весом.

На брикетном вибропрессе «Импульс БС-1.0» брикеты получили наиболее выгодным и экологически безопасным методом (холодное брикетирование), где готовые изделия для достижения требуемой эксплуатационной прочности подвергаются вылеживанию на поддонах в течение шести часов. Как известно, при полном технологическом цикле брикеты проходят сушку в специальных сушильных печах.

Результаты испытаний полученных брикетов при одинаковых условиях на прочность показали, что как брикеты со связующим веществом, (глина) так и без него по внешнему виду выглядят одинаково. Однако брикеты без связующих веществ по прочности уступают брикетам со связующими веществами. Масса полученного брикета – 0,2 – 0,3 кг. Диаметр и высота брикетов составили 60 мм. Полученные угольные брикеты подвергались сушке при температуре 25°C.

После проведенных предварительных испытаний на брикетном вибропрессе «Импульс БС-1.0» количество одновременно формируемых брикетов составило за один цикл $n = 32$ штук. За один цикл для формирования брикетов уходило в среднем 25 секунд, и производительность для формирования брикета в одну смену составила $n_{\text{смену}} = 36864$ шт, или 1,2 тонны брикетов.

Как известно, при параллельной работе гидроцилиндров прессов или подъемных механизмов необходимо обеспечить их четкое синхронное движение. В работе [2] проблемы синхронизации работы гидроцилиндров матрицы были решены с помощью внесения дополнительных элементов в гидравлическую схему. В конструкции брикетного вибропресса «Импульс БС-1.0» синхронизация движения матрицы обеспечивается механически с помощью шарнирного рычага 9 (рис. 3).

В настоящее время продолжают работы по испытанию брикетного вибропрессующего оборудования в промышленных условиях. В дальнейшем будут предложены новые конструктивные решения, позволяющие повысить надежность и увеличить долговечность гидравлического брикетного вибропрессующего оборудования для брикетирования угольной мелочи.

Литература

1. Султаналиев Б.С., Мелис уулу Д., Мамытбаева А. Создание конструкции гидравлического вибропрессующего оборудования для формования стеновых камней / Сборник научных трудов ИМАШ НАН КР. – Бишкек, 2010. – С 23 – 28.
2. Султаналиев Б.С., Мелис уулу Д., Солдиев С.Т. Синхронизация гидроцилиндров матрицы гидравлического вибропрессующего оборудования / Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2010. – С. 211–215
3. Горная энциклопедия: В 5 т./ Гл. ред. Е.А. Козловский. – М.: Сов. энцикл., 1984 – 1991. Печатные издания: Горная энциклопедия. В 5 томах. Том 1. Режим доступа: www.encyclopedia.ru
4. Ремесников И.Д. Брикетирование угля. – М., 1957.
5. Елишев А.Т. Брикетирование каменного угля с нефтяным связующим, М., 1968.
6. Зорин А.В. Брикетирование бурых углей с использованием связующей коксо-асфальтовой композиции / Автореф. дисс. – 2009.

NANO.KG

Стратегия развития



УДК 547.992.2:541/64+518/67

Лазерное испарение графитовых образцов в сильном электрическом поле

С.А. ТОКТОГОНОВ – канд. физ.-мат. наук
С.Т. КОЖОЕВА – канд. техн. наук
Э.М. ТОКТОРБАЕВ – соискатель

This paper experimentally investigated the processes of laser ablation of graphite samples in the strong electric field.

Одним из методов получения наносистем является лазерный метод распыления вещества в различных условиях, например в среде инертных газов. Эффективными и производительными являются также электроразрядные методы получения наносистем в жидкостях и газах [1-3].

В данной работе экспериментально исследованы процессы лазерного испарения графитовых образцов в сильном электрическом поле.

В экспериментах было изучено совместное воздействие непрерывного лазерного излучения (ЛИ) и сильного электрического поля (ЭП) на графитовые образцы [4]. Образцы представляли собой форму цилиндра длиной $L = 10$ мм и диаметром $d = 6$ мм. Мощность непрерывного ЛИ была равна $P = 30-60$ Вт. Диаметр пучка ЛИ на поверхности образца составлял $d = 0,03$ см. Интенсивность ЛИ $I \sim 3 \cdot 10^4$ Вт/см². Образец ставили в зоне фокусировки ЛИ торцом вверх в нижней пластине экспериментального стенда. Эксперименты проводились в три этапа. Предварительно было изучено воздействие только ЛИ на образец. Оптимальное время экспозиции облучения лазерным излучением, при котором образец испаряется эффективно, было выбрано 10 мин. При этом наблюдалась следующая картина процесса:

➤ в начальный момент времени происходили нагрев и накаливание верхнего торца образца;

- с увеличением экспозиции наблюдались эрозия поверхности образца и усиление выброса вещества;
- дальнейшее облучение образца приводило к интенсивному испарению вещества, причем можно различить три канала выброса вещества:

1. Большая часть испаряемого вещества эродировала с относительно небольшой скоростью и собиралась вокруг образца на нижней пластине.
2. Часть вещества выбрасывалась с относительно большой скоростью и осаждалась на верхней пластине.

3. Часть вещества выбрасывалась и, отскакивая от верхней пластины, снова оседала по всей поверхности на нижней пластине на некотором расстоянии от мишени.

После экспонирования остаток образца представлял собой конус высотой ~ 3 мм и диаметром ~ 3 мм.

Далее были проведены эксперименты по совместному воздействию непрерывного ЛИ и сильного ЭП на образцы при различных фиксированных значениях напряжения ЭП и расстояния между электродами. Было обнаружено, что оптимальное расстояние между иглой, опущенной с верхней пластины, и верхним торцом графитового образца, когда наблюдается эффективное испарение, равно $l = 1$ см. В этом случае в процессах

испарения принимал участие коронный разряд между верхним торцом образца и иглой, направленной вниз с верхней пластины. При этом наблюдались аналогичные первому эксперименту явления, но интенсивность испарения облучаемых образцов возрастала. Сравнение этих двух экспериментов показывает, что при совместном воздействии непрерывного ЛИ и сильного ЭП на образцы разрушаемость последних больше, чем при воздействии только ЛИ. Причем, как видно из ВАХ (рис. 1), в рассматриваемой цепи с увеличением экспозиции облучения ток цепи в начальный момент времени резко увеличивается. Этот промежуток времени соответствует нагреву графитового образца до температуры сублимации и началу интенсивного испарения материала образца. Дальнейшее развитие процессов приводит к спаду скорости роста тока. Причем следует заметить, что в этом промежутке времени происходит интенсивное испарение материала графитового образца и уменьшение его высоты, приводящее к увеличению межэлектродного промежутка.

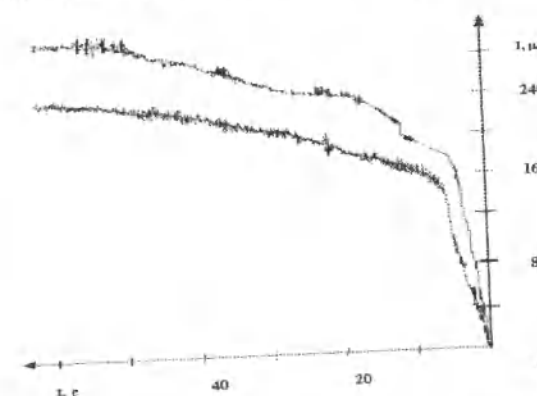


Рис. 1. Характерные временные зависимости тока лазерно-электроразрядного испарения графитовых образцов.

Описанные процессы различаются в зависимости от полярности подаваемого потенциала на образцы. При отрицательной полярности ЭП на нижней пластине большинство продуктов эрозии осаждалось на верхней пластине, а в случае отрицательной полярности на верхней пластине и в отсутствие ЭП большинство продуктов эрозии осаждалось на нижней пластине вокруг образца [4].

Испарение графитовых образцов в основном определяется мощностью лазерного излучения. При низких интенсивностях испарение графитовых образцов ослабевает, а иногда даже отсутствует. Интенсивное испарение наблюдалось при

мощности 50 Вт. Остаток образца при чисто лазерном испарении в течение 10 мин. экспозиции имел конусовидный вид с характерными размерами 3 мм. При этой же мощности ЛИ лазерно-электроразрядное испарение идет интенсивнее, и остаток образца иногда даже не обнаруживается. То есть можно предположить, что лазерно-электроразрядное воздействие приводит к эффективному испарению облучаемого графитового образца. Вероятно, это объясняется дополнительными разрушающими действиями пробойных каналов, образующихся между поверхностью облучаемого образца и верхним электродом.

С помощью специальной калориметрической установки были получены зависимости сопротивления R -исследуемых порошков от термоЭДС термпары. На основе этих зависимостей были найдены зависимости удельного сопротивления от температуры, которые представлены на рис. 2, где сопротивление исходных графитовых порошков с повышением температуры монотонно возрастает и при температуре ~ 470 К увеличивается почти в два раза. Анализ же зависимостей сопротивления (рис. 2) порошков, полученных лазерным испарением графитовых образцов от температуры, показывает, что с увеличением температуры до $T \sim 430$ К сопротивление падает и затем снова наблюдается рост. Аналогичный характер температурных зависимостей наблюдается для порошков, полученных лазерно-электроразрядным испарением. Но в этом случае минимум наблюдается при температурах $T \sim 380$ К.

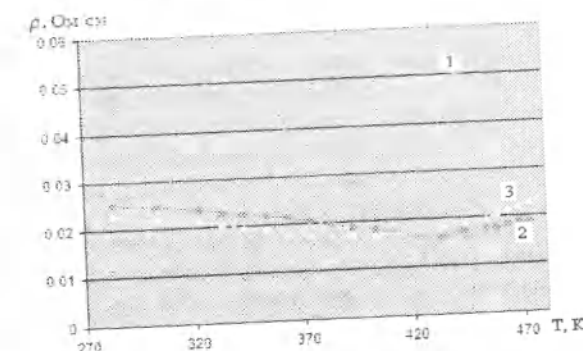


Рис. 2. Зависимость удельного сопротивления тертого графитового порошка 1, графитовых порошков, полученных путем лазерного испарения 2, и лазерно-электроразрядного испарения 3 от температуры.

Различия характера температурных зависимостей сопротивления порошков, полученных

лазерным и лазерно-электроразрядным испарением графитовых образцов от температурной зависимости исходных графитовых порошков, подтверждает неидентичность их структуры и возможное образование фуллеренов предложенными методами.

Литература

1. Боков Ю.С., Борисов Б.С., Ракитин В.В. и др. От субмикронной к нанотехнологии // Электронная промышленность. – 1994. – № 7,8. – С. 99–102.
2. Серов И.Н., Жабров В.А., Марголин В.И. Проблемы нанотехнологии в современном материаловедении. www.aires.spb.ru
3. Орешкин В.В., Седой В.С., Чemezova Л.И. Применение электрического взрыва проволок для получения наноразмерных порошков // Прикладная физика. – 2001. – № 3. – С. 94–102.
4. Токтогунов С.А., Куручбеков Т.А., Ганиева А.С. Лазерно-электроразрядное испарение графитовых образцов // Вестник КРСУ. – 2005. – Т.5. – № 1. – С. 34–37.
5. <http://ktf.krk.ru/courses/fulleren/g1.htm>

УДК: 621.762

Химическая устойчивость нано- и ультраструктурированных керамокомпозиционных материалов в концентрированных кислотах и щелочах

К.А. ЛАСАНХУ – аспирант

Н.К. КАСМАМЫТОВ – к.ф.-м.н., доцент

In work it is investigated physical and chemical stability for nano- and ultra structured ceramic composite materials (NUCM) received of secondary silicon a waste method of reactionary sintering in the gas environments of nitrogen. It is established that synthesized NUCM have high physical and chemical properties in concentrated acid and alkalis. Firmness NUCM at $T = 298\text{K}$ in concentrated acids and alkalis reaches till 210 o'clock.

Химической (коррозионной) стойкостью называют способность керамических материалов противостоять разрушающему действию агрессивных сред. Влияние агрессивной среды может и не сопровождаться разрушением керамического изделия, но свойства могут измениться настолько, что его дальнейшая эксплуатация в данной конструкции станет невозможной. Влияние агрессивной среды имеет место в химических реакторах, доменных, мартеновских, стекловаренных печах, конвертерах, установках для непрерывной разливки стали, в керамических двигателях и т.д.

Часто встречающимся процессом является взаимодействие керамических материалов с агрессивной жидкостью (кислоты и щелочи), приводящее к изменению их физико-химических свойств.

Целью данного исследования является определение химической устойчивости под влиянием концентрированных кислот и щелочей на реакционно-спеченные нано- и ультраструктурированные керамокомпозиционные материалы (НУКМ), полученные методом реакционного спекания из шламовых отходов кремния в атмосфере азота по разработанной технологии [1–3].

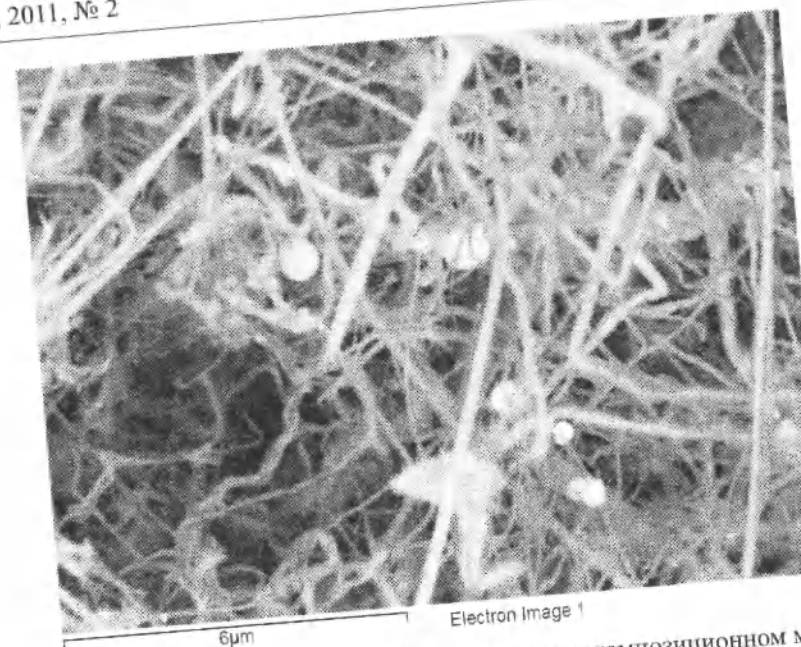


Рис.1. Нано- и ультракитовидные кристаллы в керамокомпозиционном материале, полученные из шламовых отходов кремния.

