

# ТОЧНАЯ НАУКА

естественнонаучный журнал

Публикации для студентов, молодых ученых и научно-преподавательского состава на [www.t-nauka.ru](http://www.t-nauka.ru)

ISSN 2500-1132    Издательский дом "Плутон"    [www.idpluton.ru](http://www.idpluton.ru)

## Выпуск №60

КЕМЕРОВО 2019

21 октября 2019 г.  
ББК Ч 214(2Рос-4Ке)73я431  
ISSN 2500-1132  
УДК 378.001  
Кемерово

Журнал выпускается ежемесячно, публикует статьи по естественным наукам. Подробнее на [www.t-nauka.ru](http://www.t-nauka.ru)

За точность приведенных сведений и содержание данных, не подлежащих открытой публикации, несут ответственность авторы.

Редкол.:

Никитин Павел Игоревич - главный редактор, ответственный за выпуск журнала

Баянов Игорь Вадимович - математик, специалист по построению информационно-аналитических систем, ответственный за первичную модерацию, редактирование и рецензирование статей

Артемасов Валерий Валерьевич - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей

Зими́на Мари́я Игоревна - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей

Нормирзаев Абдукаюм Рахимбердиеви - кандидат технических наук, Наманганский инженерно-строительный институт (НамМПИ)

Безуглов Александр Михайлович - доктор технических наук, профессор кафедры математики и математического моделирования, Южно-российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова,

Наджарян Микаел Товмасович - кандидат технических наук, доцент, Национальный политехнический университет Армении

Шушлебін Игорь Михайлович - кандидат физико-математических наук, кафедра физики твёрдого тела Воронежского государственного технического университета

Равшанов Дилшод Чоршанбиевич - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология, машины и оборудования полиграфического производства», Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Крутякова Маргарита Викторовна – доцент, кандидат технических наук, Московский политехнический университет

Гладков Роман Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации вооружения и военной техники Рязанского гвардейского высшего воздушно-десантного командного училища

Моногаров Сергей Иванович - кандидат технических наук доцент Армавирского механико-технологического института (филиал) ФГОУ ВО КубГТУ

Шевченко Сергей Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры СЭУ, Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота РФ

Отакулов Салим - Доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Джизакского политехнического института

А.О. Сергеева (ответственный администратор)[и др.];

Естественнонаучный журнал «Точная наука», входящий в состав «Издательского дома «Плутон», был создан с целью популяризации естественных наук. Мы рады приветствовать студентов, аспирантов, преподавателей и научных сотрудников. Надеемся подарить Вам множество полезной информации, вдохновить на новые научные исследования.

Издательский дом «Плутон» [www.idpluton.ru](http://www.idpluton.ru) e-mail: [admin@idpluton.ru](mailto:admin@idpluton.ru)

Подписано в печать 21.10.2019 г. Формат 14,8×21 1/4. | Усл. печ. л. 2.2. | Тираж 500.

Все статьи проходят рецензирование (экспертную оценку).

Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.

Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.

Редакция не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.

При использовании и заимствовании материалов ссылка обязательна.

## Содержание

1. ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Mo-Zr.....	2
<b>Сабилов А.К., Туламетов М.А., Каюмова М.Р.</b>	
2. К МИНЕРАЛОГИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМОВ.....	4
<b>Мирзаев А.У., Джурабаев А.Б., Амиров Э.М., Орлов А.К., Садиров Р.М.</b>	
3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ РЕШЕНИИ РАЗНОСТНОГО УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛЬНОЙ ПРОГОНКИ.....	8
<b>Веретенников В.Н., Большаков В.А.</b>	
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НЕ МИНИМАЛЬНО-ФАЗОВОГО АСТАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ.....	17
<b>Мирославский Д.Е.</b>	
5. МОНИТОРИНГ СОБЫТИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	24
<b>Яковлева А.Е.</b>	
6. ЭВОЛЮЦИЯ ВЗГЛЯДОВ НА СТРОЕНИЕ РЕЛЬЕФА ДОМЕЗОЗОЙСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ФЕРГАНСКОЙ ВПАДИНЫ.....	27
<b>Мордвинцев Д.О., Раджабов Ш.С., Инатов Н.К., Сахобидинов Р.И.</b>	
7. ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ДИАМЕТРОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ МЕШАЛКОЙ.....	33
<b>Ҳамроев Ш.Г.</b>	
8. ВЫБОР ПРИБОРОВ ДЛЯ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ .....	39
<b>Кабдрахманова А.А.</b>	

**Сабиров Акмалжон Комилжонович**  
**Sabirov Akmalzhon Komilzhonovich**

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика и электротехника»

**Туламетов Махмуджон Ахмедович**  
**Tulametov Mahmudjon Ahmedovich**

Старший преподаватель кафедры «Физика и электротехника»

**Каюмова Муножат Рахматиллаевна**  
**Kayumova Munozhat Rakhmatillaevna**

Ассистент кафедры «Физика и электротехника»

УДК 537.533

## ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Mo-Zr

### EMISSION PROPERTIES OF Mo-Zr ALLOY

**Аннотация:** В данной статье изучались эмиссионные свойства окисленных сплавов тугоплавких металлов (Mo-Zr) в потоке атомов цезия. Целью настоящей работы является уменьшение значения работы выхода системы сплав – кислород – цезий. Добавка в молибден 3 атомных % циркония повышает значение и стабильность эмиссии в потоке атомов цезия при его окислении в атмосфере кислорода при его температуре  $T=1200\text{K}$ . Поверхность сплава Mo-Zr изучалась методом Оже-электронной спектроскопии.

**Abstract:** This article studied the emission properties of oxidized alloys of refractory metals (Mo-Zr) in a stream of cesium atoms. The aim of this work is to reduce the value of the work function of the alloy – oxygen – cesium system. The addition of 3 atomic% zirconium to molybdenum increases the value and stability of emission in the flux of cesium atoms during its oxidation in an oxygen atmosphere at its temperature  $T = 1200\text{K}$ . The surface of the Mo — Zr alloy was studied by Auger electron spectroscopy.

**Ключевые слова:** эмиссия, молибден, цирконий, эффект Киркендалля, диффузия, адсорбция, работа выхода, температура, поверхность, Оже-спектр, окисление, концентрация, сплав – кислород – цезий, кристаллическая решетка, атмосфера, растворимость, обезгаживание, стабилизация, минимальная значения работы выхода.

**Keywords:** emission, molybdenum, zirconium, Kirkendall effect, diffusion, adsorption, work function, temperature, surface, Auger spectrum, oxidation, concentration, oxygen-cesium alloy, cryo-metal lattice, atmosphere, solubility, degassing, stabilization, minimum values work output

#### Введение

Эмиссионные свойства неокисленного сплава зависят от элементного состава поверхности т.к., согласно эффекту Киркендалля, атомы легкоплавящегося компонента атомы циркония при нагревании сплава в вакууме выходя на поверхность молибдена и должна образоваться пленки циркония.

#### Основная раздел

Добавка циркония в молибден должна привести к следующим явлениям:

- эффекту Киркендалля, при термической обработки сплава Mo-Zr в вакууме на поверхность молибдена диффундируют атомы циркония и должна образоваться пленки циркония;
- структура пленки циркония, если она субмонослойная, должна иметь структуру близкую к структуре типа ОЦК (объем центрированной кубической);
- по сравнению с чистым цирконием сплав молибдена с цирконием более тугоплавкий, что приводит к увеличению устойчивости системы металл-кислород-цезий;
- добавка циркония в молибден приводит к увеличению растворимости кислорода в молибдене.

В процессе термического прогрева поверхность сплава Mo-Zr очищается от примесей и Оже-спектры элементов появляется более четко. Оже-спектры циркония, молибдена, углерода и кислорода проявляется четко. Из этого следует что поверхность сплава Mo-Zr обогащен кислородом и углеродом. После прогрева при температуры  $T=1700\text{K}$  сплава Mo-Zr концентрация

Оже-спектров кислорода и углерода на поверхности сплава Mo-Zr уменьшается в 2 раза.

После прогрева сплава Mo-Zr при температуре  $T=2100\text{K}$  приводит к резкому уменьшению концентрации углерода и кислорода в 1,5-2 раза. При этом заметно уменьшается концентрация атомов циркония из-за их испарения с поверхности. Следует отметить, что интенсивная диффузия циркония на поверхности сплава Mo-Zr происходит при температуре  $T=1650 - 1750\text{K}$ . Длительная выдержка при этой температуре приводит к обогащению поверхности атомами циркония. Это позволяет утверждать, что для сплава Mo-Zr справедлив эффект Киркендалля. Самая высокая концентрация циркония на поверхности сплава Mo-Zr достигается при прогреве его при температуре  $T=1700\text{K}$ .

После прогрева проводились окисление сплава Mo-Zr в атмосфере кислорода при давлении  $3-5 \cdot 10^{-6}$  Тор в течении 30 минут. Самая минимальная значения работы выхода окисленного сплава Mo-Zr в потоке атомов цезия наблюдается при окислении его при  $T=1400\text{K}$  и она составляет 1,30-1,35эВ.

### **Заключение**

Таким образом, для сплава Mo-Zr справедлив эффект Киркендалля, что при нагревании в вакууме при  $T=1650 - 1750\text{K}$  к поверхности сплава Mo-Zr интенсивно обогащается атомами циркония. Однако, наличие заметной концентрации углерода не позволяет получить однородную пленку циркония на поверхности сплава Mo-Zr, следовательно достичь рубежа работы выхода системы сплав – кислород – цезий на уровне 1,2эВ.

### **Библиографический список:**

1. Сабиров А.К., Худойбергенов С.Б. Эмиссионные свойства сплава Ta-Nf. Точная наука, 2019, №40, С.7-8.
2. Сабиров А.К. Изучение эмиссионные свойства сплавов с цирконием. Вестник ТАДИ, 2018, №2, С.15-18.

**Мирзаев Абдуразак Умрзакович**  
**Mirzayev Abdurazak Umrzakovich**

д.г.-м.н.