Таблица 1

Химическая устойчивость керамокомпозиционного материала на основе $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ и $\beta'\text{-Si}_3(\text{C}_x\text{N}_y)_4$					
Реагент.	Температура, К	Масса нач, грамм.	Масса кон, грамм.	Стойкость в течение, ч.	Масса на время, гр / ч.
HNO_3 конц.	298	1,585	1,715	911	$13,9 \cdot 10^{-5}$
H_2SO_4 конц.	298	1,640	1,755	911	$14,4 \cdot 10^{-5}$
H_3PO_4 конц.	298	1,365	1,335	1036	$10,5 \cdot 10^{-5}$
KOH конц.	298	1,430	1,565	375	$30,5 \cdot 10^{-5}$
NaOH конц.	298	1,830	1,975	375	$39 \cdot 10^{-5}$

Опытные образцы НУКМ были получены нами при двух температурных режимах: режим I – $T = 1320^\circ\text{C}$ и режим II – $T = 1220^\circ\text{C}$ (при давлении азота в печи $P = 1,26 \cdot 10^5 \div 1,77 \cdot 10^5$ Па).

В ранее проведенных исследованиях [4,5] было установлено, что реакционно-спеченные опытные образцы НУКМ, полученные по режиму I, состоят из двух основных фаз $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ и $\beta'\text{-Si}_3(\text{C}_x\text{N}_y)_4$ в виде «леса» нано- и ультракитовидных кристаллов (см. рис. 1).

Установлено, что $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ и $\beta'\text{-Si}_3(\text{C}_x\text{N}_y)_4$ являются изоморфными фазами с одинаковой гексагональной кристаллической решеткой, но отличающимися периодом кристаллической решетки. Это обусловлено тем, что в процессе реакционного спекания происходит замещение атомов азота атомами углерода с образованием нестехиометрического соединения $\beta'\text{-Si}_3(\text{C}_x\text{N}_y)_4$ с переменным

составом, сохраняющего при этом симметрию кристаллической решетки $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$.

Проведенный нами фазовый анализ реакционно-спеченных опытных образцов НУКМ (полученных по режиму II) показал наличие в них следующих основных $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ и $\alpha'\text{-Si}_3(\text{C}_x\text{N}_y)_4$ полиморфных фаз в виде нитевидных кристаллов, составляющих около 85–92%, а также около 1,5% SiC и $\text{Si}_3\text{N}_2\text{O}$ в виде включений, не связанных с основной структурной матрицей, также следует отметить присутствие в образце 6–13% $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$.

Химическую устойчивость реакционно-спеченных опытных образцов НУКМ определяли по изменению их масс (см. табл. 1 и 2) после их выдержки в концентрированных кислотах и щелочах при нормальных условиях ($T = 298,15\text{ K}$) и сушки в течение 10–15 мин.

Химическая устойчивость керамокомпозиционных материалов на основе α - Si_3N_4 и α' - $\text{Si}_3(\text{C}_x\text{N}_y)_4$

Реагент.	Температура, К	Масса нач, грамм.	Масса кон, грамм.	Стойкость в течение, ч.	Масса на время, гр / ч.
HNO_3 конц.	298	1,103	1,190	161	$54,8 \cdot 10^{-5}$
H_2SO_4 конц.	298	1,871	2,076	161	$93 \cdot 10^{-5}$
H_3PO_4 конц.	298	1,001	0,980	210	$38,1 \cdot 10^{-5}$
KOH конц.	298	1,423	1,505	136	$83,7 \cdot 10^{-5}$
NaOH конц.	298	1,660	1,790	136	$97,6 \cdot 10^{-5}$

Результаты исследований химической устойчивости опытных реакционно-спеченных образцов НУКМ в концентрированных кислотах и щелочах представлены в табл. 1 и 2. Установлено, что химическая устойчивость опытных реакционно-спеченных образцов, полученных по режиму I, в среднем в 3 раза выше по сравнению с реакционно-спеченными образцами, полученными по режиму II.

Например, химическая устойчивость реакционно-спеченных опытных образцов, полученных по режиму I (табл. 1), в концентрированной азотной и серной кислоте в 6 раз выше, чем у реакционно-спеченных опытных образцов, полученных по режиму II (табл. 2). Сравнивая изменение массы опытных образцов НУКМ после воздействия концентрированной азотной кислоты, видим, что масса у реакционно-спеченного опытного образца, полученного по режиму I, изменилась на $13,9 \cdot 10^{-5}$ гр/час, что почти в 4 раза больше по стойкости, чем у реакционно-спеченного опытного образца по режиму II – $54,8 \cdot 10^{-5}$ гр/час, а стойкость в концентрированной серной кислоте опытного образца, полученного по режиму I, равна $14,4 \cdot 10^{-5}$ гр/час, чем опытный образец, полученные по режиму II, – $93 \cdot 10^{-5}$ гр/час. В концентрированной фосфорной кислоте химическая устойчивость опытных образцов НУКМ, полученных по режиму I, достигает 1036 часов, что почти в 5 раз выше, чем у реакционно-спеченных образцов, полученных по режиму II, – 210 часов, а масса реакционно-спеченных образцов по режиму I в концентрированной фосфорной кислоте изменяется на $10,5 \cdot 10^{-5}$ гр/час, что почти в 3 раза устойчивее, чем у реакционно-спеченных образцов по режиму II – $38,1 \cdot 10^{-5}$ гр/час, другими словами, опытные реакционно-спеченные образцы, полученные по режиму I, более стойки в концентрированной фосфорной кислоте, чем опытные образцы, полученные по режиму II, с α - Si_3N_4 и α' - $\text{Si}_3(\text{C}_x\text{N}_y)_4$ фазами.

В концентрированных щелочах химическая устойчивость реакционно-спеченных опытных образцов НУКМ, полученных по режиму I, составила 375 часов, а у реакционно-спеченных опытных образцов, полученных по режиму II, почти в 3 раза меньше – 136 часов.

Итак отметим, что реакционно-спеченные опытные образцы НУКМ, полученные по режиму I, по химической устойчивости существенно превышают реакционно-спеченные опытные образцы НУКМ, полученные по режиму II. Высокие значения химической устойчивости реакционно-спеченных опытных образцов НУКМ к концентрированным кислотам и щелочам, полученным при режиме I, связываются с более прочными ковалентными связями в высокотемпературных модификациях β - Si_3N_4 и β' - $\text{Si}_3(\text{C}_x\text{N}_y)_4$. Мерой величины ковалентной связи могут служить параметры кристаллической решетки образующихся фаз в реакционно-спеченных опытных образцах НУКМ. Например, в β и β' -фазах нитрида и карбонитрида кремния, полученных по режиму I, параметры кристаллической решетки "a" и "c" меньше на $\Delta a \approx 0,15 \text{ \AA}$ и $\Delta c \approx 2,71 \text{ \AA}$, чем у реакционно-спеченных опытных образцов α - Si_3N_4 и α' - $\text{Si}_3(\text{C}_x\text{N}_y)_4$, полученных по режиму II.

Таким образом, на основе проведенных исследований по влиянию концентрированных кислот и щелочей на реакционно-спеченные опытные образцы НУКМ можно отметить:

1. Нано- и ультраструктурированные керамокомпозиционные материалы, полученные по режиму I, по химической устойчивости существенно превышают опытные реакционно-спеченные образцы, полученные по режиму II. Высокие значения химической стойкости НУКМ обусловлены сильными ковалентными связями в высокотемпературных модификациях β и β' -фазах нитрида и карбонитрида кремния, а также формированием в структуре реакционно-спеченных опытных об-

разцов НУКМ нано- и ультраструктурированных кристаллов [5].
2. Нано- и ультраструктурированные керамокомпозиционные материалы могут применяться в качестве изделий, работающих в концентрированных кислотах, таких, как серная, азотная, фосфорная, и концентрированных щелочах – гидроксид натрия и калия как при низких, так и при высоких температурах.

Литература

1. Касамытов Н.К. Утилизация отходов кремниевое производство. – Технология, керамика, структура, свойства, применение. – Бишкек: ИФТПИМ, 2010. – 236 с.
2. Касамытов Н.К., Макаров В.П., Курбанов К.Р. Способ изготовления керамокомпозиционных

изделий из отходов кремния. – Кыргызпатент KG 1203 C1 (C04B 35 / 58), 2009. – 4 с.

3. Касамытов Н.К. Технология синтеза нано-ультраструктурированных керамокомпозиционных материалов // Сб. трудов открытой школы конференции стран СНГ «Ультрамелкозернистые и наноструктурированные материалы». – Уфа, 2010. – С. 45.
4. Касамытов Н.К., Мураталиева В.Ж. Рентгеноструктурные исследования реакционно-спеченных керамокомпозиционных материалов // Известия Кыргызского государственного технического университета. – 2009. – № 17. – С. 271–275.
5. Касамытов Н.К. Структурообразование керамокомпозиционного материала на основе нитрида кремния. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. – 90 с.

УДК: 666.972.16.

Наносистемы в вяжущих материалах

Б.Т. АССАКУНОВА – канд. тех. наук, профессор
Д.А. ИМАНАЛИЕВА – канд. тех. наук, доцент

Introduction to cement mikronapolniteley marble and wollastonite rocks makes up 30-40% strength retention of cement and economy of expensive product – of cement clinker.

В технологии строительных материалов основной задачей является перевод свобододисперсных систем в связнодисперсное состояние в результате последовательного перехода первоначальной коагуляционной структуры в конденсационную и далее – в кристаллизационную. Отличительной особенностью технологии строительных материалов на основе дисперсных систем является постоянное присутствие твердой фазы в системе, которая является носителем основного свойства строительных материалов – прочности и участвует в формировании всех трех типов вышеуказанных структур. Частицы твердой фазы являются элементарными «кирпичиками», из которых формируются различные структуры, прочность которых предопределяется дисперсностью и гранулометрическим составом частиц. Чем меньше размер частиц, тем меньше они содержат внутренних дефектов. В структуре исходных дисперсных систем (цементное тесто и растворы, гипсовое тесто, формовочные массы и смеси) необходимо различать две составные части: структурный каркас, образованный грубодисперсными частицами, и поровое вещество, состоящее из тонкодисперсных частиц и жидкой фазы, расположенное в поровом пространстве грубодисперсного каркаса. Коллоидно-химические свойства порового вещества, его содержание в

Сравнительные размеры кристаллической решетки минералов и ионов

Таблица 1

Минерал	Размеры элементарной ячейки (иона), нм	Минерал, ион	Размеры элементарной ячейки (иона), нм
C ₂ S	0,5...0,7	CaO	0,48
C ₃ S	1,4...2,5	Ca(OH) ₂	0,36...0,49
C ₄ A	1,5	ОН	0,306
C ₄ AF	0,53...1,45	Н(атом)	0,106 (атом)
H ₂ O	0,27	Н ⁺	1,2·10 ⁻⁶

системе оказывают решающее влияние на формирование прочности различных структур.

Так, гидратационные процессы клинкерных минералов в значительной степени зависят от температуры твердения, тонкости помола, щелочности жидкой фазы цементного камня, вида и количества добавок. Сами физико-химические процессы образования продуктов гидратации – это типичные формы нанотехнологических процессов.

Видом и составом продуктов гидратации можно регулировать.

Основная прочность цементного камня обеспечивается кристаллами и сростками кристаллов образующихся гидратных новообразований, размеры которых находятся в пределах 10^{-7} – 10^{-9} м (от 1 до 100 нм).

В промежутках между кристаллами размещаются продукты гидратации, размеры которых менее 10^{-9} м (1 нм).

Они закупоривают свободное пространство, склеивают все новообразования воедино.

В твердеющей системе «цемент – вода» отмечается два процесса – создание структуры и ее разрушение с последующим заживлением.

Важное значение имеет процесс образования нанодисперсной системы в начальный период гидратации цемента, когда образуются частицы дисперсности (1...5 нм), которые при различном химическом составе обладают общим признаком – чрезвычайно развитой поверхностью (350...450 м²/г). При истинной плотности первичных продуктов гидратации 1,5...2,2 г/см³ среднеповерхностный размер частиц составляет 6...11 нм.

Образование первичных гидратированных частиц нанодисперсного размера и последующее их объединение за счет взаимного срастания в условиях появления стесненного состояния является наиболее общим признаком проявления вяжущих свойств для всех вяжущих систем. С момента объединения первичных частиц начинается

формирование сначала коагуляционной, а затем и кристаллизационной структуры цементного камня. Этот процесс сопровождается значительным уменьшением удельной поверхности продуктов гидратации во времени.

Начало схватывания цемента обусловлено появлением нанодисперсных гидратированных частиц, которые связывают значительную часть воды затворения, и за счет увеличения объемной концентрации твердой фазы в системе «цемент – вода» начинается увеличение ее пластической прочности. В период сроков схватывания происходит адсорбционное связывание всей свободной воды, и система «цемент – вода» приобретает твердообразное состояние и значительную прочность.

Диспергирование частиц цемента происходит в основном за счет протонирования приповерхностных и поверхностных слоев частиц. Ионы водорода (протоны), образующиеся при электролитическом разложении молекул воды при первичном контакте с частицами цемента, обладающими аномально высокой подвижностью ($3,26 \cdot 10^{-5}$ м/с) и высокой проникающей способностью, так как их размеры на несколько порядков (табл. 1) меньше размеров кристаллической решетки клинкерных минералов. Протоны, проникающие в кристаллическую решетку минералов, связываются прочной водородной связью с электроотрицательными атомами кислорода и образуют гидроксидионы. Кроме того, протоны вступают в реакции ионного обмена с катионами минералов ($\text{Ca}^{2+} \leftrightarrow 2\text{H}^+$ и др.), в результате чего совместно с гидроксидионами образуются первичные молекулы $\text{Ca}(\text{OH})_2$, размер которых сопоставим с размерами кристаллической решетки основных минералов, и за счет этого происходит расклинивающее разрушение поверхностного слоя частиц цемента с образованием нанодисперсных гидратированных частиц.

Постоянное диспергирование исходных частиц, образование и укрупнение нанодисперсных

гидратированных частиц в период схватывания приводит к заполнению свободного порового пространства системы «цемент – вода», возникновению избыточного внутреннего давления, которые стимулируют развитие процессов перекристаллизации первичных продуктов гидратации в более стабильное состояние с плотностью 2,4...2,6 г/см³. К концу сроков схватывания на термокинетической кривой процесс перекристаллизации характеризуется значительным выделением тепла, и в это время происходит схватывание цементного теста и интенсивное формирование достаточно прочного кристаллического каркаса цементного камня.

Если движущей силой процесса гидратации является разность тепловых эффектов процессов присоединения воды твердой фазой и диспергирования исходных частиц цемента, то движущей силой процесса твердения является увеличение объемного содержания твердой фазы в системе за счет образования гидратированных продуктов. Поэтому для ускорения процесса твердения необходимо интенсифицировать процесс образования первичной нанодисперсной системы за счет изменения ионного состава воды, регулирования ее адсорбционных свойств, усиления процесса диспергирования путем дополнительного подвода тепла к системе. Повысить прочность цементного камня и изделий на его основе можно путем организации первичных продуктов гидратации за счет введения кристаллизаторов цемента (кренгов), находящихся в нанодисперсном состоянии (микрокремнезем, жидкое стекло, двуводный нанодисперсный гипс, предварительно полученные гидросиликаты и гидроалюминаты кальция и т.п.).

Нами было изучено влияние микронаполнителей различного химико-минералогического состава на процесс гидратации портландцемента. Был использован портландцементный клинкер Кантского цементно-шиферного комбината, характеризующийся содержанием клинкерных минералов в %: C_2S – 63,3%, C_3S – 15,9%, C_4A – 5,4%, C_4AF – 12,5%.

В качестве микронаполнителей были использованы тонкоизмельченный мрамор и волластонитовая порода отдельно.

Материалы измельчались до тонины помола, соответствующей полному прохождению через сито 008, а затем производился совместный помол с клинкером.

Установлено, что в процессе тонкого измельчения мрамора (CaCO_3) нарушаются некоторые

химические связи и на поверхности частиц образуются группы радикалов и свободных ионов с некомпенсированными зарядами катионов Ca^{2+} и комплексных анионов CO_3^{2-} – при нарушении связей между ними в кристаллической решетке кальцита. Свежеобразованная поверхность частиц мраморного порошка обладает повышенной реакционной способностью и заряжается преимущественно положительно, что характерно для кальцита. Поэтому при гидратации композиционных вяжущих мраморный наполнитель является активным, так как образующаяся в результате гидролиза трехкальцевого силиката $\text{Ca}(\text{OH})_2$ реагирует с кальцитом. Образуется основной карбонат кальция, или гидрокарбалоалюминат кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, выделяющийся в виде гелеобразных масс, обладающих адгезионными свойствами, упрочняющими поверхность новообразований клинкерных минералов частицами наполнителя при последующей кристаллизации. Этим фактором обуславливается получение композиционных цементов, где при содержании 40% клинкера прочность составляет 39 МПа, что соответствует М 400.

Используемая в работе волластонитовая порода Макмальского месторождения характеризуется низким содержанием волластонита (32,54%), вследствие чего обогащение ее для извлечения волластонитового концентрата неэффективно, поэтому ее можно рекомендовать в качестве разбеливающей добавки и наполнителя при производстве декоративных вяжущих веществ.

Минеральный состав породы представлен волластонитом (32,54%), кальцитом (54,16%), кварцем (3,2%), магнезитом (4,06%), полевым шпатом (6,23%).

Минералогический состав породы, химико-минералогическое сродство волластонита ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) с клинкерными минералами, достаточно высокие чистота и белизна (низкое содержание красящих оксидов Fe_2O_3 – 0,79%) являются основанием для использования ее в качестве разбеливающего наполнителя при получении декоративных цементов на основе обычного серого цемента.

Активность волластонитовой породы по поглощению извести из насыщенного раствора извести за 15 титрований составляет 25...30 мг/г добавки, т.е. волластонитовая порода обладает невысокой гидравлической активностью. Однако порода, обладая высокой степенью белизны ($\text{KO} = 88...92\%$), оказывает высокий разбеливающий

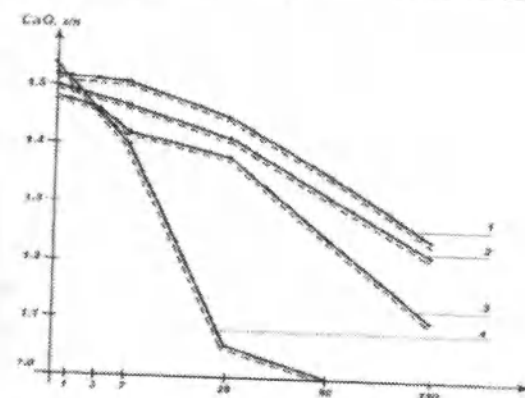


Рис. 1. Изменение щелочности жидкой фазы в цементных суспензиях: 1 – без добавок; 2 – с 10 % волластонита; 3 – с 30 % волластонита; 4 – с 30 % волластонитовой породы.

Влияние содержания добавок на адгезионную прочность портландцемента с поверхностью заполнителя

Вид наполнителя в цементе	Адгезионная прочность, МПа					
	Содержание наполнителя, %					
	0	10	15	20	30	40
Без добавок	2,9 / 2,7	-	-	-	-	-
Мраморная мука	-	2,9 / 2,8	3,1 / 2,9	3,2 / 3,0	2,8 / 2,6	2,6 / 2,3
Волластонитовая мука	2,9 / 2,7	3,0 / 2,9	3,2 / 3,0	3,4 / 3,2	3,2 / 3,0	3,0 / 2,9

эффект на портландцемент. Прочность цемента при содержании волластонитовой породы до 30% остается также высокой (свыше 40 МПа).

Для выявления характера воздействия волластонитовой породы на гидратацию портландцемента было определено изменение щелочности жидкой фазы в цементных суспензиях при Т:Ж = 1:25 после определенного срока твердения (1, 3, 7, 28, 80, 180 сут.).

Исследовались цементы с различным содержанием волластонитовой породы. Результаты исследования приведены на рис. 1.

Анализ данных рис. 1 показал, что наибольшее количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ остается в жидкой фазе и кристаллизуется в цементе с добавкой 10% волластонита (кривые 1, 2). Когда используется в качестве добавки волластонитовая порода с содержанием волластонита 32,5% и кальцита 54,16% (кривая 4), концентрация извести резко снижается и к 28-суточному возрасту достигает 1 г/л. Этот факт говорит об активном участии в

процессе гидратации кальцита, содержащегося в волластонитовой породе.

Рентгенограммы образцов, твердевших в течение 180 суток, приведены на рис. 2.

Продукт гидратации и преобразования волластонита в затвердевшем цементном камне представляет собой по структуре однокальциевый гидросиликат кальция типа $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $n = 1 \dots 1,1$. Основная масса извести, выделяющейся при гидролизе и гидратации цемента, самопроизвольно накапливается в виде волластонита, образуя плотный кристаллический сросток, более устойчивый к физико-химическим воздействиям атмосферных факторов, чем гидратированный клинкерный минерал C_2S . При использовании волластонита не происходит выщелачивания извести из C_2S . В совокупности все эти явления, связанные со свойствами волластонита, способствуют повышению физико-механических характеристик цемента (атмосферостойкости, стойкости к высолообразованию, морозостойкости).

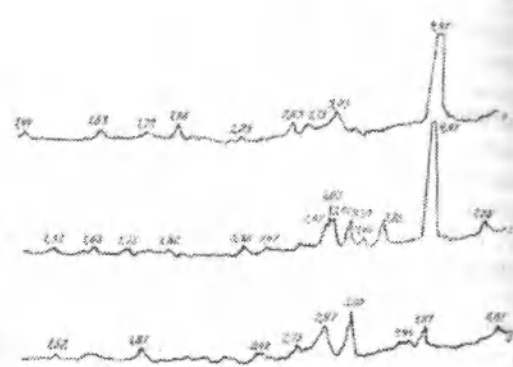


Рис. 2. Рентгенографический анализ цементов с различным содержанием волластонита: 1 – бездобавочный; 2 – с 10 % волластонита; 3 – с 30 % волластонита.

Таблица 2

При работе цемента в бетоне одной из важных характеристик является его сцепление (адгезионная прочность) с поверхностью заполнителя. Так как в производстве декоративных бетонов в качестве заполнителей зачастую используется гранитный или мраморный щебень, нами было исследовано сцепление портландцемента с микронаполнителем с поверхностью мраморной и гранитной плитки, имеющей шероховатую поверхность. Сила отрыва цементного камня от поверхности пластинок характеризует адгезионную прочность вяжущего (сцепление с заполнителем). Результаты исследований приведены в табл. 2.

Из результатов исследования выявлено, что добавка наполнителей в портландцемент оказывает неоднозначное влияние на адгезионную прочность цемента с заполнителем.

Сцепление портландцемента без добавки с поверхностью карбонатного заполнителя (2,9) несколько выше, чем с поверхностью гранитного, что объясняется активностью мрамора.

Добавка мраморной муки до 20% повышает адгезионную прочность до 3,2 МПа, а затем идет ее незначительное снижение.

Адгезия цемента зависит от химической активности продуктов гидратации цементов по отношению к заполнителю, наличия развитой и плотной коллоидной фазы в этих продуктах и отсутствия водоотделения при твердении цементов, что достигается физико-химическими процессами при введении указанных добавок.

Цемент с добавкой волластонита характеризуется более высоким сцеплением с поверхностью заполнителя, что можно объяснить свойствами волластонита. Мелкие фракции волластонита обладают отчетливо выраженными адсорбционными и структурообразующими свойствами, улучшают адгезию к различным поверхностям, ликвидируют усадочные деформации и повышают прочность на сжатие цементного камня. Поэтому даже при содержании волластонита в

цементе до 40% адгезионная прочность цемента остается выше ее значения бездобавочного цемента (3,0 МПа).

Таким образом, физико-химические процессы гидратации клинкерных минералов при твердении цемента следует рассматривать как типичные формы нанотехнологических процессов.

При использовании в качестве микронаполнителя свежемолотого мрамора в процессе гидратации происходит образование гидрокарбоната $3\text{CaCO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ в гелеобразной форме, что залечивает поверхность новообразований при рекристаллизации их и упрочняет твердеющий цементный камень.

В качестве микронаполнителя в цемент рекомендуется использовать волластонитовую породу с низким содержанием волластонита, т.к. извлечение его из породы неэффективно.

Микрочастицы волластонита характеризуются повышенными адсорбционными и структурообразующими свойствами, что способствует повышению адгезии цемента к поверхности заполнителя в бетоне, ликвидирует усадочные деформации и повышает прочностные характеристики.

Введение в цемент микронаполнителей из мрамора и волластонитовой породы до 30-40% обуславливает сохранение прочности цемента и экономии дорогостоящего продукта – цементного клинкера.

Литература

1. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. – М.: Наука, 1966.
2. Цемент интернешил. – 2008. – № 1. – С. 56.
3. Ассакунова Б.Т., Иманалиева Д.А. Высолообразование на поверхности изделий из декоративного бетона и способы их устранения // Образование через науку: Матер. Междунар. научно-техн. симпозиума. – Бишкек, 2004. – С. 229–232.

УДК: 543 + 547. 992

Исследование гальванических осадков с помощью сканирующего туннельного микроскопа

А.А. ЖЭЭНБЕКОВ – с.н.с., канд. техн. наук
И.А. АККОЗИЕВ – д.т.н., профессор
П.Д. ДЕМЬЯНОВИЧ – науч. сотрудник

This paper discusses the results of studies of galvanic precipitation of holographic master of matrices of scanning tunneling microscopy (STM). Investigated metallic surfaces master matrices obtained embossed the aluminum lavsan polymer films in the form rainbow hologram and used as protective elements.

Введение

Свойства осадков никеля в значительной степени зависят от состава используемых электролитов, а также от режимов осаждения. Этим широко пользуются на практике при получении деталей с определенными механическими характеристиками [1].

Одной из основных характеристик никелевых осадков являются внутренние напряжения. Большие внутренние напряжения часто являются причиной растрескивания осадка в процессе осаждения на форму. Для осадков никеля характерны как растягивающие, так и сжимающие напряжения. Знак напряжений в значительной степени зависит от специальных добавок, используемых при осаждении.

Органические добавки, вводимые в электролиты никелирования для увеличения твердости и блеска осадков, также значительно изменяют внутренние напряжения. Добавка в сульфатный электролит производных сульфоароматических альдегидов позволяет повысить твердость осадков никеля до 6,8 ГПа и изменить внутренние напряжения растяжения от 0,17 ГПа до напряжения сжатия, имеющих величину 0,39 ГПа. Для уменьшения внутренних напряжений в электро-

литы никелирования часто добавляют сахарин. Однако следует учитывать, что уже незначительные добавки сахарина (0,12-0,25 г/л) значительно снижают величину напряжений, переводя их из растягивающих в сжимающие даже при высоких плотностях тока [2].

С повышением температуры электролитов внутренние напряжения осадков уменьшаются. После осаждения в сульфатном электролите при температуре 60°C отмечаются незначительные внутренние напряжения осадков, что объясняется укрупнением кристаллов осадков при повышенных температурах.