Вице-президент Академии наук Республики Узбекистан

**Джурабаев Алишер Бахтиярович**  
**Djurabayev Alisher Bakhtiyarovich**

докторант базовой докторантуры Института геологии и геофизики, направления «Минералогия и кристаллография», (Узбекистан, г. Ташкент) E-mail: [alisher.djurabayev@gmail.com](mailto:alisher.djurabayev@gmail.com)

**Амиров Элмурод Мансуриддин углы**  
**Amirov Elmurod Mansuriddin ogly**

докторант базовой докторантуры Института геологии и геофизики, направления «Геотектоника и геодинамика, петрология и литология», (Узбекистан, г. Ташкент)

**Оролов Азиз Каимжанович**  
**Orolov Aziz Kaimjanovich**

Магистрант Национального университета Узбекистана, факультет геологии и геоинформационных систем, направление «Минералогия и кристаллография»

**Садиров Рустам Маматхон углы**  
**Sadirov Rustam Mamatkhon ugly**

Студент Национального университета Узбекистана, факультет геологии и геоинформационных систем, направление «Общая геология»

УДК 553.575.15

## **К МИНЕРАЛОГИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМОВ**

### **FOR MINERALOGY OF GOLD IMPLEMENTATION OF CENTRAL KYZYLKUM**

**Аннотация:** В работе отражены минералогические отличительные особенности золото-редкометалльного и золото-серебряного оруденений Центральных Кызылкумов, обусловленные условиями их формирования и локализации в различных геолого-структурных обстановках.

**Annotation:** The work reflects the mineralogical distinctive features of gold-rare metal and gold-silver mineralization of the Central Kyzyl Kum, due to the conditions of their formation and localization in various geological and structural environments.

**Ключевые слова:** Центральные Кызылкумы, золото-редкометалльное и золото-серебряное оруденение, типоморфные минералы, состав руд, критерии поисков.

**Key words:** Central Kyzylkum, gold-rare metal and gold-silver mineralization, typomorphic minerals, ore composition, search criteria.

Особенности концентрирования элементов в минеральной и примесной форме, обусловленные условиями их формирования, несут важную информацию о характере рудообразующей системы, в связи с чем имеют важное поисково-оценочное значение. Наиболее информативными в этом отношении является химический состав рудных минералов, образующих закономерные макро- и микропарагенезисы с золотом [1].

Изучен микроминеральный состав руд золото-редкометалльных (ЗР) и золото-серебряных (ЗС) месторождений Центральных Кызылкумов, особое внимание уделено выявлению формы нахождения висмута и произведено их сравнение. Исследования по выявлению химического состава минералов, содержащих в них элементов-примесей, особенностей их распределения проводились на рентгеновском электронном микроскопе Superprobe JXA-8800R (Jeol, Япония) в Институте геологии и геофизики АН РУз.

Исследуемые объекты размещены в пределах Кызылкумского золоторудного узла Бельтау-Кураминского вулcano-плутонического пояса [2], связанный с процессами субдукции океанической коры под Казахстанo-Киргизский континент и его последующей коллизии [3,5]. ЗР месторождения

гор Букантау (Сарытау и Саутбай) генетически и пространственно сопряжены с процессами становления гранитоидных интрузий, прорывающих осадочно-вулканогенные породы кокпатасской свиты [4]. Золотое оруденение в этих месторождениях сложено, последовательно проявляющимися золото-редкометалльным, золото-висмут-теллуридным, золото-мышьяковой и серебро-золото-сульфосольными минерально-геохимическими парагенезисами, промышленная значимость руд определена золото-висмут-теллуридной и золото-арсенопиритовой ассоциациями. Ассоциации размещаются зонально, в указанной последовательности, по удалению от гранитоидной интрузии.

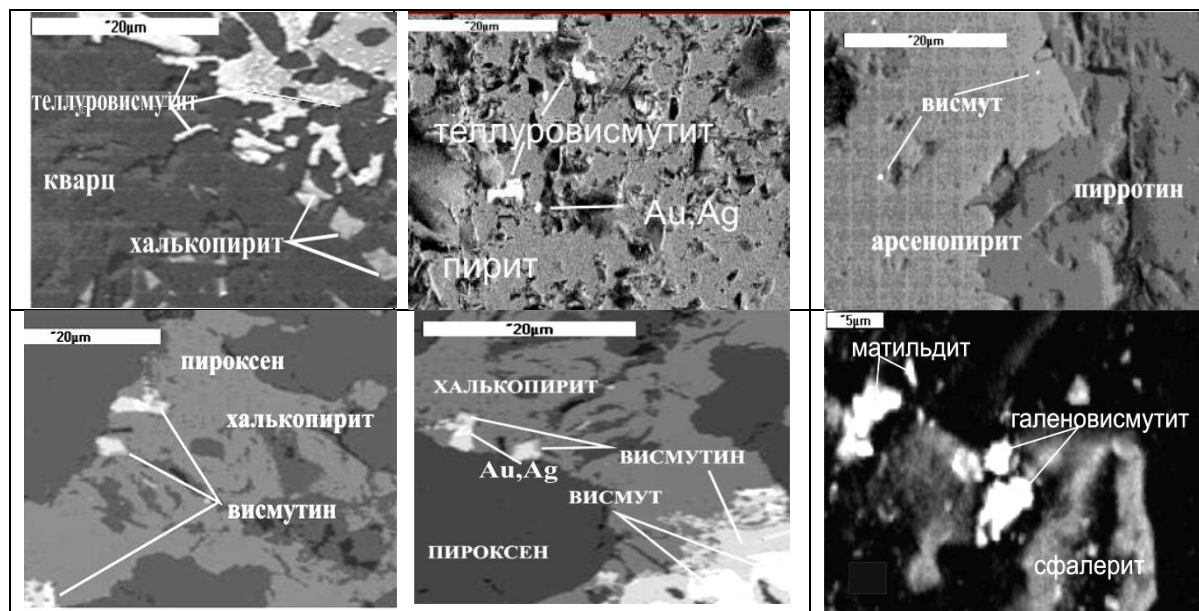
ЗС объекты локализованы в зонах дизъюнктивных нарушений, в породах бесапанской свиты в горах Ауминза-Белтау (Даугызта, Песчаное, Шохетау, Карабугут и др.) и кокпатасской свиты в горах Букантау (Кокпатас, Каскыртау). Рудопродуктивные ассоциации: главная - золото-арсенопиритовая и второстепенная - золото-сульфосольная. Золото встречается в виде дисперсных примесей в сульфидных минералах и реже в самородном состоянии в последней.

Установлено, что золотое оруденение ЗР месторождений, формирующееся в широком диапазоне рудообразующего процесса, тесно ассоциирует с минералами висмута, которые не характерны для ЗС. При этом, геохимический парагенезис висмута в ЗР месторождениях различен в указанных ассоциациях (табл.1). В более ранних стадиях рудообразования висмут представлен в самородной, сульфидной и теллуридной форме - в виде висмутина, самородного висмута, теллуrowисмутита, хедлеита и жозеита, с самородным золотом более высокой пробыности (866-882), халькопиритом, пирротинном, пиритом (рис.1). Данная ассоциация, в нижних горизонтах месторождений, часто пространственно совмещена с зонами

**Таблица 1 - Сравнительная характеристика минеральных ассоциаций и типоморфных минералов золото-редкометалльного и золото-серебряного оруденения Центральных Кызылкумов**

Минеральные ассоциации	Золото-редкометалльное	Золото-серебряное
	Типоморфные рудные минералы	
Золото-редкометалльная	Шеелит, молибденит, самородное Au (ед.: 905-922)	-
Золото-висмутин-теллуридная	Теллуrowисмутит, хедлеит, жозеит, висмутин, самородные висмут, самород. Au (882-866)	-
Золото-мышьяковая	As-пирит, арсенопирит, халькопирит, пирротин, герсдорфит, Ni-Co-пирротин, золото дисперсное	As-Ni –пирит, арсенопирит, пентландит, зол. невидимое
Полисульфидно-теллуридная	Халькопирит, сфалерит, галенит, тетрадимит, теннантин, ингодит, сульфоцумоит, галеновисмутит, виттихеннит, айкинит, самородное золото (732-767)	Халькопирит, сфалерит, галенит, гринокит, гессит, петцит, штютцит
Золото-сульфосольная	Сфалерит, науманнит, акантит, самородное Ag, самородное Au (687-701), козалиит, кобеллит, матильдит, миаргирит, стефанит, буланжерит, полибазит	Ульманнит, клаусталит, Ag-клаусталит, Ag-Se-галенит, сам. Ag, самород. Au (386-622), акантит, тетраэдрит, фрейбергит, буланжерит, джемсонит, бурнонит, пираргирит, Se-маккинстрит

редкометалльного оруденения. В поздние стадии рудообразования висмут входит в состав многочисленных сульфосолей, приуроченные к верхним частям месторождений [4]. Так, для серебро-золото-сульфосольной ассоциации ЗР месторождений характерны висмутовые сульфосоли теллура, свинца, меди, сурьмы и серебра – ингодит, сульфоцумоит, бурсаит, тетрадимит, галеновисмутит, айкинит (табл.2). Важными критериями оценки условий формирования и прогноза оруденения, оказываются результаты сравнения минерального состава более поздних полисульфидно-теллуридной и серебро-золото-сульфосольной ассоциаций.



**Рис.1. Микропарагенезисы минералов в золото-редкометалльных рудах месторождений Сарытау и Саутбай. Снимки во вторичных электронах**

На ЗР месторождениях в составе руд широко распространены сульфовисмутиты, сульфосоли меди присутствуют в виде мышьяковых (теннантин) и висмутовых (виттихенит, айкинит), в ЗС – сурьмяных (тетраэдрит и Ag-тетраэдрит) и свинцово-сурьмяных (бурнонит) разновидностей. Сульфосоли свинца в первых представлены висмутовыми (козалит, кобеллит и галеновисмутит), во вторых – сурьмяными (буланжерит, джемсонит) разновидностями. Соединения сульфосолой серебра в ЗР рудах, наряду с миаргиритом и стефанитом, чаще представлены матильдитом ( $AgBiS_2$ ), в ЗС – пираргиритом ( $Ag_3SbS_3$ ). Все указанные минералы, серебро-золото-сульфосольного парагенезиса в ЗР месторождениях ассоциируют с самородным золотом меньшей пробы (687-701). При этом проба золота в соответствующих ассоциациях ЗС объектов ниже (386-622). Анализ данных по минеральному составу руд крупных ЗР месторождений (Мурунтау, Зармитан), также подтверждает вышеотмеченное, с той разницей, что в этих объектах минералы висмута представлены ещё большим набором [1].