Твердость осадков никеля мало зависит от концентраций сульфата никеля и хлоридов в электролите, но заметно изменяется с увеличением плотности тока и pH электролита. Это объясняется структурными изменениями, происходящими в осадках. При небольших значениях pH получают осадки с крупнозернистой структурой, имеющие твердость 1,27-1,76 ГПа. При увеличении pH наблюдается измельчение структуры, сопровождающееся повышением твердости. При pH выше пяти твердость осадков достигает 3,9 ГПа [3].

Повысить твердость осадков можно путем соосаждения никеля с тонкодисперсными части-

цами окислов. Например, осаждение никеля в сульфатном электролите в присутствии окиси кремния при катодной плотности тока 3-4 А/дм, температуре электролита 30-45°C и pH 5,3-5,8 позволило получить осадки твердостью 60-65 HRC.

Повышение температуры никелевых электролитов в пределах 30-60°C несколько снижает прочность осадков и повышает их пластичность. При изменении pH от 1,75 до 5,5 предел прочности повышается с 0,45 до 1,07 ГПа, а относительное удлинение падает с 17 до 6%. Твердость увеличивается от 1,37 до 1,76 ГПа [4-5].

В данной работе показаны результаты экспериментальных данных по разработке и испытанию в производственных условиях способов металлизации прецизионных поверхностей, используемых в технологии производства голографических знаков.

В голографическом производстве металлизация необходима на двух этапах:

1. Металлизация голографического изображения, отснятого на стеклянной пластинке, покрытой фоторезистом.
2. Металлизация голографического изображения, полученного методом тиснения на полимерный материал.

В обоих случаях металлизация проводилась никелем, который являлся отходом голографического производства (отработанные мастер-матрицы), что позволило существенно удешевить процесс производства мастер-матриц. Кроме того, процесс гальванической металлизации проводился в обычной гальванической ванне, предназначенной для изготовления мастер-матриц. А это также привело к экономии дорогостоящих химических материалов и трудозатрат на приготовление растворов и обслуживание отдельной гальванической ванны.

1. Исследование гальванического процесса изготовления никелевых матриц

В технологии производства мастер-матриц и рабочих матриц, предназначенных для изготовления голографических знаков, одним из важных этапов технологического процесса является гальванопластика. Требования, предъявляемые к рабочим матрицам в процессе печати радужных голографических знаков, определяют изменения технических характеристик гальванических процессов. В настоящее время распространена технология изготовления никелевых матриц различного назначения путем электрохимического

осаждения металлического никеля из гальванического раствора на основе солей никеля. Обычно изготавливается такой электролит, который в малой степени подвергается гидролизу и может длительное время находиться в эксплуатации.

В зависимости от количества серы никелевые осадки характеризуются внутренними напряжениями растяжения или сжатия. Внутренние напряжения резко уменьшаются при концентрации серы 0,005-0,01% по массе. При этом внешний вид осадков изменяется от матовых со столбчатой структурой до блестящих со слоистой структурой. При формировании осадков никеля в него включается от 0,004 до 0,01% по массе серы. На рис. 2.1 представлено изображение блестящей слоистой структуры, полученное авторами данной работы с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ).

Никель с серой растворяются при потенциалах, более отрицательных на 0,4 В, чем чистый никель. В практических условиях это выражается в том, что низкий потенциал определяет и подачу низкого напряжения на гальваническую ванну и, таким образом, способствует более точному поддержанию необходимого тока и эффективности использования анодного материала. В данном случае никелевые аноды растворяются с выходом по току, близким к 100%. Анодная плотность тока при использовании серосодержащих никелевых анодов в сульфатном электролите может достигать 43 А/кв.дм. В таком электролите обязательно должны содержаться ионы хлора. Если ионы хлора в данном электролите отсутствуют, то максимальная плотность тока в гальванической ванне составит 11 А/кв.дм. Использование хлоридов в сульфатном электролите позволяет поддерживать его в стабильном состоянии в течение длительного времени.

Отношение площади анода к площади катода должно составлять 2:1. Аноды должны помещаться в чехлы из полипропиленовой ткани. Обязательны перемешивание и фильтрация электролита.

Было учтено, что в процессе наращивания толстых слоев никеля необходимо соблюдать процесс распределения водорода по толщине осадка, так как известна тесная взаимосвязь величины внутренних напряжений с количеством водорода в осадках. При толщине осадка 50 мкм и более количество водорода мало зависит от толщины металла. В начальный период электролиза восстановление ионов никеля заторможено и в основном

происходит выделение водорода. Замедление выделения никеля связано с первоначальным состоянием поверхности электрода. Поэтому на первоначальном этапе электролиза накапливается значительное количество водорода. Наиболее сильно снижает наводороживание добавка в электролит сахарина. На рис. 1.1 показана зависимость изменения содержания водорода в никелевых осадках с изменением толщины осадка и содержания сахарина. Кривая 1 получена без добавок в электролит сахарина, кривая 2 получена с добавкой в электролит 0,15 г/л сахарина.

Известны низкоконцентрированные сульфатные электролиты, с концентрацией сульфата никеля 150–350 г/л и высококонцентрированные с содержанием сульфата никеля 400–800 г/л. На рис. 1.2 показана зависимость влияния концентрации сульфатного никеля на выход по току, который возрастает при увеличении концентрации сульфата никеля от 100 до 800 г/л. При значениях концентрации в пределах 300–800 г/л выход по току составляет около 100%. На рис. 1.3 показана зависимость влияния концентрации сульфата никеля в электролите на твердость осадка. На начальном этапе твердость уменьшается, затем сохраняется постоянное значение.

На рис. 1.4 показана зависимость влияния концентрации сульфата никеля в электролите на внутренние напряжения осадка. При изменении концентрации сульфата никеля от 100 до 800 г/л внутренние напряжения растяжения уменьшаются, достигнув нулевых значений, а затем переходят в напряжения сжатия, при этом наблюдается резкое изменение внутренних напряжений в интервале значений концентрации 350–650 г/л.

Анализ полученных данных показывает, что изменение концентрации сульфата никеля в электролите оказывает некоторое влияние на структуру и свойства осадков. Изменения физико-химических характеристик происходит приблизительно при одних и тех же значениях концентрации сульфата никеля – 350–700 г/л. Это говорит о том, что с увеличением концентрации сульфата никеля в электролите происходят качественные изменения, влияющие на основные параметры осадков.

Изменение концентрации борной кислоты в широких пределах не оказывает существенного влияния на свойства никелевых осадков. При высокой концентрации борной кислоты уменьшается водородный пitting, и поэтому рекоменду-

ется поддерживать значения концентрации более 40 г/л.

На рис. 1.5 показана зависимость влияния значения pH на твердость осадка. С увеличением значения pH твердость возрастает. Соответственно с изменением твердости изменяется и структура осадка. При pH = 2,5 осадки имели крупнозернистую столбчатую структуру, при pH = 5 – мелкозернистую столбчатую, при pH = 5,5 – слоистую структуру с внутренними трещинами. На СМТ проводились исследования поверхностей никелевых матриц и осадков никеля на медную подложку при значениях pH = 5 и pH = 5,5.

На рис. 1.6 показана зависимость влияния плотности тока на твердость никелевых осадков. График показывает, что плотность тока существенно влияет на твердость никелевых осадков. Измерения проводились на образцах толщиной 40 мкм.

На рис. 1.7 представлена зависимость влияния температуры электролита на твердость никелевых осадков. С увеличением температуры электролита твердость осадков уменьшается, а затем принимает почти постоянную величину.

При увеличении концентрации органических добавок твердость никелевых осадков значительно увеличивается. Наибольшая твердость достигается добавкой сахарина. Добавка сахарина изменяет внутренние напряжения от растяжения к сжатию даже при высоких плотностях тока до 35 А/кв.дм. На рис. 1.8 показана зависимость влияния концентрации сахарина на твердость никелевых осадков. На рис. 1.9 показана зависимость влияния концентрации сахарина на внутренние напряжения никелевых осадков. Кривая 1 соответствует плотности тока 35 А/кв.дм, кривая 2 – плотности тока 19 А/кв.дм, кривая 3 – плотности тока 6,5 А/кв.дм.

Органические добавки оказывают также существенное влияние на предел прочности никелевых осадков. Выяснение влияния ПАВ на внутренние напряжения часто бывает затруднительно тем, что действие их меняется в процессе электролиза из-за уменьшения концентрации за счет включения их в осадок, восстановления на катоде или окисления на аноде. Блескообразующие и выравнивающие добавки при электроосаждении никеля подвергаются превращениям с образованием новых соединений. Этот механизм еще недостаточно изучен. Для проведения исследований в этой области перспективно применение сканирующего туннельного микроскопа (СТМ).

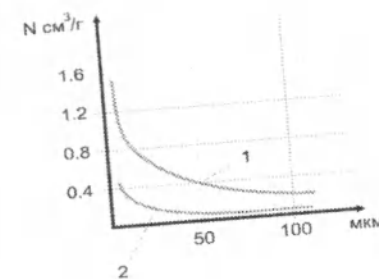


Рис. 1.1 Изменение содержания водорода в никелевых осадках в зависимости от толщины изделия

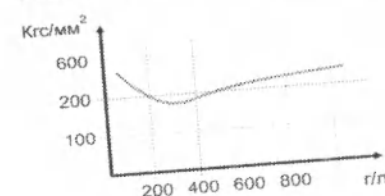


Рис. 1.3 Влияние концентрации сульфата никеля на твердость осадка.

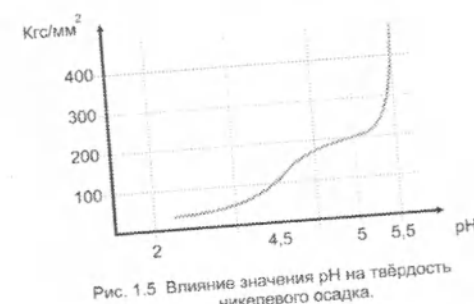


Рис. 1.5 Влияние значения pH на твердость никелевого осадка.

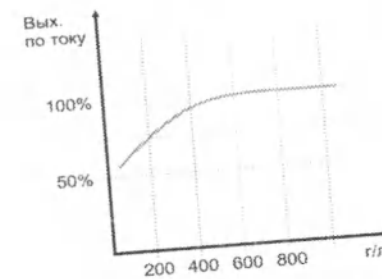


Рис. 1.2 Влияние концентрации сульфата никеля на выход по току

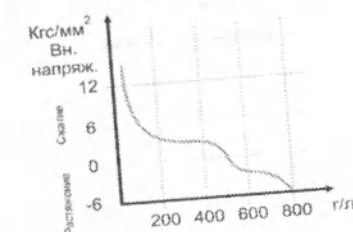


Рис. 1.4 Влияние концентрации сульфата никеля на внутренние напряжения

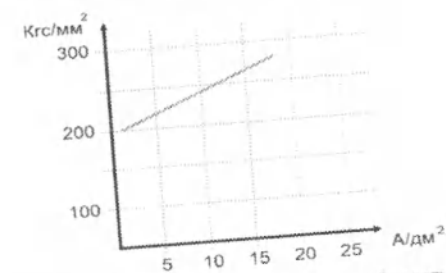


Рис. 1.6 Влияние плотности тока на твердость никелевого осадка.

2. Исследование гальванических осадков с помощью сканирующего туннельного микроскопа

Разработка и изготовление мастер-матриц, предназначенных для тиснения радужных голограмм, является трудоемким, длительным и дорогостоящим процессом, требующим сложного, дорогостоящего оборудования. В лабораторных и производственных условиях часто возникает необходимость для проведения контроля качества металлизированных поверхностей различных элементов радужных голограмм. Для этих целей используются различные оборудование и измерительные приборы: рентгеновские микроскопы, обычные микроскопы и различные оптические измерительные приборы. Впервые в КРСУ был использован сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) для исследо-

вания металлизированных элементов радужных голограмм. Применение СТМ открыло уникальные возможности для исследования сложных, недостаточно изученных электрохимических процессов на нанотехнологическом уровне.

На рис. 2.1 представлен фрагмент изображения радужной голограммы на никелевой мастер-матрице. На рис. 2.2 представлено трехмерное изображение этого же фрагмента. Технические возможности СТМ позволяют производить измерения любых элементов радужной голограммы с линейными размерами до единиц нанометров. С помощью СТМ были определены линейные размеры различных дефектов на поверхности гальванического осадка никелевой мастер-матрицы (рис. 2.1 – темное пятно: ширина – 18 нм, длина – 44 нм). Определены также размеры элементарных зерен, формирующих радужное изображе-

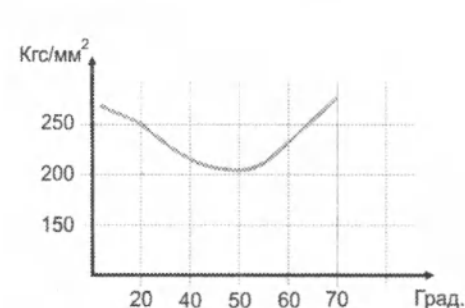


Рис. 1.7 Влияние температуры электролита на твердость никелевого осадка.

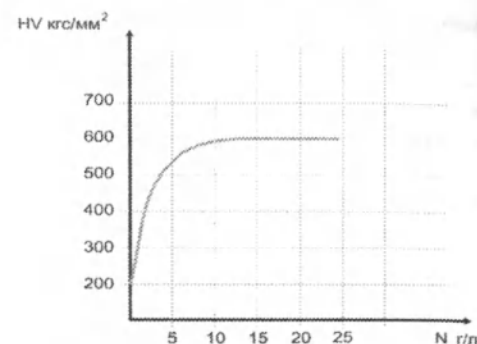


Рис. 1.8 Влияние концентрации сахарина на твердость никелевых осадков

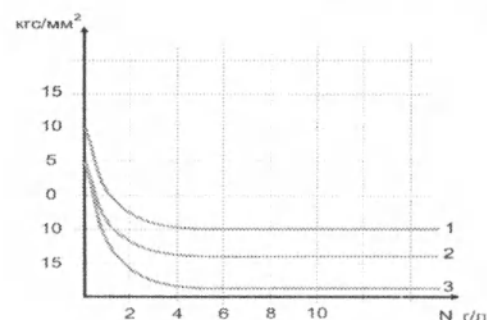


Рис. 1.9 Влияние концентрации сахарина на внутренние напряжения никелевых осадков

ние: ширина – 640 nm, длина – 1,2 мкм. На рис. 2.3 представлено расположение элементарных зерен по всей плоскости фрагментов радужных голограмм. На рис. 2.2 представлен трехмерный рельеф фрагмента никелевой поверхности с элементарными зернами, формирующими дифракционную решетку.

Анализ фрагментов изображений, представленных на рис. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, показывает, что элементарные зерна, формирующие радужное изображение, имеют отдельные незначительные дефекты. Это означает, что технологические операции вакуумного напыления никеля и гальванической обработки элементов радужных голограмм не внесли существенных искажений в исходное изображение, полученное при записи лазерным лучом на фоторезисте. Потери информации обусловлены дефектами в виде темных пятен, представляющими собой поры и трещины в структуре поверхности никелевой мастер-матрицы. Что примечательно, дефекты такого размера не наблюдаются с помощью оптического микроскопа. На рис. 2.3 наблюдается дефект

поверхностной структуры никелевого гальванического осадка длиной 1,468 мкм, шириной 298 nm.

Измерив ширину элементарных зерен, формирующих дифракционную структуру радужного изображения, можно определить, с какой пространственной частотой проводилась запись голограммы на фоторезисте. Например, на рис. 2.1–2.4 по линейным размерам элементарных зерен можно легко рассчитать, что в данном случае голографическая запись проводилась с пространственной частотой около 1500 линий на миллиметр.

По трехмерным изображениям можно определить, какую копию (негативную или позитивную) представляет собой данный фрагмент изображения мастер-матрицы. Элементарные зерна радужного изображения могут иметь либо выпуклую, либо вогнутую трехмерную поверхность. На трехмерных изображениях эти характерные детали видны достаточно отчетливо.

На рис. 2.5 и 2.6 представлены фрагменты изображения гальванического осадка никеля на

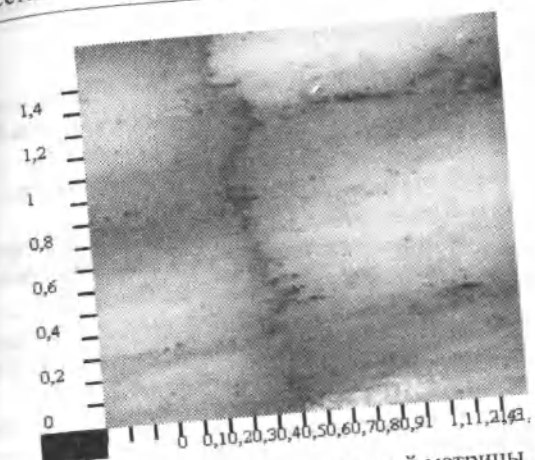


Рис. 2.1. Поверхность никелевой матрицы.

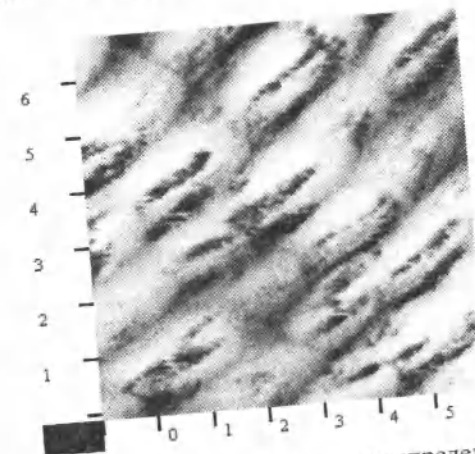


Рис. 2.3. Фрагмент поверхности распределения зерен радужных голограмм.

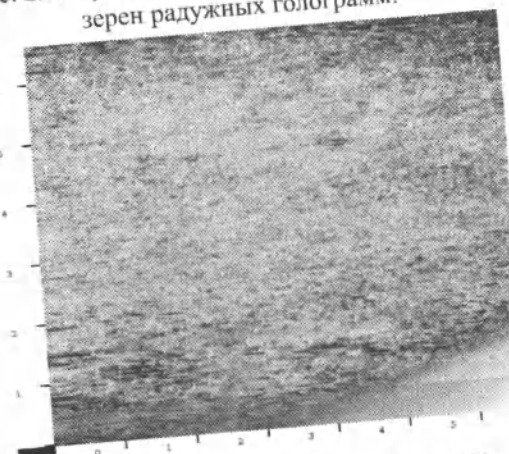


Рис. 2.5. Никелевое осаждение на медь.

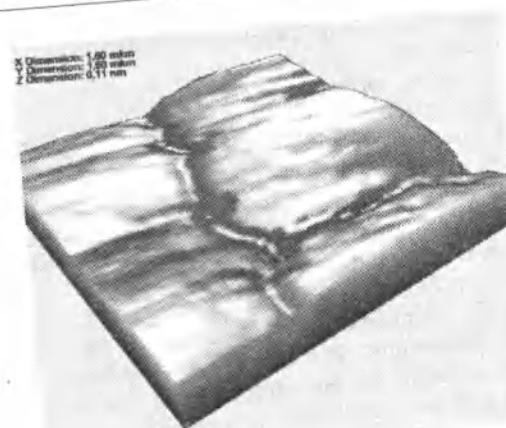


Рис. 2.2. Трехмерное изображение никелевой матрицы.

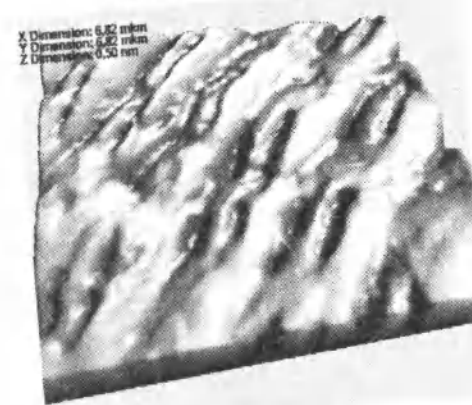


Рис. 2.4. Трехмерное изображение.

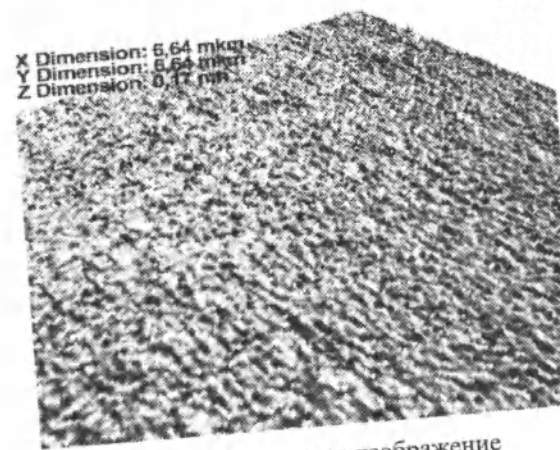


Рис. 2.6. Трехмерное изображение никелевого осадка на медь.

медной подложке и трехмерное изображение данного фрагмента.

Анализ изображения показывает, что трехмерная поверхность представляет собой плотную, беспористую, мелкодисперсную структуру, которая зависит от параметров электрохимического осаждения (плотности тока, температуры электролита, значения pH, концентрации основных реагентов и примесей в электролите).

С помощью СТМ продолжают исследования гальванических осадков и поверхностей вакуумного напыления, получаемых при определенных физико-химических параметрах как в лабораторных, так и в производственных условиях.

Литература

1. Справочное руководство по гальванотехнике. Перевод с немецкого / Под ред. Лаймера В.И. – М.: Металлургия, 1972. – Ч.1. – 488 с.
2. Ильин В.А. Металлизация диэлектриков. – Л.: Машиностроение, 1977. – 80 с.
3. Ямпольский Н.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. – Л.: Машиностроение, 1989. – 269 с.
4. Труев И.Д. и др. Электрохимические покрытия изделий радиоэлектронной аппаратуры / Справочник. – М.: Радио и связь, 1998. – 309 с.
5. Грилихес С.Я., Тихонов К.И. Электролитические и химические покрытия. Теория и практика. – Л.: Химия, 1990. – 288 с.

УДК: 691.3

Малощелочные золоминеральные вяжущие вещества на основе песчаника

Б.Т. АССАКУНОВА – канд. техн. наук, профессор
В. КИМ – соискатель

As can be seen from the data, for obtaining the finely divided binder zolomineralnyh sandstone, ash and alkaline the components were taken in the ratio of 47:47:6, 50:44:6 and thoroughly mixed.

Все возрастающие темпы строительства повышают спрос на современные композиционные материалы из местного сырья.

Наличие обширной базы горных пород в республике, при добыче и переработке которых образуются значительные запасы их отходов, является предпосылкой для организации выпуска безобжиговых композиционных материалов повышенной прочности.

Разработка малоэнергоёмких безобжиговых вяжущих на основе отходов горных пород является решением дефицита цемента, так как возможно их использование вместо цемента при производстве строительных растворов, само-

несущих ограждающих конструкций, стеновых блоков и т.д.

Возможно получение высокопрочных изделий при совместном использовании механохимической активации компонентов, прессовании и ступенчатой тепловой обработке. Полученные вяжущие и композиционные материалы на их основе характеризуются технической, экономической и экологической целесообразностью в сравнении с цементами и цементными бетонами.

Целью работы является разработка малощелочных композиционных материалов из местных песчаников и зол ТЭЦ.

Химический состав сырьевых материалов												
Материал	Содержание оксидов, %										пр	ппп
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	FeO	R ₂ O	0,52-1,53		
Зола БТЭЦ	51,57-60,79	17,49-26,48	3,7-8,34	2,16-5,28	0,59-1,33	0,09-1,47	-	-	-	-	8	
Суглинок Беловодское	54,54	13,25	5,01	6,85	3,63	0,58	0,02	-	-	-	4,41	
Песчаник	73,74	12,52	0,95	0,86	2,85	0,40	-	-	-	-	-	
Клинкер КЦШК	22,44	4,65	4,11	65,59	1,75	0,33	-	-	-	-	-	



Рис. 1. Термограмма золы-уноса БТЭЦ

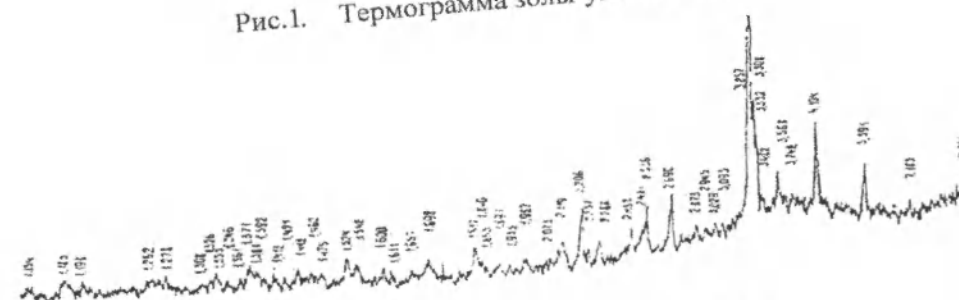


Рис. 2. Рентгенограмма золы БТЭЦ

Для получения малощелочных золоминеральных вяжущих нами в работе использовались зола БТЭЦ, песчаник, суглинок, портландцемент. В качестве щелочного компонента использовался NaOH (ГОСТ 4328-77).

Химический состав сырьевых материалов приведен в табл. 1.

Для активации составов использовался портландцемент КЦШК ГОСТ 10178-85, ПЦ М 400, характеризующийся основными свойствами: НГ – 23,75; начало схватывания – 3,45 ч; конец схватывания – 4,30 ч; Т – 89,2%; удельная поверхность – 312 м²/г; прочность при изгибе – 6,5 МПа; прочность при сжатии – 42,2 МПа; SO₃ – 1,7%.

Минеральный состав портландцемента характеризуется содержанием клинкерных минералов (%): C₃S – 63,3; C₂S – 15,9; C₃A – 5,4; C₄AF – 12,5.

Для исследований были использованы суглинки Беловодского месторождения. Минералогический состав суглинков представлен в % масс: кварц – 32,6...34,23; полевошпат – 21,12...25,80; глинистые минералы – 21,5...26,20; гидрослюда – 12,76...15,26; карбонаты (кальцит) – 5...7; гидроксид железа (2...5); гипс – 1...2.

Гранулометрический состав суглинков представлен размером частиц в масс, %: 1...0,25 мм – 0,07...0,17; 0,25...0,05 мм – 9,2...10,18; 0,05...0,01 мм – 34,11...38,11; 0,01...0,005 мм – 6,89...10,32; 0,005...0,001 мм – 8,53...10,12; < 0,001 – 20,68...23,12.

Анализ гранулометрического состава суглинков показывает, что в них преобладает содержание частиц 0,05...0,01 мм, которые представлены в основном кварцем, слюдой, полевым шпатом,

гидроксидами железа. Частицы размером 0,01... 0,5 представлены кварцем, гидрослюдой, слюдой, а частицы размером менее 0,001 мм – глинистым веществом, т.е. гидрослюдистыми минералами.

Солевой состав суглинков представлен в мм, %: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ – 0,045; Na_2SO_4 – 0,2; NaCl – 0,014; CaSO_4 – 0,27; MgSO_4 – 0,12, т.е. в водной вытяжке глинистых минералов преобладают ионы Ca^{2+} и Na^+ .

Емкость ионного обмена суглинка составляет 6,3...6,8 мг-экз / 100 г. Емкость ионного обмена гидрослюды находится в пределах 10...30 мг-экз / 100 г. Таким образом, в ионно-обменных реакциях поверхности суглинков в основном участвуют глинистые минералы – гидрослюды.

Химический состав золы-уноса БТЭЦ приведен в табл.1.