**Таблица 2 - Химический состав минералов висмута по данным микрозондового анализа**

Минерал	Au	Ag	Cu	Fe	Pb	Bi	Te	Se	Sb	S	Σ
Сам. Bi (3)*	0,2		0,5	0,3		98,9				0,01	99,64
Висмутин (3)			0,3	0,3	0,31	82,9				16,2	99,98
Хедлеит (2)	0,18					79,3	20			0,54	99,84
Теллуrowисмутит (2)	0,22			0,3		53,5	45,7			0,42	99,94
Жозеит (2)						78,9	12,1	2,8		6,19	99,99
Жозеит В						76,1	20,6			3,25	99,95
Ингодит (3)				0,3		71,3	21,2	1,8		5,52	99,98
Сульфоцумоит (2)				0,4		67,7	28		0,	4,26	99,96
Тетрадимит (2)		0,3	0,4	0,2			60	35	0,3		4,68
Ag-бурсаит (3)		7,1	0,3		36,4	37,9	0,78	0,6	2,4	14,6	99,97
Галеновисмутит-3		1,2		0,3	23,8	57,5	0,4	0,5		16,2	99,97
Айкинит (2)		0,3	11		35	37,2			0,2	16,3	100

\*количество усредненных анализов

Полученные данные показывают, что присутствие и формы нахождения микроминералов



являются надежными критериями оценки оруденения, наиболее информативным, в этом плане, являются геохимические парагенезисы висмута. Ассоциация самородного висмута, его сульфидов, теллуридов и сульфовисмутитов с другими микроминералами, в исследуемом регионе, свидетельствует о наличии промышленного золотого оруденения Au-Bi-W типа. Самородная и теллуридная форма нахождения висмута указывают на нижние части рудообразования, сульфосольная – верхние.

**Библиографический список:**

1. Конеев Р.И., Халматов Р.А, Мун Ю.С. Золоторудные месторождения Узбекистана: минералого-геохимический стиль, закономерности размещения и формирования // Геология и минеральные ресурсы.- 2009.- №4.- С. 11-24.

2. Goldfarb R.J., Ryan D., Gregory S. et al. (2013). Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia. Elsevier, p. 1-55.

3. Seltmann, R., Konopelko, D., Biske, G., Divaev, F., Sergeev, S., (2011). Hercynian postcollisional magmatism in the context of Palaeozoic magmatic evolution of the Tien Shan orogenic belt. Journal of Asian Earth Sciences 42, 821–838.

4. Karabaev M.S. Distribution of elements in ore and wallrock area of gold rare metal deposits and its significance for prediction // International Journal of Geology, Earth & Environmental Science.-India, 2016.- vol. 66 №1.-pp. 137-140.

5. Yakubchuk A.S., Shatov V.V., Kirwin D. et al. Gold and Base Metal Metallogeny of the Central Asian Orogenic Supercollage: Society of Economic Geology,- Anniversary Volume.- 2005. - pp.1035-1068.

**Веретенников В.Н., Большаков В.А.**

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

**Veretennikov V.N., Bolshakov V.A.**

Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

УДК 519.63

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ РЕШЕНИИ РАЗНОСТНОГО УРАВНЕНИЯ  
МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛЬНОЙ ПРОГОНКИ****COMPUTATIONAL EXPERIMENT IN SOLVING THE DIFFERENCE EQUATION BY THE  
METHOD OF ORTHOGONAL SWEEP**

**Аннотация:** Рассматривается метод ортогональной прогонки численного решения краевой задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка методом сеток. Проводятся вычислительные эксперименты по различной аппроксимации граничных условий и различного способа построения сеточной области. При практической оценке погрешности найденного решения используется двойной пересчет и правило Рунге.

**Abstract:** Describes a method of orthogonal sweep method for the numerical solution of boundary value problems for ordinary differential equations of second order by the method of grids. Conducted computational experiments on various approximations of boundary conditions and different ways to construct the region. In practical error, estimation of the solution using double counting and rule Runge.

**Ключевые слова:** краевая задача, метод сеток, вычислительный эксперимент, равномерная сетка, ряд Тейлора, расчетная точка, аппроксимация, разностное уравнение, сеточная функция, рекуррентные формулы, алгоритм, ортогональная прогонка, правило Рунге.

**Key words:** boundary value problem, grid method, computational experiment, uniform mesh, the Taylor series, the design point, approximation, differential equation, grid function, recurrence formula, the algorithm, orthogonal smoke, the rule Runge.

**Введение.** Краевые задачи часто возникают при изучении гидрометеорологических процессов и явлений (иногда в результате разделения переменных в уравнениях с частными производными)

**Цели и задачи.** Овладение практическими навыками численного решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений методом сеток. Закрепление теоретических знаний в области численных методов. Проведение вычислительных экспериментов по решению краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Закрепление навыков программирования и использование графических средств визуализации.

**Описание метода решения.** Рассмотрим метод сеток в применении к обыкновенному дифференциальному уравнению

$$p(x)y'' + q(x)y' + r(x)y = f(x) \quad a \leq x \leq b \quad (1)$$

Коэффициенты  $p(x)$ ,  $q(x)$ ,  $r(x)$  и правая часть  $f(x)$  считаются непрерывными на отрезке  $[a; b]$ , функция  $p(x)$  положительной. Для уравнения (1) рассматриваются три краевые задачи.

Первая краевая задача

$$\alpha_0 y(a) = \gamma_0, \alpha_1 y(b) = \gamma_1; \quad (2)$$

вторая краевая задача

$$\beta_0 y'(a) = \gamma_0, \beta_1 y'(b) = \gamma_1; \quad (3)$$

третья краевая задача

$$\alpha_0 y(a) + \beta_0 y'(a) = \gamma_0, \alpha_1 y(b) + \beta_1 y'(b) = \gamma_1, \quad (4)$$

$$|\alpha_0| + |\beta_0| > 0, |\alpha_1| + |\beta_1| > 0, \quad (5)$$

где  $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0, \alpha_1, \beta_1, \gamma_1$  – заданные постоянные.

Вопросы существования и единственности функции  $y(x)$  рассматриваются в курсе дифференциальных уравнений. Будем предполагать, что  $y(x)$  существует, единственна и существуют производные от  $y(x)$  достаточно высокого порядка.

Численное решение задачи состоит в нахождении приближенных значений  $y_0, y_1, \dots, y_n$  искомого решения  $y(x)$  в точках  $x_0, x_1, \dots, x_n$ .

Введём равномерную сетку точек  $x_k = x_0 + kh, h = \frac{b-a}{n}$  и обозначим

$$p(x_k) = p_k, q(x_k) = q_k, r(x_k) = r_k, f(x_k) = f_k, y(x_k) = y_k.$$

Воспользовавшись разложением  $y(x)$  в ряд Тейлора легко выводятся следующие формулы

$$y'(x) = \frac{y(x+h) - y(x-h)}{2h} + O(h^2), x \in [a+h; b-h], \quad (6)$$

$$y''(x) = \frac{y(x+h) - 2y(x) + y(x-h)}{h^2} + O(h^2), x \in [a+h; b-h]. \quad (7)$$

Используя формулы, можем для  $x \in [a+h; b-h]$  записать уравнение (1) в форме

$$p(x) \frac{y(x+h) - 2y(x) + y(x-h)}{h^2} + q(x) \frac{y(x+h) - y(x-h)}{2h} + r(x)y(x) + O(h^2) = f(x). \quad (8)$$

Если  $a \leq x_0, x_n \leq b$ , можем записать (8) для расчетной точки  $x = x_k$  ( $1 \leq k \leq n-1$ )

$$p_k \frac{y_{k+1} - 2y_k y_{k-1}}{h^2} + q_k \frac{y_{k+1} - y_{k-1}}{2h} + r_k y_k + O(h^2) = f_k. \quad (9)$$

Будем искать значения  $y_k$  для  $0 \leq k \leq n$ . Система (9) содержит  $n-1$  уравнений при числе неизвестных  $n+1$ . Недостающие два уравнения надлежит получить из граничных условий.

Рассмотрим первую краевую задачу. Примем, что  $x_0 = a$ . К уравнениям (9) добавим еще два  $\alpha_0 y_0 = \gamma_0, \alpha_1 y_n = \gamma_1$ .

Отбрасывая остаточные члены, получаем систему  $n+1$  уравнений с  $n+1$  неизвестными

$$p_k \frac{y_{k+1} - 2y_k y_{k-1}}{h^2} + q_k \frac{y_{k+1} - y_{k-1}}{2h} + r_k y_k = f_k \quad (1 \leq k \leq n-1),$$

$$\alpha_0 y_0 = \gamma_0, \alpha_1 y_n = \gamma_1. \quad (10)$$

В случае третьей краевой задачи (включаем сюда и вторую краевую задачу как частный случай), можно выбрать сеточную область таким же образом. Для записи производных  $y'(a)$  и  $y'(b)$ , фигурирующих в граничных условиях, используем соответственно правостороннюю и левостороннюю разностную производную. Отбрасывая остаточные члены, получаем разностную аппроксимацию исходной задачи

$$p_k \frac{y_{k+1} - 2y_k y_{k-1}}{h^2} + q_k \frac{y_{k+1} - y_{k-1}}{2h} + r_k y_k = f_k \quad (1 \leq k \leq n-1),$$

$$\alpha_0 y_0 + \beta_0 \frac{y_1 - y_0}{h} = \gamma_0, \alpha_1 y_n + \beta_1 \frac{y_n - y_{n-1}}{h} = \gamma_1. \quad (11)$$

Перепишем систему (11) следующим образом

$$\begin{aligned} \alpha_{01}y_0 + \beta_{01}y_1 &= \gamma_{01}, \\ p_k \frac{y_{k+1} - 2y_k y_{k-1}}{h^2} + q_k \frac{y_{k+1} - y_{k-1}}{2h} + r_k y_k &= f_k \quad (1 \leq k \leq n-1), \\ \alpha_{11}y_{n-1} + \beta_{11}y_n &= \gamma_{11}, \end{aligned} \tag{12}$$

где

$$\begin{aligned} \alpha_{01} &= \alpha_0 - \beta_0/h, \beta_{01} = \beta_0/h, \gamma_{01} = \gamma_0, \alpha_{11} = -\beta_1/h, \beta_{11} = \alpha_1 + \beta_1/h, \gamma_{11} = \gamma_1, \\ A_k &= p_k/h^2 - q_k/(2h), B_k = r_k - 2p_k/h^2, C_k = p_k/h^2 + q_k/(2h), \\ \alpha_{01}^2 + \beta_{01}^2 &= 1, \alpha_{11}^2 + \beta_{11}^2 = 1, A_k \cdot C_k \neq 0. \end{aligned}$$