По минералогическому составу зола состоит из стекловидных и кристаллических фаз. Чем больше в золе содержится стекловидных частиц, тем выше их гидравлическая активность. Кристаллическая фаза золы состоит из аморфизированного обжига глинистого вещества и зерен обломочного материала кварца, полевого шпата, карбоната кальция и магния, а также выделившихся из расплава двухкальциевого силиката, алюмината кальция, муллита и др.

На рентгенограммах исследуемых зол линии, характерные для кварца, – $d = 4,24; 3,34; 2,77; 1,81 \text{ \AA}$, муллита – $d = 3,35; 2,68; 2,52; 2,19 \text{ \AA}$ и карбоната кальция $d = 3,03 \text{ \AA}$ (рис.1).

Гранулометрический состав золы-уноса представлен размером частиц в массы, %: 10–11,6; 5–4,26; 3–2,90; 2–3,64; 1–3,21; 0,5–7,02; 0,25–6,02; 0,15–14,55; менее 0,15–47,93.

Поверхность частиц шероховатая, по окружности имеются многочисленные выступы и впадины, благодаря которым частицы собраны в довольно компактные агрегаты. Измельчение золы приводит к увеличению удельной поверхности частиц, что способствует повышению гидравлической активности.

Средняя плотность золы составляет 815–845 кг/м³; удельная поверхность золы – 278–305 м²/г.

Содержание стеклофазы в золе, оказывающее положительное влияние на ее гидравлическую активность, колеблется в пределах 20–30%.

По химическому составу зола БТЭЦ не содержит в свободном виде оксид кальция, поэтому эти золы не обладают способностью к непосредственному взаимодействию с водой.

Однако золы в составе смешанных вяжущих золоизвестковых или золоцементных участвуют в твердении, проявляют пуццолановую активность, т.е. способность при обычных температурах связывать гидроксид кальция с образованием нерастворимых соединений.

Пуццолановой активностью в составе зол обладают продукты обжига глины: аморфизированное глинистое вещество типа метакаолинита, аморфные SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и алюмосиликатное стекло.

Высокая гидравлическая активность аморфизированного глинистого вещества связана с его высокой удельной поверхностью, которая создается в результате распада $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2)$ на аморфные глинозем и кремнезем.

Исходный кварц, не подвергшийся обжигу, практически инертен. Термически обработанный кварц благодаря повышенной растворимости взаимодействует с гидроксидом кальция.

При температуре 80°C и выше все потенциально реакционные составляющие золы заметно активизируются. Чем выше концентрация гидроксида в жидкой фазе, тем активнее зола.

Известно, что с увеличением тонкости помола возрастает однородность материала по гранулометрическому составу и насыпной плотности, снижается водопотребность золы и, как следствие, будет повышаться прочность вяжущих, приготовленных с использованием золы.

Кроме того, следует отметить, что важной положительной особенностью золы является ее более высокая интенсивная способность размазывания.

В связи с вышеизложенным ясно, что золу можно использовать в качестве одного из компонентов минерально-зольных вяжущих.

Для активации золы принят цемент, а в качестве щелочного компонента – NaOH. Природным составляющим вяжущего использовали песчанник местных месторождений, химический состав которого приведен в табл.1.

Минералогический состав песчанника представлен содержанием оксидов: кремнезема (SiO_2) – 59,01%; глинистых включений – 31,67%; гипса (CaSO_4) – 0,68%; кальцита (CaCO_3) – 1,03%; магнетита (MgCO_3) – 5,98%; п.п.п. – 4,41% (органические примеси + влага).

Предварительно зола и песчанник раздельно измельчались до тонкости помола, соответствующей полному прохождению через сито 002.

Затем материалы для полной гомогенизации измельчались совместно в шаровой мельнице.

Таблица 2

Физико-механические свойства малощелочных золоминеральных вяжущих веществ

№ п / п	Состав вяжущих, %						Плотность, г / см ³	Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа при ТВО	Прочность образцов на сжатие в нормальных условиях твердения в возрасте МПа	
	песчанник	зола	суглинок	цемент	известь	NaOH			7-сут.	28-сут.
1	47	47	–	–	–	6	1,36	13,8	3,76	21,18
2	50	44	–	–	–	6	1,39	12,6	4,71	24,12
3	47	–	47	–	–	6	1,56	4,5	3,80	22,7
4	47	–	44	–	–	6	1,52	5,2	3,95	24,8
5	50	–	44	–	–	6	1,48	15,6	3,90	27,0
6	44,5	44,5	–	5	–	6	1,51	16,7	4,2	29,2
7	50,0	39,0	–	5	–	6	1,67	6,05	3,86	27,4
8	44,5	–	44,5	–	5	6	1,61	6,15	3,75	26,1
9	50,0	–	39,0	–	5	6	1,58	2,90	1,75	9,24
10	94	–	–	–	–	6	1,56	3,25	2,11	10,16
10	89	5	–	–	–	6	1,56	3,25	2,11	10,16

Щелочные компоненты добавляли в виде раствора в воду затворения. Из полученной массы при $W = 8-12\%$ прессовались образцы $\varnothing 2,5 \text{ см}$ и $h = 2,5 \text{ см}$ при давлении 20 МПа, и для сравнения готовились образцы без прессования.

Твердение происходило в нормальных условиях и при тепловлажностной обработке по режиму 2-6-2.

Результаты исследования приведены в табл. 2.

Как видно из приведенных данных, для получения золоминеральных вяжущих тонкоизмельченный песчанник, зола и щелочной компонент были взяты в соотношении 47:47:6, 50:44:6 и тщательно перемешаны.

Установлено, что образцы нормального твердения 7-суточного возраста характеризовались невысокой прочностью (3,76 и 4,71 МПа), однако в возрасте 28 суток они имели прочность на сжатие 21,18–24,12 МПа.

А прочность образцов из смеси 5, в которую введено до 5 % цемента, имеют прочность 3,9 и 27,0 МПа в 7- и 28-суточном возрасте соответственно.

Повышение прочности образцов (5) в сравнении с образцами из смеси (1) можно объяснить активизирующим воздействием портландцемента.

Твердение состава можно объяснить тонким измельчением породы и малоактивной кислой золы и возрастанием их растворимости в сильнощелочной среде (6% NaOH) и, как следствие, повышением количества композиционной цементующей связки.

А при добавлении 5% портландцемента происходит выделение свободной CaO , который образуется при гидратации трехкальциевого силиката (C_3S).

Повышение CaO способствует повышению щелочности жидкой фазы, что интенсифицирует твердение.

Механизм гидратации этих вяжущих отличается тем, что гидратирующиеся клинкерные минералы как бы являются подложкой для кристаллизации новообразований, получаемых в результате гидратации золы.

Из табл.2 видно, что твердеют составы, состоящие из песчанника и суглинка (3 и 4), что свидетельствует об активизирующем воздействии щелочей на глинистые минералы.

Механизм гидратации в этих составах, по-видимому, аналогичен твердению каолинощелочных вяжущих. По данным В.Д.Глуховского, композиции с глинистыми минералами при сильнощелочной активации затвердевают. В этом случае образуются цеолитоподобные новообразования с общей формулой $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O}) \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (2-4)\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ типа анальцита, натролита, гидронефелита и другие.

В составах (5,6; табл.2) добавка цемента (до 5%) несколько повышает прочность, поэтому в следующие составы (7,8) мы добавили до 5% известия, так как известно ее активизирующее воздействие.

Состав 9 состоит из одного песчанника, поэтому воздействие на него щелочного компонента

способствует образованию геополимерного вяжущего прочностью 9,24 МПа.

Из приведенных данных выявлено, что составленные композиции набирают прочность весьма длительное время в воздушных условиях.

Прочность в 7-суточном возрасте практически невысокая.

А при тепловлажностной обработке не происходит скачка прочности как в цементнозольных вяжущих, что подтверждает иной механизм твердения.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- на основе местных кремнеземистых песчанников и золы БТЭЦ путем щелочной активации возможно получение малощелочных минерально-зольных вяжущих прочностью 20–25 МПа;

- воздействие щелочи на зольную составляющую заключается в растворении компонентов ее в сильнощелочной среде и получении композиционной цементирующей связки, объединяющей мелкие частицы тонкоизмельченной горной породы в конгломерат;
- поскольку в кремнеземистых песчаниках связующим являются глинистые минералы, то возможно вместо золы использовать суглинок; при этом механизм твердения сводится к действию щелочи на глинистые минералы, которые в процессе твердения образуют цеолитоподобные минералы.

Литература

1. Глуховский В.Д. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения. — Киев: Высшая школа, 1991. — 242 с.

УДК 547 992 2:541 / 64+183.12

Получение и характеристика магнитоактивных нанокомпозитов на основе гуминовых кислот и их производных

А.Д. КЕРИМБАЕВА – аспирант

Producing of magnetic sorbents on the base of magnetite and humic acids

В настоящее время уникальные возможности наноструктурированных материалов позволяют создать селективные и доступные сорбенты минерально-полимерной природы для связывания радионуклидов и ионов тяжелых металлов [1].

Для получения сорбентов такого типа весьма перспективным представляется использование гуминовых кислот и их производных. Макромолекулярная природа и полифункциональный состав гуминовых кислот открывают широкие возможности для связывания гидрофобных органических соединений, а также ионов металлов. Эти свойства позволяют рассматривать гуминовые

кислоты как природные экологически безопасные сорбенты комплексного действия [2].

Нами в работе выделены гуминовые кислоты из окисленного угля месторождения Кара-Кече. Проведена физико-химическая характеристика образцов гуминовых кислот. Методом гель-хроматографии было проведено молекулярно-массовое распределение гуминовых кислот.

Рассмотрены методы получения наноструктурных композитов на основе гуминовых кислот.

Выявлено, что в зависимости от метода и условий стабилизации могут быть получены различные по соотношениям наночастиц и стаби-

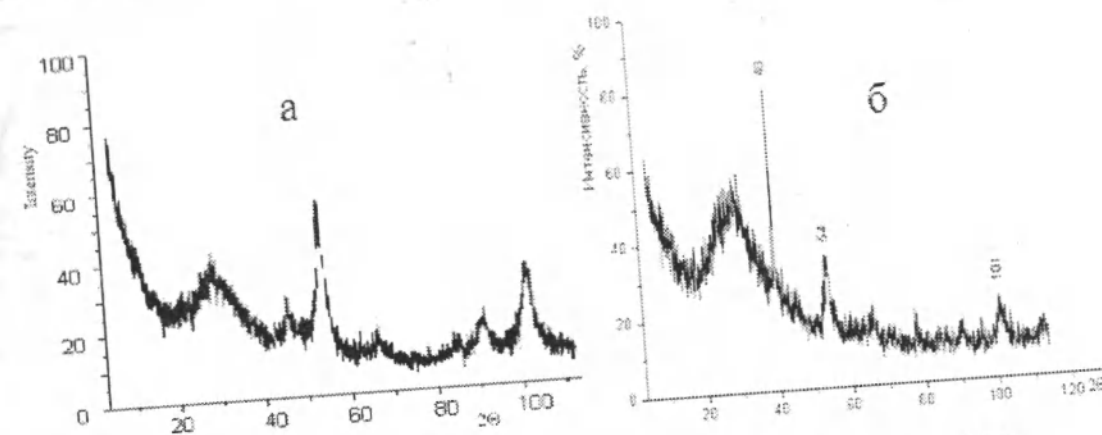


Рис. 1. Дифрактограммы наночастиц Fe_3O_4 (а) и нанокомпозита Fe_3O_4 –ГК (б).

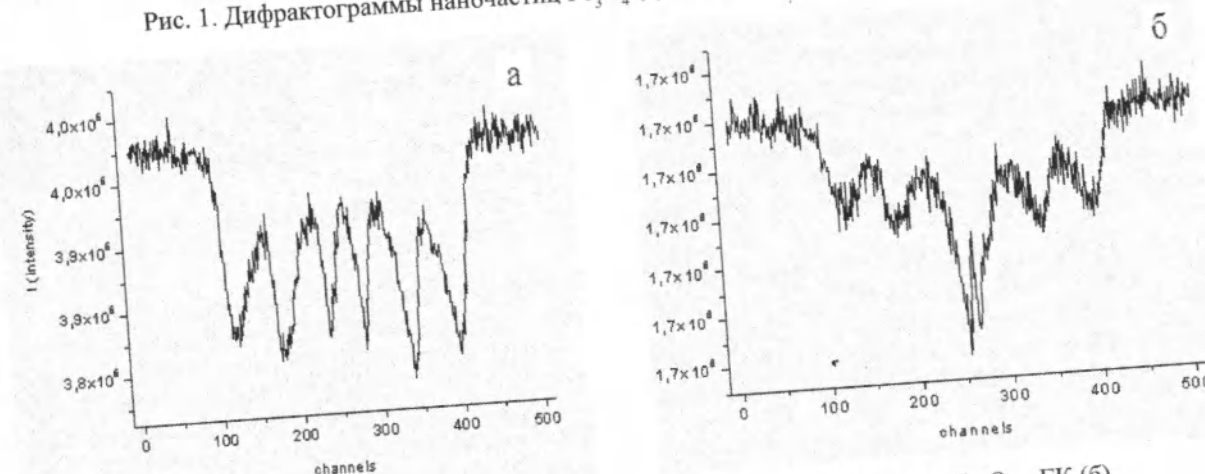


Рис. 2. Мессбауэровские спектры наночастиц Fe_3O_4 (а) и нанокомпозита Fe_3O_4 –ГК (б).

лизатора образцы нанокомпозитов. Установлена возможность регулирования количественного состава композитов (содержания Fe) при варьировании соотношений Fe (II, III) / ГК, Fe (III) / ГК и способа введения реагентов в реакционную смесь. Изменение природы основания не оказывало влияния на содержание железа.

Согласно рентгенофазовому анализу, основным магнитоактивным компонентом полученных нанокомпозитов является магнетит Fe_3O_4 (рис. 1). Следует отметить, что наличие сверхтонкой структуры линий в спектре проявляется даже при комнатной температуре, что указывает на формирование нанокластеров оксидов железа и магнитное упорядочение спиновых моментов.

Полученные результаты согласуются с данными мессбауэровской спектроскопии (рис. 2).