Будем искать решение системы (12) методом ортогональной прогонки [1, 2]. Введем в рассмотрение новые неизвестные величины  $\varphi_k, u_k, v_k$ , определяемые соотношениями

$$u_k = y_k \sin \varphi_k + y_{k-1} \cos \varphi_k, \tag{13}$$

$$v_k = y_k \cos \varphi_k - y_{k-1} \sin \varphi_k \tag{14}$$

и системой уравнений (12). Очевидно, что

$$y_k = u_k \sin \varphi_k + v_k \cos \varphi_k, \tag{15}$$

$$y_{k-1} = u_k \cos \varphi_k - v_k \sin \varphi_k. \tag{16}$$

Используя формулы (12) - (16), запишем разностные уравнения для сеточных функций  $u_k$  и  $v_k$ :

$$u_{k+1} = \frac{1}{\rho_k} \left( \frac{A_k}{C_k} u_k + \frac{f_k}{C_k} \sin \varphi_{k+1} \right), \tag{17}$$

$$v_k = \frac{1}{\rho_k} \left( v_{k+1} + (\sin \varphi_{k+1} \sin \varphi_k + \cos \varphi_{k+1} / C_k (A_k \cos \varphi_k + B_k \sin \varphi_k)) u_k \right) - f_k / C_k \cos \varphi_k, \tag{18}$$

где

$$\rho_k = \left( \cos^2 \varphi_k + \frac{1}{C_k^2} (A_k \sin \varphi_k - B_k \cos \varphi_k)^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \tag{19}$$

Величины  $\sin \varphi_k, \cos \varphi_{k+1}$  определяются из условия

$$\cos \varphi_k \cos \varphi_{k+1} + \frac{1}{C_k} (A_k \sin \varphi_k - B_k \cos \varphi_k) \sin \varphi_k = 0,$$

которое получено из требования чтобы правая часть уравнения (17) не содержала значений сеточной функции  $v_k$ . Из этого условия выводятся следующие рекуррентные формулы:

$$\begin{aligned} \sin \varphi_{k+1} &= -\cos \varphi_k / \rho_k, \\ \cos \varphi_{k+1} &= (\sin \varphi_k \cdot A_k / C_k - \cos \varphi_k \cdot B_k / C_k) / \rho_k. \end{aligned} \tag{20}$$

Здесь  $\rho_k \neq 0$  из-за предположения  $A_k C_k \neq 0$ .

Для вычисления по формулам (17), (18) и (20) надо подсчитать начальные значения  $\sin \varphi_1, \cos \varphi_1, u_1, v_n$ . С этой целью подставим в условие  $\alpha_{01}y_0 + \beta_{01}y_1 = \gamma_{01}$  значение  $y_0$ , определяемое по формуле (16) при  $k = 1$ , и  $y_1$ , определяемое по формуле (15) при  $k = 1$ . Получим

$$u_1(\alpha_{01} \cos \varphi_1 + \beta_{01} \sin \varphi_1) + v_1(\beta_{01} \cos \varphi_1 - \alpha_{01} \sin \varphi_1) = \gamma_{01}. \quad (21)$$

Поскольку необходимо определить  $u_i$  и  $v_{n-i}$ , то в формуле (21)  $v_1$  можно считать произвольным. Чтобы исключить влияние  $v_1$ , положим в формуле (21)

$$\beta_{01} \cos \varphi_1 - \alpha_{01} \sin \varphi_1 = 0.$$

Можно считать, что

$$\sin \varphi_1 = \beta_{01}, \cos \varphi_1 = \alpha_{01}. \quad (22)$$

Теперь из (21) получим

$$u_1 = \gamma_{01}, \quad (23)$$

ибо по предположению  $\alpha_{01}^2 + \beta_{01}^2 = 1$ .

Таким образом, используя формулы (20), (22) и (17), (23), можно последовательно вычислить

$$\sin \varphi_1, \sin \varphi_2, \dots, \sin \varphi_n; \cos \varphi_1, \cos \varphi_2, \dots, \cos \varphi_n; u_1, u_2, \dots, u_n$$

Положим в формуле (13)  $k = n$ :

$$y_n \sin \varphi_n + y_{n-1} \cos \varphi_n = u_n. \quad (24)$$

Используя второе граничное условие  $\alpha_{11}y_{n-1} + \beta_{11}y_n = \gamma_{11}$  и полагая

$$\Delta = \alpha_{11} \sin \varphi_n - \beta_{11} \cos \varphi_n \neq 0,$$

Получим

$$y_{n-1} = (\gamma_{11} \sin \varphi_n - \beta_{11} u_n) / \Delta,$$

$$y_n = (\alpha_{11} u_n - \gamma_{11} \cos \varphi_n) / \Delta.$$

Подставим эти значения в формулу (16), положив в ней  $k = n$ . Получим

$$v_n = (-\lambda_{11} + u_n(\alpha_{11} \cos \varphi_n + \beta_{11} \sin \varphi_n)) / \Delta. \quad (25)$$

Значения  $v_n, v_{n-1}, \dots, v_1$  могут быть вычислены по формулам (18) и (25) при  $n - 1 \geq k \geq 1$ .

Таким образом, можно сформулировать алгоритм метода ортогональной прогонки.

1. Используя формулы (20), (22) и (17), (23), последовательно вычисляем

$$\sin \varphi_k, \cos \varphi_k, u_k, \quad 1 \leq k \leq n.$$

2. После проверки условия  $\Delta \neq 0$  (и в случае его выполнения) по формулам (18), (25) вычисляем значения  $v_n, v_{n-1}, \dots, v_1$ .

3. По формуле (15) при  $k = n$  и по формуле (16) при  $k = 1$  вычисляем соответственно  $y_n$  и  $y_0$ . Другие значения  $y_1, y_2, \dots, y_{n-1}$ , искомого решения системы уравнений (12) можно вычислять по любой из формул (15), (16).

Отметим следующие свойства метода ортогональной прогонки, важные в вычислительном смысле.

- Все формулы, по которым ведутся вычисления, являются рекуррентными, и потому они просто программируются.
- Вычисление величин  $\sin \varphi_k, \cos \varphi_k$  удобно в смысле медленного накопления погрешностей округления из-за свойства  $|\sin \varphi_k| \leq 1, |\cos \varphi_k| \leq 1$ .

- Благоприятным в смысле накопления погрешностей округления является и процесс вычисления величин  $u_k$  и  $v_k$ , так как при  $\Delta \neq 0$  имеем

$$u_k^2 + v_k^2 = y_k^2 + y_{k-1}^2.$$

Значит, сеточные функции  $u_k$  и  $v_k$  по своей величине такие же, как и искомое решение системы уравнений (12).

Описанный алгоритм реализован в виде программы на Турбо-Паскале, предназначенной для решения краевой задачи для линейного дифференциального уравнения 2-го порядка. Программа дает возможность проведения вычислительного эксперимента для различной аппроксимации 1-ой производной в уравнении и граничных условиях исходной задачи.

*Входные параметры:*  $a, b$  - значения левого и правого концов отрезка  $[a; b]$ ;

$a_0, b_0, g_0$ , - константы, входящие в граничные условия на левом конце отрезка  $[a; b]$ ;  $a_1, b_1, g_1$  - константы, входящие в граничное условие на правом конце отрезка  $[a; b]$ ;  $Px, Qx, Rx, Fx$ , - имя функций, вычисляющих значения функций  $p(x), q(x), r(x), f(x)$ ;  $N$  - число частей, на которое делится отрезок  $[a; b]$  узлами сетки;  $U, V, Sfi, Cfi$  - рабочие массивы, размерности  $N + 1$  каждый.

*Выходные параметры:*  $Y$  - массив из  $N + 1$  чисел, содержащий вычисленное приближенное значение решения  $y(x)$  исходной задачи в узлах сетки.

Перед обращением к программе необходимо:

- 1) Составить функции (*FUNCTION*)  $Px, Qx, Rx, Fx$  вычисления коэффициентов уравнения  $p(x), q(x), r(x), f(x)$ ;
- 2) Присвоить фактические значения параметрам  $a, b, a_0, b_0, g_0, a_1, b_1, g_1, N$ .

**Пример 1.** Найти решение краевой задачи

$$x^2 y'' - 3xy' + 4y = 0.5x^3, 1 \leq x \leq 4,$$

$$y(1) = 0.5, \quad y(4) = 0.$$

*Решение.* Здесь  $p(x) = x^2, q(x) = -3x, r(x) = 4, f(x) = 0.5x^3,$   
 $\alpha_0 = 1, \beta_0 = 0, \gamma_0 = 0.5, \alpha_1 = 1, \beta_1 = 0, \gamma_1 = 0.$

Необходимо заметить, что в программе предусмотрена нормализация коэффициентов системы (12)  $A_k, B_k, C_k, \alpha_{01}, \beta_{01}, \alpha_{11}, \beta_{11}$  и правых частей  $f_k, \gamma_{01}, \gamma_{11}$ .

В результате вычислений по программе получены следующие результаты, записанные в таблице 1. В этой же таблице приводятся для сравнения значения точного решения данной задачи.

При практической оценке погрешности найденного решения обычно используют двойной пересчет и правило Рунге. Если  $y(x_k)$  - точное значение решения в узле  $x_k$ , а  $y_k^{(1)}$  и  $y_k^{(2)}$  - приближенные значения решения в том же узле, полученные соответственно с шагом  $h = 0.3$  и  $\frac{h}{2}$ , то оценка погрешности решения  $y_k^{(2)}$  определяется формулой  $\epsilon_k = |y_k^{(2)} - y(x_k)| \approx |y_k^{(1)} - y_k^{(2)}|/3.$

Эта оценка для каждого шага также приведена в таблице 1.

Таблица 1

$k$	$x_k$	$y_k^{(1)}$	$y_k^{(2)}$	$\epsilon_k^{(1)}$	$\epsilon_k^{(2)}$	$y(x_k)$
0	1.0	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000	0.5000
1	1.3	0.4352	0.5119	0.0052	0.0143	0.4588
2	1.6	0.3809	0.4870	0.0157	0.0432	0.3121
3	1.9	0.2395	0.3687	0.0334	0.0669	0.0866
4	2.2	-0.0390	0.1859	0.0471	0.0853	-0.1815
5	2.5	-0.1859	-0.0286	0.0558	0.0967	-0.4496
6	2.8	-0.3930	-0.2347	0.0582	0.0994	-0.6697
7	3.1	-0.5334	-0.3856	0.0539	0.0992	-0.7906
8	3.4	-0.5536	-0.4295	0.0680	0.0750	-0.7576
9	3.7	-0.3960	-0.3107	0.0246	0.0468	-0.5137
10	4.0	0.0000	0.0300	0.0000	0.0008	0.0000

Рассмотрим еще один способ построения сеточной области.

Изберем  $h = \frac{b-a}{n-1}$  и положим  $x_0 = a - \frac{h}{2}$ . Тогда  $x_1 = a + \frac{h}{2}, \dots, x_n = b + \frac{h}{2}$ .

Концы промежутка  $a$  и  $b$  не принадлежат более сетке. Функцию  $y(x)$ , подставляемую в левую часть уравнения (1), распространяем с сохранением гладкости на промежуток  $\left[ a - \frac{h}{2}; b + \frac{h}{2} \right]$ .

Тогда уравнения (9) могут быть вновь написаны для  $1 \leq k \leq n - 1$ . Граничные условия теперь имеют более сложный вид. Используя формулу (6) с заменой  $h$  на  $\frac{h}{2}$ , получаем

$$y'(a) = \frac{y_1 - y_0}{h} + O(h^2), \quad y'(b) = \frac{y_n - y_{n-1}}{h} + O(h^2). \quad (26)$$

Формулы (26) удобны тем, что в правых частях фигурируют значения  $y$  лишь в узлах сетки. Однако в случае 3-й краевой задачи появляется новая трудность, так как требуется написать  $y(a)$  и  $y(b)$ , причем  $a$  и  $b$  не принадлежат сетке. Приходится прибегнуть к приближенным представлениям

$$y(a) = (y_0 + y_1)/2 + O(h^2), \quad y(b) = (y_n + y_{n-1})/2 + O(h^2).$$

Теперь граничные условия (4) записываются в форме

$$\alpha_0 \frac{y_0 + y_1}{2} + \beta_0 \frac{y_1 - y_0}{h} = \gamma_0 + O(h^2), \quad \alpha_0 \frac{y_n + y_{n-1}}{2} + \beta_0 \frac{y_n - y_{n-1}}{h} = \gamma_1 + O(h^2).$$

Отбрасывая остаточные члены, получаем систему

$$p_k \frac{y_{k+1} - 2y_k y_{k-1}}{h^2} + q_k \frac{y_{k+1} - y_{k-1}}{2h} + r_k y_k = f_k \quad (1 \leq k \leq n - 1),$$

$$\alpha_0 \frac{y_0 + y_1}{2} + \beta_0 \frac{y_1 - y_0}{h} = \gamma_0, \quad \alpha_0 \frac{y_n + y_{n-1}}{2} + \beta_0 \frac{y_n - y_{n-1}}{h} = \gamma_1. \quad (27)$$

В данном случае

$$\alpha_{01} = \alpha_0/2 - \beta_0/h, \quad \beta_{01} = \alpha_0/2 + \beta_0/h, \quad \gamma_{01} = \gamma_1,$$

$$\alpha_{11} = \alpha_1/2 - \beta_1/h, \quad \beta_{11} = \alpha_1/2 + \beta_1/h, \quad \gamma_{11} = \gamma_1,$$

**Пример 2.** Найти приближенное решение краевой задачи

$$y'' - 2xy' - 2y = -4x, \quad 0 \leq x \leq 1,$$

$$y(0) - y'(0) = 0, \quad y(1) = 1 + e$$

на равномерной сетке.

*Решение.* Здесь  $p(x) = 1, q(x) = -2x, r(x) = -2, f(x) = -4x,$

$$\alpha_0 = 1, \beta_0 = -1, \gamma_0 = 0, \alpha_1 = 1, \beta_1 = 0, \gamma_1 = 1 + e.$$

Результаты вычислений записаны в таблице 2.

В столбцах с 3 по 6 приведены результаты вычислительного эксперимента по различной аппроксимации граничных условий.

Для аппроксимации краевых условий кроме формул правосторонней и левосторонней разностных производных (столбец 3,  $y_k^{(1)}$ ) можно поступить следующим образом. Пусть  $y(x)$  – решение исходной краевой задачи. Так как

$$y_1 = y(x_0 + h) = y_0 + hy'_0 + h^2/2 \cdot y''_0 + O(h^3), \quad \text{где } y'_0 = y'(x_0), y''_0 = y''(x_0), \text{ то}$$

$$y'_0 = (y_1 - y_0)/h - h/2 \cdot y''_0 + O(h^2) \quad (28)$$

или, более грубо,

$$y'_0 = (y_1 - y_0)/h + O(h). \tag{29}$$

Принимая во внимание, что  $y(x)$  удовлетворяет уравнению (1), можем написать следующее равенство  $y''_0 = (f_0 - q_0 y'_0 - r_0 y_0)/p_0$ .

Подставив найденное выражение  $y''_0$  в (28), а затем полученное  $y'_0$  – в первое краевое условие (4), получим следующее соотношение  $\alpha_{01} y_0 + \beta_{01} y_1 = \gamma_{01} + O(h^2)$ ,

где 
$$\alpha_{01} = \alpha_0 + \omega_0 \delta_0, \beta_{01} = \omega_0/h, \gamma_{01} = \gamma_0 + \omega_0 h/2 \cdot f_0/p_0,$$

$$\omega_0 = \beta_0/(1 - h/2 \cdot q_0/p_0), \delta_0 = h/2 \cdot r_0/p_0 - 1/h.$$

Аналогично, используя уравнение (1) и второе краевое условие (4), находим

$$\alpha_{11} y_{n-1} + \beta_{11} y_n = \gamma_{11} + O(h^2),$$

где 
$$\omega_n = \beta_1/(1 + h/2 \cdot q_n/p_n), \delta_n = 1/h - h/2 \cdot r_n/p_n.$$

Если использовать (29), то имеем

$$y''_0 = (f_0 - q_0(y_1 - y_0)/h - r_0 y_0)/p_0 + O(h).$$

Соответственно имеем

$$\omega_0 = \beta_0(1/h + q_0/2/p_0), \delta_0 = \beta_0 h/2/p_0,$$

$$\omega_n = \beta_1(1/h - q_n/2/p_n), \delta_n = \beta_1 h/2/p_n.$$

Тогда результат вычислительного эксперимента (столбец 4,  $y_k^{(2)}$ ) формула (28); (столбец 5,  $y_k^{(3)}$ ) формула (29); (столбец 6,  $y_k^{(4)}$ ) формула (26). В столбце 7 приведены значения точного решения задачи  $y(x) = x + e^{x^2}$ .

Таблица 2

$k$	$x_k$	$y_k^{(1)}$	$y_k^{(2)}$	$y_k^{(3)}$	$y_k^{(4)}$	$y(x_k)$
0	0.0	0.9955	0.9512	0.9512	0.9416	1.0000
1	0.1	1.0951	1.0558	1.0558	1.0473	1.1100
2	0.2	1.2198	1.1854	1.1854	1.1761	1.2408
3	0.3	1.3696	1.3396	1.3396	1.3296	1.3942
4	0.4	1.5477	1.5217	1.5217	1.5111	1.5735
5	0.5	1.7591	1.7369	1.7369	1.7259	1.7840
6	0.6	2.0112	1.9929	1.9929	1.9815	2.0333
7	0.7	2.3148	2.3004	2.2891	2.3305	2.3323
8	0.8	2.6850	2.6977	2.6747	2.6747	2.6965
9	0.9	3.1428	3.1486	3.1373	3.1279	3.1479
10	1.0	3.7183	3.7183	3.7183	3.7183	3.7183

В таблице 3 приведены приближенные оценки погрешности значений  $y_k^{(i)}$  по правилу Рунге в каждом узле, полученные с шагами  $h = 0.1$  и  $h/2$  соответственно.

Таблица 3

$k$	$x_k$	$\varepsilon_k^{(1)}$	$\varepsilon_k^{(2)}$	$\varepsilon_k^{(3)}$	$\varepsilon_k^{(4)}$
0	0.0	0.0001	0.0076	0.0076	0.0100
1	0.1	0.0020	0.0087	0.0087	0.0109
2	0.2	0.0031	0.0090	0.0090	0.0113
3	0.3	0.0037	0.0088	0.0088	0.0113
4	0.4	0.0039	0.0081	0.0081	0.0110
5	0.5	0.0038	0.0076	0.0076	0.0104
6	0.6	0.0033	0.0065	0.0065	0.0093



7	0.7	0.0026	0.0051	0.0051	0.0079
8	0.8	0.0016	0.0034	0.0034	0.0061
9	0.9	0.0007	0.0016	0.0016	0.0040
10	1.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017

Анализ результатов вычислительного эксперимента позволяет сделать выводы и об аппроксимационных свойствах схемы и о выборе сеточной области.

Пример 3. Найти приближенное решение краевой задачи

$$y'' + e^x y' + xy/2 = x^2, 0.1 \leq x \leq 1.1,$$

$$y(0.1) - 1.2y'(0.1) = 0, 2y(1.1) - 2.5y'(1.1) = -4$$

на равномерной сетке.

*Решение.* Здесь  $p(x) = 1, q(x) = e^x, r(x) = x/2, f(x) = x^2,$

$$\alpha_0 = 1, \beta_0 = -1.2, \gamma_0 = 0, \alpha_1 = 2, \beta_1 = -2.5, \gamma_1 = -4.$$

Результат вычислительного эксперимента по различной аппроксимации граничных условий: (столбец 3,  $y_k^{(1)}$ ) по односторонним разностным производным; (столбец 4,  $y_k^{(2)}$ ) формула (28); (столбец 5,  $y_k^{(3)}$ ) формула (29); (столбец 6,  $y_k^{(4)}$ ) формула (26).

Таблица 4

$k$	$x_k$	$y_k^{(1)}$	$y_k^{(2)}$	$y_k^{(3)}$	$y_k^{(4)}$
0	0.1	-1.3046	-1.3167	-1.3153	-1.2779
1	0.2	-1.4134	-1.4201	-1.4188	-1.3715
2	0.3	-1.4961	-1.4984	-1.4974	-1.4461
3	0.4	-1.5655	-1.5640	-1.5631	-1.5082
4	0.5	-1.6211	-1.6163	-1.6156	-1.5578
5	0.6	-1.6629	-1.6554	-1.6547	-1.5944
6	0.7	-1.6908	-1.6809	-1.6803	-1.6181
7	0.8	-1.7047	-1.6930	-1.6926	-1.6289
8	0.9	-1.7053	-1.6921	-1.6917	-1.6271
9	1.0	-1.6930	-1.6787	-1.6784	-1.6134
10	1.1	-1.6689	-1.6538	-1.6535	-1.5884

В таблице 5 приведены приближенные оценки погрешности значений  $y_k^{(i)}$  по правилу Рунге в каждом узле, полученные с шагами  $h = 0.1$  и  $\frac{h}{2}$  соответственно.