Известно, что взаимодействие ядра с электронной оболочкой атома (сверхтонкие взаимодействия) вызывает сдвиг и расщепление линий мессбауэровского спектра. В мессбауэровских спектрах полученных нанокомпозитов присутствует дублет от октаэдрически координированного высокоспинового комплекса Fe^{3+} .

Изучение нанокомпозитов методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) показало образование изолированных частиц относительно регулярной формы с размерами в интервале от 30–50 нм (рис. 3).

Инфракрасные спектры гуминовых кислот имеют своеобразный облик и характеризуются

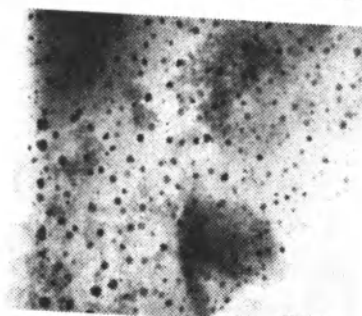


Рис. 3. Электронная микрофотография нанокompозита Fe_3O_4 – ГК.

постоянным набором полос поглощения, позволяющим отличить их от других соединений [2]. Данные ИК-спектроскопии подтверждают, что в спектрах нанокompозита, полученного на основе гуминовых кислот, сохраняются основные полосы поглощения, характерные для последних (рис. 4). Так как исследуемый препарат представлен солью гуминовых кислот, в ИК-спектре характеристическая полоса с максимумом около $1720\text{--}1700\text{ см}^{-1}$, относящаяся к карбоксильной группе, исчезает. Появляются две полосы в области $1590\text{--}1580$

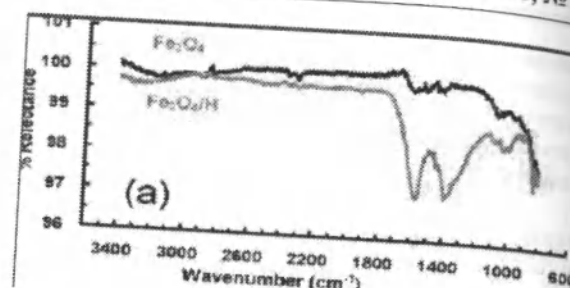


Рис. 4. ИК-спектроскопия нанокompозита, полученного на основе гуминовых кислот.

см^{-1} и 1400 см^{-1} , относящиеся к ионизированной форме карбоксильной группы. Деформационные колебания спиртовых гидроксидов выявляются при $1150\text{--}1050\text{ см}^{-1}$.

Литература

1. Pomogailo A.D., Kestelman V.N. Metallopolymer nanocomposites. Springer-Verlag. – Heidelberg, 2005.
2. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. – М.: 1974.

ЮБИЛЕИ



7 октября 2011 года исполняется 70 лет со дня рождения и 50 лет научно-педагогической деятельности академика, советника Президиума Национальной академии наук Кыргызской Республики, заведующего кафедрой информационных технологий и математического моделирования Кыргызского Государственного технического университета им. И.Раззакова, Народного учителя Кыргызской Республики, заслуженного деятеля науки Кыргызской Республики, лауреата Государственной премии Кыргызской Республики в области науки и техники, доктора физико-математических наук, профессора

ЖАЙНАКОВА Аманбека Жайнаковича.

А.Ж. Жайнаков родился в с. Кырк-Казык Таласского района Кыргызской ССР. В 1963 г. с отличием окончил физико-математический факультет Кыргызского государственного университета, в 1969 г. – аспирантуру. С 1963 по 1976 год работал преподавателем, был аспирантом, старшим преподавателем, доцентом, заведующим кафедрой теоретической физики Кыргызского государственного университета.

В 1970 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1984 г. – докторскую в Институте теплофизики СО АН СССР.

В 1976 г. под руководством А.Ж.Жайнакова создан Республиканский межвузовский вычислительный центр, впоследствии Институт информатики и информационных технологий, который стал основой компьютеризации системы образования и науки республики. Он был его бессменным руководителем до 2003 г.

С 1996 г. – заведующий кафедрой информационных технологий и математического моделирования Кыргызского горно-металлургического института им. академика У.Асаналиева при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова.

С 1993 г. – заместитель председателя Отделения ОФТМиГТН НАН КР, а с 2003 г. – вице-президент, председатель Бюро Отделения ФТМиГТН НАН КР.

В 2003 г. – президент Кыргызской академии образования МОиК КР.

С 2008 г. – главный научный сотрудник, а затем заведующий лабораторией Института физико-технических проблем и материаловедения НАН КР.

С 2010 г. и по настоящее время – советник Президиума Национальной академии наук Кыргызской Республики.

А.Ж. Жайнаков – видный организатор науки, крупный ученый в области математической и теоретической физики, механики, математического моделирования и компьютерных технологий, руководитель известной научной школы по исследованию в области теплофизики и теории тепло- и массообмена высокотемпературных процессов на основе численного моделирования и вычислительного эксперимента, которой разработаны теоретические модели для расчета характеристик электрических дуг с учетом состояния анодного узла. Результаты исследований используются в плазменных технологиях, при создании новых конструкций плазматронов и определении их оптимальных режимов работы не только в нашей стране, но и в таких известных научных центрах, как Институт электросварки им. Е.О. Патона (Украина) и МВТУ им. Н.Э. Баумана (Москва).

В своей научной и научно-организационной деятельности академик А. Жайнаков поддерживает тесные связи с учеными России, Украины, Казахстана, Узбекистана. Он достойно представляет интересы научной мысли Кыргызстана на многих авторитетнейших международных форумах – в Индии, во Франции, в Югославии, Италии, Германии, Сербии, Черногории, Южной Корее.

Он является членом Программного комитета периодической международной конференции «Информационные технологии и математическое моделирование в науке, технике и образовании».

А. Жайнаков является автором более 300 научных работ, в том числе десяти монографий, девяти учебников и учебных пособий. Многие из его работ опубликованы за границей — в Германии, Италии, Японии, Югославии, Англии, Южной Корее, России, Казахстане и др. Им подготовлены 5 докторов и 15 кандидатов наук.

Академик А. Жайнаков активно сочетает научно-организационную деятельность с педагогической. На протяжении 50 лет преподает в вузах страны. Он избран почетным профессором ряда вузов Кыргызстана и Казахстана.

Талантливый педагог и ученый, академик А. Жайнаков ведет большую научно-организационную работу, активно занимается подготовкой кадров высшей квалификации. Он является председателем Экспертного совета по физико-математическим наукам Высшей аттестационной комиссии КР, президентом Физического общества Кыргызстана, членом редколлегий Кыргызской национальной энциклопедии, председателем и научным консультантом Редакционного совета Кыргызской энциклопедии по физике и астрономии, членом редакционно-издательских редколлегий ряда журналов России, Казахстана и Кыргызстана.

Академик А. Жайнаков успешно сочетает научную и научно-организационную деятельность с общественной. Он является членом Президиума ЦК профсоюза работников образования и науки КР, членом Комитета по государственным премиям Кыргызской Республики в области науки и техники, а также членом Общественного наблюдательного совета при Министерстве образования и науки республики.

За большой вклад в международное сотрудничество и развитие научных связей, активную работу по решению интеграционных проблем науки и образования он избран вице-президентом Математического общества тюркоязычных стран мира, Почетным академиком Национальной инженерной академии Республики Казахстан, академиком Международной академии информатизации, членом Всемирного инновационного фонда.

За заслуги в развитии отечественной науки и подготовке высококвалифицированных кадров Жайнакову А. присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Кыргызской Республики», он награжден орденом «Манас» III степени, медалью «Манас-1000», Почетной грамотой Кыргызской Республики, удостоен звания лауреата Государственной премии Кыргызской Республики в области науки и техники, почетного звания «Народный учитель Кыргызской Республики», отмечен знаками «Отличник в области высшего образования СССР» и «Отличник народного образования Кыргызской ССР», удостоен Георгиевской медали «Честь, слава, труд» II степени Международной академии рейтинга «Золотая фортуна», является победителем фестиваля-конкурса «Айкол Манас — Человек года» в номинации «Деятель науки 2004 года в Кыргызстане». Имя А. Жайнакова включено в международный справочник «Выдающиеся личности XX века», изданный Кембриджским биографическим центром (Великобритания).

*Президиум Национальной академии наук
Кыргызской Республики,*

*Отделение физико-технических, математических
и горно-геологических наук НАН КР.*

ЮБИЛЕИ



15 сентября 2011 года исполнилось 60 лет со дня рождения и 40 лет научной и научно-педагогической и общественной деятельности вице-президента Национальной академии наук Кыргызской Республики, председателя Отделения физико-технических, математических и горно-геологических наук, заслуженного деятеля науки Кыргызской Республики, лауреата Госпремии Кыргызской Республики в области науки и техники, члена-корреспондента НАН КР, доктора технических наук

ОМОРОВА Туратбека Турсунбековича.

Т.Т. ОМОРОВ родился 15 сентября 1951 г. в с. Жениш Таласского района Киргизской ССР. Окончил с золотой медалью среднюю школу (г. Талас) и с отличием факультет автоматики и вычислительной техники ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина) с рекомендацией Совета факультета для поступления в аспирантуру. Учился в аспирантуре МВТУ им. Н.Э. Баумана, где защитил кандидатскую диссертацию по проблемам автоматического управления (1981 г.).

Свою докторскую диссертацию Т.Т. Оморов защитил в НПО «Кибернетика» Академии наук Республики Узбекистан (1997 г.).

В 2006 году был избран членом-корреспондентом Национальной академии наук Кыргызской Республики (НАН КР).

Т.Т. Оморов является крупным специалистом в области автоматического управления, автоматизации процессов управления и контроля, моделирования и оптимизации систем.

В технической кибернетике им создано новое научное направление — теория систем управления с гарантируемой динамикой, получившая широкую известность среди специалистов по автоматическому управлению. В ее рамках разработаны новые конструктивные методы построения многомерных непрерывных и цифровых систем управления, алгоритмы адаптивного и робастного управления в условиях неопределенности, процедуры идентификации динамических объектов. Результаты фундаментальных исследований внедрены при создании ряда систем управления для объектов водного хозяйства, энергетики и промышленности.

В области прикладных исследований им разработаны:

- Автоматизированная информационная система управления (АИСУ) процессами водопользования (алгоритмическое, информационное, специальное программное обеспечение). Базовая АИСУ демонстрировалась на ВДНХ СССР и награждена медалью, а созданные на ее основе системы внедрены на объектах водного хозяйства ряда стран.
- Альтернативная технология энергоучета, которая запатентована в Кыргызпатенте и может служить основой для создания новой автоматизированной информационной системы учета и контроля энергопотребления.
- Научно-технические решения по созданию автоматических систем для ряда отраслей экономики.

Он уделяет большое внимание подготовке высококвалифицированных инженерных и научных кадров. Им подготовлено 5 кандидатов наук, готовятся к защите 2 докторские и 3 кандидатские диссертации. Ведет работу по подготовке инженерных кадров, преподавал в вузах республики (КГТУ, КНУ, КТУ «Манас»). Был председателем государственных аттестационных комиссий, является членом Экспертной комиссии НАН КР и редколлегий ряда отечественных и зарубежных научных журналов.

Т.Т. Оморов — автор более 200 научных работ, в том числе четырех монографий. Имеет 4 патента на изобретения.

Свидетельством признания его достижений в науке и образовании является присвоение званий – лауреат Государственной премии Кыргызской Республики в области науки и техники (за цикл научных работ «Автоматические и компьютерные информационные системы управления: развитие теории и применения» (2002 г.); «Заслуженный деятель науки Кыргызской Республики» (2010 г.); вручение ему Почетной грамоты Кыргызской Республики (2004 г.) и знака «Отличник образования Кыргызской Республики» (2000 г.).

*Президиум Национальной академии наук
Кыргызской Республики,*

*Отделение физико-технических, математических
и горно-геологических наук НАН КР.*

ЮБИЛЕИ



13 сентября 2011 года исполнилось 80 лет со дня рождения и 65 лет трудовой, научной и научно-педагогической деятельности академика Национальной академии наук Кыргызской Республики, члена-корреспондента Российской академии наук, доктора физико-математических наук, профессора, заслуженного деятеля науки Кыргызской Республики, директора Института теоретической и прикладной математики Национальной академии наук Кыргызской Республики

ИМАНАЛИЕВА Мурзабека Иманалиевича.

М.И. Иманалиев родился в 1931 году в селе Каннды Кеминского района. Свою трудовую деятельность начал чабаном в 1946 году. В 1953 году с отличием окончил Кыргосуниверситет, затем учился в аспирантуре КГУ и МГУ и уже в 25 лет стал кандидатом наук. С 1957 года – преподаватель, затем доцент КГУ, проректор Фрунзенского политехнического института.

В 1964 году защитил докторскую диссертацию на тему «Асимптотические методы в теории нелинейных систем интегро-дифференциальных уравнений с малым параметром при старших производных». С 1965 года М.И. Иманалиев – профессор, заведующий кафедрой в КГУ. Начиная с 1966 года, он более 10 лет возглавлял Институт физики и математики АН Киргизской ССР. В 1976–1979 годах работал ректором КГУ, затем с 1979 по 1986 год был президентом АН Киргизской ССР. С 1984 года и по настоящее время – директор Института математики (с 2008 года – теоретической и прикладной математики) НАН КР. Избран действительным членом республиканской АН в 1979 году, членом-корреспондентом АН СССР (ныне – РАН) в 1981 году.

М.И. Иманалиев – крупный ученый, внесший значительный вклад в современную математику, благодаря которому произошло становление математической науки в Кыргызстане. Им опубликовано свыше 250 научных работ, в том числе 7 монографий. Основной сферой научной деятельности М.И. Иманалиева является теория дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений (ИДУ) в обыкновенных и частных производных и их приложения в естественно технических науках и экономике.