Таблица 5

$k$	$x_k$	$\mathcal{E}_k^{(1)}$	$\mathcal{E}_k^{(2)}$	$\mathcal{E}_k^{(3)}$	$\mathcal{E}_k^{(4)}$
0	0.1	0.0095	0.0108	0.0104	0.0054
1	0.2	0.0125	0.0128	0.0124	0.0054
2	0.3	0.0124	0.0119	0.0115	0.0038
3	0.4	0.0123	0.0110	0.0108	0.0024
4	0.5	0.0122	0.0104	0.0101	0.0012
5	0.6	0.0122	0.0099	0.0096	0.0003
6	0.7	0.0123	0.0095	0.0093	0.0004
7	0.8	0.0123	0.0094	0.0092	0.0007
8	0.9	0.0128	0.0094	0.0093	0.0009
9	1.0	0.0131	0.0096	0.0095	0.0008
10	1.1	0.0136	0.0099	0.0098	0.0005

Анализ результатов вычислительного эксперимента позволяет сделать выводы и об аппроксимационных свойствах схемы и о выборе сеточной области.

**Библиографический список:**

1. Годунов С.К. Метод ортогональной прогонки для решения системы разностных уравнений. ЖМВ и МФ. – 1962. – Т.2, № 6.
2. Веретенников В.Н., Большаков В.А. Решение разностного уравнения методом прогонки (вычислительные эксперименты). ЕНЖ Точная наука. Кемерово. 2019. – Вып № 59

**Мирославский Дмитрий Евгеньевич**  
**Miroslavskiy Dmitriy Evgenievich**  
 Ведущий инженер-конструктор  
 АО «Равенство», Санкт-Петербург

УДК 681.53

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НЕ МИНИМАЛЬНО-ФАЗОВОГО  
 АСТАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ**

**DESIGN OF THE REGULATOR FOR A NON-MINIMUM PHASE ASTATIC OBJECT WITH  
 DELAY IN THE CONTROL CIRCUIT**

**Аннотация:** в статье описан метод проектирования регулятора для объекта с задержкой реакции на управляющее воздействие, имеющего в составе не минимально-фазовое звено и обладающего астатизмом второго порядка. Синтез регулятора выполнен на основе метода характеристических коэффициентов, устанавливающего связь между параметрами системы и ее качественными характеристиками. Приводятся результаты сравнения характеристик системы с синтезированным регулятором и предлагаемым для подобных систем адаптивным регулятором.

**Annotation:** the article describes a method for designing a controller for an object with a delayed response to a control action that has a non-minimum phase link and has second-order astaticism. The synthesis of the controller is based on the method of characteristic coefficients, which establishes a relationship between the parameters of the system and its qualitative characteristics. The results of comparing the characteristics of a system with a synthesized controller and the adaptive controller proposed for such systems are presented.

**Ключевые слова:** замкнутая автоматическая система, пид-регулятор, характеристические коэффициенты, качественные характеристики, передаточная функция, переходный процесс, не минимально-фазовый объект, запаздывание по управлению, астатизм второго порядка.

**Keywords:** closed automatic system, pid controller, characteristic coefficients, qualitative characteristics, transfer function, transient, non-minimal-phase object, control delay, second-order astaticism.

Системам управления промышленными объектами часто приходится функционировать в достаточно сложных условиях, обусловленных изменениями режимов и динамики работы оборудования, присутствием неконтролируемых возмущений, наличием запаздывания в контуре управления. Особо выделяются случаи, когда объект управления обладает астатизмом первого, а то и второго порядка. Некоторые объекты помимо перечисленных свойств, усложняющих проектирование регуляторов, могут содержать в своем составе не минимально-фазовые звенья. В [1] рассматривается один из вариантов построения адаптивной системы регулирования для котлоагрегата высокого давления, в котором требуется поддерживать заданный уровень воды. Объект обладает астатизмом второго порядка, содержит не минимально-фазовое звено первого порядка и имеет запаздывание по управлению. В результате проведенных экспериментов по идентификации структуры и параметров объекта было определено, что обобщенный объект управления (совместно с исполнительным механизмом) достаточно точно может быть описан передаточной функцией (ПФ):

$$W_{obj}(p) = \frac{K_o(1 - b_1p)e^{-ph}}{p^2(a_1p + 1)}, \quad (1)$$

где  $K_o$  - обобщенный коэффициент усиления;  $h$ -среднее значение запаздывания;  $a_0$  и  $b_0$ -положительные числа. Априорная неопределенность параметров ПФ (1) получена в виде:

$$0,00015 < K_o < 0,0013; 7,3 < b_0 < 11,2; 0,09 < a_0 < 0,13; 5 < h < 15. \quad (2)$$

Проблема проектирования систем с запаздыванием заключается в том, что ПФ объекта не может быть представлена точным дробно-рациональным выражением, которым описываются ПФ традиционных линейных объектов. Чтобы преодолеть это препятствие, прибегают к различным способам аппроксимации звена запаздывания. Расчету регуляторов для систем с запаздыванием

посвящено много работ отечественных и зарубежных авторов. Основное внимание в этих работах уделяется применению ПИД-регуляторов и методам расчета их параметров. Методы, традиционно используемые для настроек ПИД-регуляторов, не обеспечивают получение в системе оптимальных качественных показателей. Тем более весьма проблематично применение известных способов настроек регуляторов для объектов с не минимально-фазовыми звеньями.

В предлагаемой статье рассмотрен подход к проектированию регулятора, отличный от традиционных. Он основан на анализе значений характеристических коэффициентов замкнутой системы [2, 3]. Данные коэффициенты позволяют установить взаимосвязь между параметрами системы и характером получаемого в ней переходного процесса.

Заменим в (1) трансцендентную ПФ звена чистого запаздывания дробно-рациональным выражением, известным как аппроксимация Паде второго порядка для экспоненты

$$e^{-ph} \approx \frac{h^2 p^2 - 6hp + 12}{h^2 p^2 + 6hp + 12}, \quad (3)$$

в итоге получим

$$W_{obj}(p) \approx \frac{K_o(1-b_1p)(h^2 p^2 - 6hp + 12)}{p^2(a_1p + 1)(h^2 p^2 + 6hp + 12)} = \frac{-g_3 p^3 + g_2 p^2 - g_1 p + g_0}{q_5 p^5 + q_4 p^4 + q_3 p^3 + q_2 p^2} \quad (4)$$

Нетрудно установить, что применение простого ПИД-регулятора не позволит обеспечить замкнутой системе устойчивость. Анализ возможных вариантов показывает, что для управления объектом (4) достаточно применение регулятора с ПФ

$$W_r(p) = \frac{p}{(T_1 p + 1)} \frac{p}{(T_2 p + 1)} \left( \frac{T_d p}{(T_f p + 1)} + K_r + \frac{1}{T_i p} \right) = \frac{p}{(T_1 p + 1)} \frac{p}{(T_2 p + 1)} \frac{(T_d^* T_i p^2 + K_r^* T_i p + 1)}{T_i p (T_f p + 1)} \quad (5)$$

который представляет последовательное соединение реальных дифференцирующих звеньев и традиционного ПИД-регулятора. В ходе синтеза определению подлежат как параметры ПИД-регулятора, так и значения постоянных времени  $T_1$  и  $T_2$ . Связи между параметрами идеального и реального ПИД-регуляторов определяются соотношениями

$$\begin{aligned} T_d^* &= T_d + K_r T_f; K_r^* = K_r + T_f / T_1 \quad \text{и} \\ K_r &= K_r^* - T_f / T_1; T_d = T_d^* - K_r T_f \end{aligned} \quad (6)$$

Для придания универсальности процедуре проектирования и упрощения последующих расчетов целесообразно выполнить масштабирование ПФ объекта и регулятора с применением масштабных коэффициентов

$$p = s/h; m_{b_1} = b_1/h; m_{a_1} = a_1/h; m_1 = T_1/h; m_2 = T_2/h; m_f = T_f/h; m_i = T_i/h; m_d = T_d^*/h \quad (7)$$

Тогда (4) преобразуется к виду

$$W_{obj}(s) \approx \frac{K_o(1-m_{b_1}s)(s^2 - 6s + 12)}{(m_{a_1}s + 1)(s^2 + 6s + 12)(s/h)^2}, \quad (8)$$

а (5) – к виду

$$W_r(s) = \frac{s(m_d m_i s^2 + K_r^* m_i s + 1)}{m_i(m_f s + 1)(m_2 s + 1)(m_1 s + 1)h} \quad (9)$$

ПФ замкнутой системы определится выражением

$$\Phi(s) \approx \frac{K_o(1 - m_{b_1}s)(s^2 - 6s + 12)(m_d m_i s^2 + K_r^* m_i s + 1)}{Z(s)}, \quad (10)$$

где

$$Z(s) = m_i s(m_{a_1} s + 1)(s^2 + 6s + 12)(m_f s + 1)(m_2 s + 1)(m_1 s + 1) + K_o(1 - m_{b_1}s)(s^2 - 6s + 12)(m_d m_i s^2 + K_r^* m_i s + 1) \quad (11)$$

После раскрытия скобок соотношение (10) для ПФ замкнутой системы будет иметь вид

$$\Phi(s) \approx \frac{\sum_{j=0}^5 y_j s^j}{\sum_{k=0}^7 x_k s^k} \quad (12)$$

В соответствии с [2, 3] характеристические коэффициенты системы (12) определяются соотношениями

$$C_i = x_i / x_{i+1}; i = 0...6; \quad D_j = C_j / C_{j-1}; j = 1...6; \quad B_k = y_k / x_k; k = 0...5 \quad (13)$$

Для получения в проектируемой системе хороших качественных показателей в рассматриваемом случае достаточно обеспечить выполнение условий

$$D_1 = 2,4; D_2 = 2,04; D_3 \geq 2; D_i > 2 \text{ при } i > 3 \quad (14)$$

Искомые значения параметров регулятора  $m_d^*; K^*; m_i$  могут быть найдены из (13) с учетом соотношений (14). Но поскольку расчетная система уравнений будет нелинейной, найти аналитические выражения для определения искомых параметров регулятора вероятнее всего будет невозможно. Для преодоления возникшей проблемы воспользуемся расчетными конструкциями расширения Simulink математического пакета Matlab. Используем аппарат матричных вычислений для определения коэффициентов числителя и знаменателя ПФ замкнутой системы. Введем в рассмотрение матрицы параметров объекта и регулятора.