В своих работах академик М.И. Иманалиев показал коренное отличие теории ИДУ с малыми параметрами при производных от соответствующей теории дифференциальных уравнений и создал общий, принятый сейчас во всем мире, асимптотический метод для исследования уравнений с малыми параметрами при производных, доказал сходимость решений задачи Коши и краевых задач для ряда, ранее не изученных сингулярно-возмущенных нелинейных ИДУ к решениям соответствующих вырожденных уравнений. Им разработана теория ветвления периодических, почти-периодических и ограниченных решений сингулярно-возмущенных систем, построены асимптотические решения – ряды по целым и дробным степеням малого параметра, установлены условия, при которых интегральные возмущения меняют устойчивость решений.

М.И. Иманалиев внес существенный вклад в теорию некорректно поставленных задач, развив теорию линейных и нелинейных интегральных уравнений первого рода в пространстве непрерывных на конечном промежутке функций и предложив способы регуляризации решений этих уравнений, основанные на методах теории сингулярно-возмущенных систем, впервые систематически изучил вопросы существования и аппроксимации обобщенных решений интегральных уравнений первого рода с конечными пределами интегрирования.

С именем М.И. Иманалиева связано новое направление в математике в целом – систематический поиск ранее неизвестных эффектов в различных типах задач, им обнаружены явления «вращающегося по-

граничного слоя» в теории систем сингулярно-возмущенных уравнений, «удаляющегося пограничного слоя» и «всплеска» в теории одномерных уравнений.

В настоящее время М.И. Иманалиев разрабатывает созданный им с учениками принципиально новый метод дополнительного аргумента исследования нелинейных уравнений в частных производных. Основная идея метода состоит в том, что исходная задача путем введения дополнительной переменной сводится к системе интегральных уравнений. Цикл работ этого направления опубликован в республиканских изданиях, в журнале «Доклады РАН».

Актуальность и важность научной деятельности М.И. Иманалиева подтверждена семью авторскими свидетельствами на изобретения.

М.И. Иманалиевым создана научная школа. Им подготовлено более 40 кандидатов наук, 16 из которых защитили докторские диссертации, двое из них были избраны членами-корреспондентами республиканской Академии наук. Значительное внимание академик М.И. Иманалиев уделяет развитию математического образования. Он – автор программы базисного курса математики для средней образовательной школы, председатель экспертной комиссии по созданию качественно нового поколения учебников для средних школ. Под его руководством составлены и изданы учебник «Алгебра» 9-й класс (2002 г.), «Алгебра» 11-й класс (2009 г.) и пособия «Методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений» (2005 г.), «Кадимки дифференциалдык тендемелер жана анын колдонулушу» (2006 г.).

М.И. Иманалиев несколько раз избирался депутатом городского совета г. Фрунзе, являлся депутатом Верховного Совета СССР двух созывов (1979, 1984 гг.). В течение многих лет он возглавлял совет по защите докторских и кандидатских диссертаций по математике и сейчас является членом коллегии НАН КР и референтом американского математического журнала «Mathematical Reviews», членом Исследовательской коллегии советников Американского биографического института.

За плодотворную научную, научно-организационную и педагогическую деятельность академику Мурзабеку Иманалиевичу Иманалиеву присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Киргизской ССР» (1981 г.). Он награжден орденом Трудового Красного Знамени (1981 г.), медалями СССР и почетными Грамотами Верховного Совета Киргизской ССР, орденами «Манас» III степени (1997 г.) и I степени (2003 г.), Почетной золотой медалью Президента Кыргызской Республики «За выдающиеся научные достижения в XX столетии» (2001 г.).

Президиум НАН КР,

*Отделение физико-технических, математических
и горно-геологических наук,*

Институт теоретической и прикладной математики.

ЮБИЛЕИ

1 мая 2011 года исполнилось 70 лет члену-корреспонденту Национальной академии наук Кыргызской Республики

ИМАЗОВУ Мухаме Хусефовичу.



М.Х.Имазов родился 1 мая 1941 г. в с. Александровка Московского района Киргизской ССР. Окончил в 1964 г. филологический факультет Киргизского государственного университета. С 1964 по 1968 год проработал учителем русского языка и литературы в Александровской средней школе.

В 1968 г. был зачислен аспирантом в Отдел дунгановедения АН Киргизской ССР, а в 1972 г. защитил кандидатскую диссертацию и получил ученую степень кандидата филологических наук. Работал в отделе старшим лаборантом, младшим научным сотрудником, старшим научным сотрудником, ведущим научным сотрудником, главным научным сотрудником. В 1979 году ему присвоено звание старшего научного сотрудника. Докторская диссертация им была защищена в 1994 г. В 1999 году утвержден в должности заведующего Отделом дунгановедения (ныне Центр дунгановедения и ки-

таистики) и по настоящее время работает в этой должности. В 2000 г. он избран членом-корреспондентом Национальной академии наук Кыргызской Республики.

М.Х.Имазов – специалист в области дунганского и китайского языкознания. Он опубликовал ряд монографических работ по различным аспектам строя дунганского языка, имеющих важное теоретическое и методическое значение. Среди них «Основы фонетики дунганского языка», «Фонетика дунганского языка», «Очерки по морфологии дунганского языка», «Очерки по синтаксису дунганского языка», «Грамматика дунганского языка». Он является автором «Орфографического словаря дунганского языка», соавтором трехтомного «Русско-дунганского словаря».

Им опубликованы 8 монографий, 3 брошюры и более 60 научных статей. Его научные статьи, доклады, тезисы докладов публиковались в различных отечественных и зарубежных изданиях: России, Китая, Японии, Эстонии, Казахстана. За последние годы М.Х.Имазовым совместно с сотрудниками центра выпущено 8 сборников научных статей. Большая работа им была проведена в качестве главного редактора двух выпусков Дунганской энциклопедии. Он является автором пяти школьных учебников и учебных пособий, организатором курсов повышения квалификации учителей дунганского языка и литературы.

М.Х.Имазов занимается подготовкой научных кадров. Под его руководством защитились один доктор и пять кандидатов наук. Руководит работой четырех аспирантов и двух соискателей.

ЮБИЛЕИ**Шералы Жапаров – 75 жашта**

2011-жылы 23-сентябрда И.Арабаев атындагы КМУнун профессору, филология илимдеринин доктору, Кыргыз Республикасынын илимине эмгек сиңирген ишмер, “Кыргыз тили” төш белгисинин ээси Шералы Жапаров 75 жашка толду.

Шералы Жапаров 1936-жылы азыркы Баткен (мурдагы Ош) областынын Лейлек районуна караштуу Шор-Булак кыштагында туулган.

Ал Сүлүктү шаарындагы жумушчу-жаштар орто мектебин бүткөндөн кийин, 1960-жылы Кыргыз мамлекеттик университетинин филология факультетине кирип, аны 1965-жылы бүтүрөт да, Ош областынын Сүлүктү шаарындагы № 4-орто мектепте жана Лейлек районундагы Самат Садыков атындагы орто мектепте кыргыз тили жана адабияты мугалими болуп иштейт.

1960–65-жылы КУУда, 1966–69-жылы КР УИАсында аспирантурада, 1987-89-жылы Москва шаарында докторантурада окуган.

1984-жылы Германиянын Лейпциг шаарында өткөн XV Эл аралык ономастикалык конгресске катышып, «Кыргыз адам аттарындагы уйкаштык» деген темада илимий доклад жасап, эмгектери Германияда (1984, 1985-жж), КЭРде (бир нече жолу, соңкусу 2003-ж.), Түркияда да (1986-ж) жарык көргөн.

Агайдын калеминен жаралган (авторлош) эмгектери: «Кыргыз адам аттарынын сөздүгү» (1979-ж); «Кыргыз диалектологиясы» (1976, 1982, 2001-жж); «Кыргыз тилинин синонимдер сөздүгү» (1984-ж); «Кыргыз тилинин омонимдер сөздүгү» (1986); «Кыргыз тилинин антонимдер сөздүгү» (1988-ж); «Киргизская антропонимика» (1992); «Кыргыз тилинин фразеологиялык сөздүгү» (2001-ж); «Кыргыз тилинин фонетикасы» (окуу китеби, 2001-ж); «Кыргыз тили» (окуу китеби, 1975, 2007-жж); «Кыргыз тили илиминин улуттук календары» (2008-ж); «Кыргыз тилчилери» (Биобиблиографиялык тактам, окума: 1-том, 2004, 228 б.; 2-том, 2005, 150 б.); «Кыргыз тилчилери» деген жаңы багыттагы биобиблиографиялык 3 (үч) томдуу эмгек (1989); “Азыркы кыргыз тилинин лексикологиясы жана лексикографиясы” (2010-ж); «Адам аттары – эл байлыгы» (1-2-3-бөлүктөрү 2001, 2002, 2004, 2011-жж).

Ш.Жапаров – кыргыз тил илиминде өзүнүн илимий жолу жана багыты бар, белгилүү ономаст, ошону менен бирге такшалган көрүнүктүү окумуштуу. Анын илимий изилдөө багыттары: кыргыз диалектологиясы, лексикасы (лексикология менен лексикографиясы), ономастикасы (айрыкча антропонимикасы), библиографиясы жана кыргыз тилин бөтөн аудиторияда окутуу маселелери. Бүгүнкү күнгө чейин агайдын кыргыз филологиясына байланыштуу 300 басма табактан ашык көлөмүндөгү эмгеги 45 китеп түрүндө жарык көргөн.

Ш.Жапаров – азыркы учурда И.Арабаев атындагы Кыргыз мамлекеттик университетиндеги Мамлекеттик тил жана маданият институтунда үзүрлүү эмгектенип жатат.



*Коомдук илимдер бөлүмү,
Ч. Айтматов атындагы Тил жана адабият институту,
И.Арабаев атындагы КМУнун ректораты.*

СОДЕРЖАНИЕ

МАЗМУНУ

CONTENTS

Редакционно-издательская коллегия:

академик *Ш.Ж. Жоробекова* (президент НАН КР) (главный редактор),
академик *В.М. Плоских* (вице-президент НАН КР) (зам. гл. редактора),
академик *Д.К. Кудаяров* (вице-президент НАН КР),
член-корр. *Т.Т. Оморов* (вице-президент НАН КР)

Редакционный совет:

академик *Ш.Ж. Жоробекова* (президент НАН КР) – председатель,
академик *В.М. Плоских* (вице-президент НАН КР) – зам. председателя,
академик *У.А. Асанов*, академик НАН КР *А.А. Айдаралиев*,
академик *И.Т. Айтматов*, академик НАН КР *Дж. А. Акималиев*,
академик *А.А. Борубаев*, академик НАН КР *А.Ч. Какеев*,
академик *Т.К. Койчуев*, академик НАН КР *М.Т. Мамасаидов*,
академик *Д.М. Маматканов*, академик НАН КР *Ж.Ш. Шаршеналиев*

Секретариат

член-корр. НАН КР *И.А. Ашимов* (отв. секретарь)

Журнал основан в 1966 г.

Редакторы – *Р.Д. Мукамбетова*, *Е.В. Комарова*

Компьютерная верстка – *А.Ж. Малдыбаев*

Дизайн обложки – *А.Ж. Малдыбаев*

Подписано в печать 10.09.11. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная.

Объем 20 п.л., 19.2 уч.-изд. л. Тираж 100 экз.

Издательство “Илим”,

720071, г. Бишкек, проспект Чуй, 265а

ОМОРОВ Т.Т. Итоги и перспективы развития науки отделения физико-технических, математических и горно-геологических наук нан кр 7

КР УИАнын Физика-техникалык, математикалык жана тоо-геологиялык илимдер бөлүмүндөгү илимдин өнүгүшүнүн жыйынтыктары

Results and prospects of science development of the division of physical-technical, mining and geological sciences of the national academy of sciences of the Kyrgyz Republic

ВОДНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

МАМАТКАНОВ Д.М., МУРТАЗАЕВ У.И., САИДОВ И.И. Роль малых и средних водохранилищ в защите от селевых потоков (на примере Таджикистана) 11

Сел ташкындарынан коргонуудагы орто жана кичи суу сактагычтардын ролу (Тажикстандын мисалында)

The role of small reservoirs protection from mudslides (For example Tajikistan)

МАМАТКАНОВ Д.М., ТУЗОВА Т.В. Оценка питания вод Токтогульского водохранилища уран-изотопным методом 14

Уран-изотоптук ыкмасы аркылуу Токтогул суу сактагычындагы суу азыктарынын бааланышы

Use of uranium-isotopic method for assesment of the Toktogulsky reservoir feeding

ДОВГАНЬ В.И., ФРОЛОВА А.Г. Записи событий на Токтогульской плотине, не связанных с пусками гидроагрегатов и землетрясениями 19

Жер титирөөлөр жана гидроагрегаттардын ишке киргизүүлөрү менен байланышпаган Токтогул плотинасындагы окуялардын белгиси

Records of events on the Toktogul dam, not connected with earthquakes and hydro-unit start-ups

ШАТРАВИН В.И., ТУЗОВА Т.В. Долгосрочное прогнозирование оледенения и оценка ледовых ресурсов Центральной Азии с помощью изотопных методов 24

Изотоптук ыкма аркылуу Борбордук Азиядагы мөңгү тоңуусунун узак мөөнөттүк маалыматы жана мөңгү ресурстарынын бааланышы

Long-term Forecast of Glaciation and Evaluation of Glacial Resources of the Central Asia with the Use of Isotopic Methods

РОМАНОВСКИЙ В.В., ТАШБАЕВА С.Э. Седиментационные процессы в береговой зоне озера Иссык-Куль 28

Ысык-Көлдүн жээктериндеги седиментациондук көрүнүштөр

Sedimentary processes in coastal zone of Issyk-Kul lake

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ

РАИМКУЛОВ М.Н. Новый взгляд на опыт ФИЗО 33

ФИЗОНун тажрыйбасына жаңы көз караш

The new view at FIZEAU experiment

ОРМОНБЕКОВ Т.О. Методы решения краевых задач осесимметричной теории упругости 36

Осесимметриялык серпилүү теориясынын крайлык маселелерин чечүү ыкмалары

Methods for salvation boundary problems of axisymmetric theory of elasticity