Для объекта

$$M_{Y1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -6 & 1 \\ 12 & -6 \\ 0 & 12 \end{bmatrix}; M_{Y2} = \begin{bmatrix} -K_0 m_{b_1} \\ K_0 \end{bmatrix}; M_{X1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 6 & 1 \\ 12 & 6 \\ 0 & 12 \end{bmatrix}; M_{X2} = \begin{bmatrix} \frac{m_{a_1}}{h^2} \\ 1 \\ \frac{1}{h^2} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Для регулятора

$$M_{Y3}^T = [m_d m_i \quad K_r^* m_i \quad 1 \quad 0]^T; \\ M_{X3} = \begin{bmatrix} m_1 m_2 & 0 \\ m_1 + m_2 & m_1 m_2 \\ 1 & m_1 + m_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; M_{X4} = \begin{bmatrix} m_i m_f h \\ m_i h \end{bmatrix} \quad (16)$$

Тогда векторы коэффициентов числителя и знаменателя ПФ объекта определяются выражениями

$$V_{Y_{obj}}^T = [M_{Y1} \times M_{Y2}]^T = [y_{o3} \quad y_{o2} \quad y_{o1} \quad y_{o0}]^T; \\ V_{X_{obj}}^T = [M_{X1} \times M_{X2}]^T = [x_{o3} \quad x_{o2} \quad x_{o1} \quad x_{o0}]^T. \quad (17)$$

Векторы коэффициентов числителя и знаменателя ПФ регулятора -

$$V_{Y_r}^T = M_{Y_3}^T = [m_d m_i \quad K_r^* m_i \quad 1 \quad 0]^T; \tag{18}$$

$$V_{X_r}^T = [M_{X_3} \times M_{X_4}]^T = [x_{r3} \quad x_{r2} \quad x_{r1} \quad x_{r0}]^T.$$

В результате векторы коэффициентов числителя и знаменателя ПФ замкнутой системы определяются из следующих соотношений

$$M_Y = \begin{bmatrix} V_{Y_{obj}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & V_{Y_{obj}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & V_{Y_{obj}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & V_{Y_{obj}} \end{bmatrix}; M_X = \begin{bmatrix} V_{X_{obj}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & V_{X_{obj}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & V_{X_{obj}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & V_{X_{obj}} \end{bmatrix}. \tag{19}$$

$$V_Y^T = [M_Y \times V_{Y_r}]^T; V_X^T = [M_X \times V_{X_r}]^T + V_Y^T$$

Выберем начальные приближения подлежащих определению коэффициентов регулятора. В соответствии с (15) - (19) произведем расчет коэффициентов характеристического полинома замкнутой системы. С помощью соотношений (13) определим коэффициенты  $D_x$ . Естественно, что полученные значения  $D_x$  вероятнее всего будут отличаться от значений, определяемых в соответствии с (14). Для коррекции искомым коэффициентов используем Simulink-блоки Algebraic Constraint.

На рисунке 1 представлена расчетная блок-схема Simulink модели, построенная в соответствии с описанным выше принципом. При расчетах был принят коэффициент эффективности дифференциатора  $T_d/T_f = 10$ . Блок «system» на рис.1 позволяет просмотреть вид переходной функции замкнутой системы. При неудовлетворительной форме всегда есть возможность ее модифицировать посредством коррекции свободно изменяемых параметров регулятора.

Из рис. 1 видно, что коэффициент  $D_5 = 1,398 < 2$ . Это не противоречит условиям (14), которые не являются необходимыми. Анализ показал, что при данном значении коэффициента  $D_5$  система будет устойчива, а переходная функция будет иметь хорошую форму. Длительность переходного процесса в системе при полученной реализацией регулятора составит

$$T_{0,95} = (T_{0,95}/C_0) * h = (1,385/0,3076) * 15 = 67,54 \text{ с.}$$

Показанный расчет регулятора был выполнен при наихудших значениях параметров объекта.

Проведем сравнительный анализ переходных процессов в проектируемой системе управления при различных значениях параметров объекта для системы с адаптивным регулятором, описанным в [1], и регулятором, полученным в данной работе. Расчетные значения параметров регулятора получены из модели на рис. 1. После выполнения процедуры обратного масштабирования будем иметь:

$$T_1 = 4,5; T_2 = 13,7; T_d = 2,8; T_f = 0,28; T_i = 45; K_r = 0,493 \tag{20}$$

Здесь и далее на рисунках диаграмма 1 соответствует переходному процессу в системе с адаптивным регулятором из [1], диаграмма 2 – системе с регулятором (5).

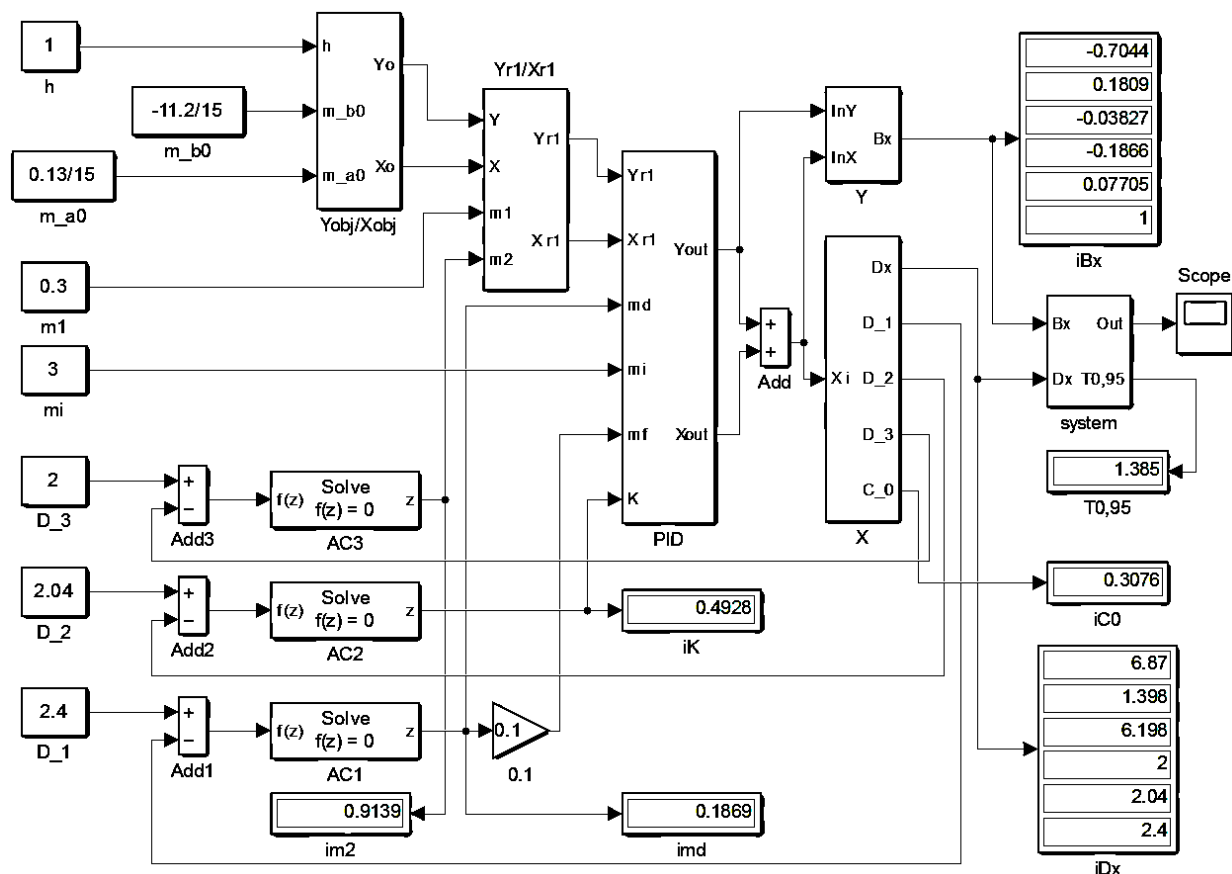


Рисунок 1. расчетная блок-схема эмпириск модели для определения параметров регулятора.

Вариант 1. Значения параметров объекта:  $K_0 = 0,0013$ ;  $b_0 = 11,2$ ;  $a_0 = 0,13$ ;  $h = 15$ . Временная диаграмма переходных процессов в системе для данного случая приведена на рис. 2.

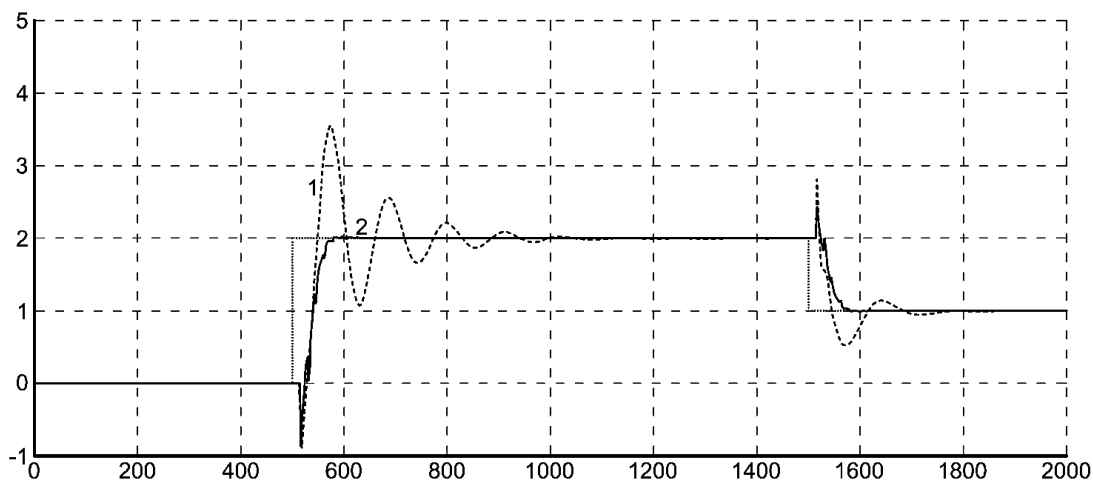


Рисунок 2. Временная диаграмма переходных процессов в системе для варианта 1 параметров объекта.

Вариант 2. Значения параметров объекта:  $K_0 = 0,001$ ;  $b_0 = 10,8$ ;  $a_0 = 0,09$ ;  $h = 10$ . Временная диаграмма переходных процессов в системе для данного случая приведена на рис. 3.

Вариант 3. Значения параметров объекта:  $K_0 = 0,001$ ;  $b_0 = 7,3$ ;  $a_0 = 0,05$ ;  $h = 5$ . Временная диаграмма переходных процессов в системе для данного случая приведена на рис. 4.

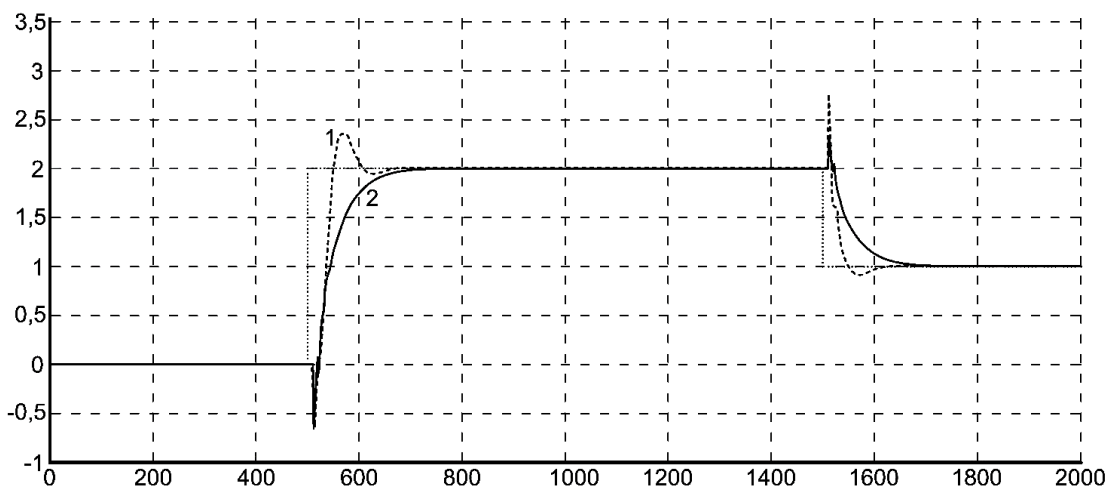


Рисунок 3. Временная диаграмма переходных процессов в системе для варианта 2 параметров объекта.



Рисунок 4. Временная диаграмма переходного процесса в системе для варианта 3 параметров объекта.

Вариант 4. Значения параметров объекта:  $K_0 = 0,00015$ ;  $b_0 = 7,3$ ;  $a_0 = 0,05$ ;  $h = 5$ . Временная диаграмма переходных процессов в системе для данного случая приведена на рис. 5.

На основе сравнения приведенных на рис. 2 – 5 графиков временных диаграмм можно сделать вывод, что система управления объектом (1) посредством регулятора (5), имеющим параметры (20), обеспечивает устойчивый процесс управления при изменении параметров объекта в заданных соотношениях (2) диапазонах. Качество процессов управления синтезированным регулятором существенно выше, чем предложенным в [1] адаптивным регулятором. Единственным недостатком нового регулятора является затягивание переходного процесса при существенном снижении коэффициента усиления  $K_0$  обобщенного объекта. В случае необходимости можно реализовать адаптацию общего коэффициента усиления регулятора к изменению коэффициента усиления объекта.

Необходимо также отметить, что резкое изменение величины уставки задания вызывает незначительные паразитные затухающие колебания уровня воды в агрегате. Для устранения этих колебаний целесообразно подавать сигнал задания на регулятор через низкочастотный фильтр первого порядка с постоянной времени 8 – 10 с.



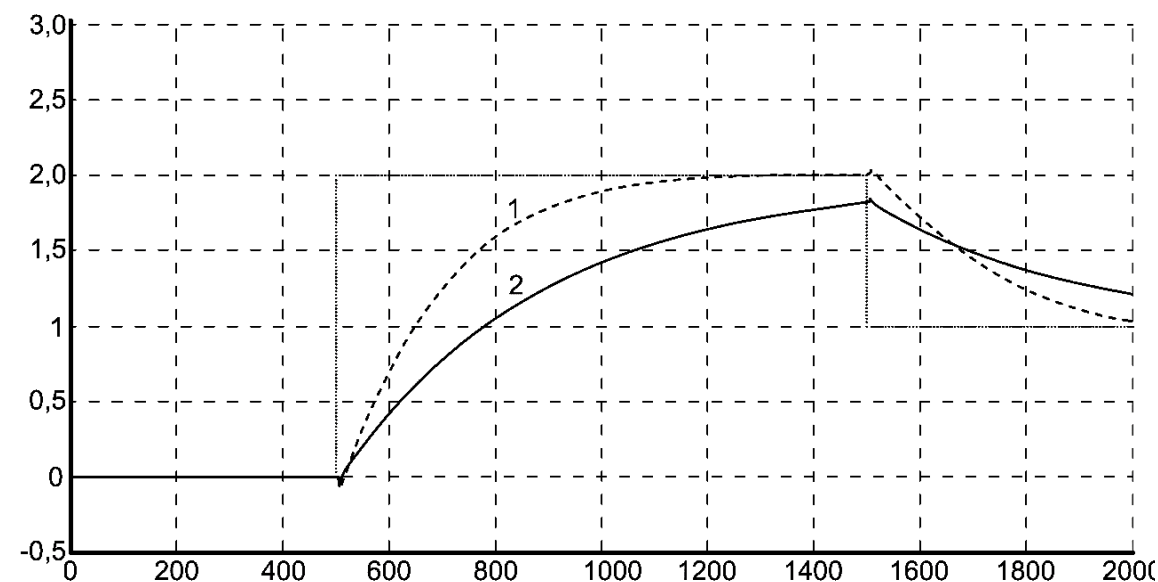


Рисунок 5. Временная диаграмма переходных процессов в системе для варианта 4 параметров объекта.

### Библиографический список:

1. Теличенко Д.А. Адаптивная система регулирования уровня воды в барабане парового котла высокого давления. Информатика и системы управления. 2015, №2 (44), с.110 – 120.

2. Мирославский Д.Е. Метод коэффициентов и его применение для оценки качества автоматических систем и проектирования регуляторов. Точная наука, выпуск № 45, с. 83 - 94, Кемерово, 2019.

3. Мирославский Д.Е. Применение метода коэффициентов для синтеза регуляторов автоматических систем. Итоги науки. Выпуск 18. – Избранные труды Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. - М.: РАН, 2015. – 231 с.

**Яковлева Анастасия Евгеньевна**  
**Yakovleva Anastasia Evgenievna**

Студентка магистратуры

ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет

УДК 004.056

## **МОНИТОРИНГ СОБЫТИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

### **INFORMATION SECURITY EVENT MONITORING**

**Аннотация:** Мониторинг событий информационной безопасности – это процесс проверки всех событий безопасности, получаемых от различных источников. Источниками могут быть журналы операционных систем, антивирусные системы, сетевое оборудование и др. источники. Целью мониторинга ресурсов является своевременное получение информации о текущем состоянии информационной инфраструктуры. Системы мониторинга событий позволяют анализировать сетевые приложения, оборудование и веб-сервисы, автоматизировать процесс управления уязвимостями и обеспечивать контроль соответствия политикам информационной безопасности, принятым в организации.

**Annotation:** Information security event monitoring is the process of verifying all security events received from various sources. Sources can be operating system logs, antivirus systems, network equipment, and other sources. The purpose of resource monitoring is to obtain timely information about the current state of the information infrastructure. Event monitoring systems allow you to analyze network applications, hardware and web services, automate the process of vulnerability management and ensure compliance with information security policies adopted in the organization.

**Ключевые слова:** Мониторинг, информационная безопасность, система мониторинга, система контроля эффективности сотрудников.

**Key words:** Monitoring, information security, monitoring system, employee efficiency control system.

Системы мониторинга событий состоят из 4х компонентов:

– *Программные агенты.* Они необходимы для обеспечения сбора информации, которая поступает от источников (программное обеспечение, средства защиты информации, аппаратные компоненты инфраструктуры);

– *Сервер.* Он аккумулирует информацию, которая поступает от программных агентов, и обрабатывает поступающие события на основе правил, которые были настроены администраторами безопасности компании;

– *Хранилище данных.* Все события безопасности, поступающие от агентов, передаются на хранение в хранилище данных. Администратор безопасности может обратиться к событиям, зарегистрированным в последние несколько недель или месяцев (в зависимости от размеров хранилища данных);

– *Консоль управления.* Это инструмент для настройки параметров обработки поступающих событий. В ней он может просматривать события информационной безопасности и обращаться к хранилищу данных.

При выборе системы мониторинга событий необходимо учитывать количество источников событий, которые могут обрабатываться системой мониторинга, возможности анализа событий выбранной системы мониторинга, удобство пользования системой мониторинга (возможности консоли управления, детализация параметров настройки системы мониторинга), а также возможности системы мониторинга по визуализации данных и построению отчетов.

Системы мониторинга событий делятся на:

– *SIEM* - системы для управления событиями с возможностью анализировать события в режиме реального времени.

– *UBA* - системы, которые осуществляют сбор и анализ действий пользователей для поиска возможных внутренних угроз и атак;

– *UEBA* - системы с функцией поиска аномалий в поведении сотрудников и различных систем;

– *Системы контроля эффективности сотрудников*, позволяющие анализировать действия пользователей на рабочем месте и контролировать их действия при работе с конфиденциальной информацией;

**1.** Термин SIEM впервые появился в 2005 году и подразумевал под собой систему сбора данных от устройств, размещенных в сети предприятия, и устройств безопасности, различных сервисов, предназначенных для управления учетной информацией и управления доступом, а также операционных систем, имеющих базы данных и установленных в сети приложений для отслеживания уязвимостей, и дальнейшего анализа полученных сведений. Таким образом, функции SIEM-систем сводятся к следующему:

– *Агрегация данных*. Вся информация о работе сетевых устройств, серверов, датчиков от систем безопасности, различных приложений поступает в журналы данных. SIEM-системы управляют такими журналами и помогают сотрудникам отдела информационной безопасности находить наиболее критичные события в инфраструктуре;

– *Корреляция*. SIEM-системы производят поиск общих значений и атрибутов и связывают между собой поступающие события. Таким образом, данные из разных источников, поступающие от устройств и сервисов, приводятся к единому виду для дальнейшего анализа;

– *Оповещение*. После того как система произвела анализ схожих между собой событий, она оповещает администратора безопасности о существующих проблемах в инфраструктуре. Способы оповещения могут быть различными (вывод тревог на панель мониторинга SIEM-системы, оповещение по электронной почте);

– *Панели мониторинга, или информационные панели*, которые представляют информацию о событиях в виде диаграмм и графиков. Возможность визуализации позволяет определить отклонения в поведении, которые различаются с типичным поведением различных систем;

– *Совместимость*. SIEM-системы внедряются в существующую в компании инфраструктуру и позволяют автоматически собирать информацию о событиях, формировать отчеты для собранных данных и применять их с целью управления безопасностью и проведения аудита. Хранение событий. Системы включают в себя хранилища информации, в которых хранятся события безопасности. Эти события могут сортироваться по времени, что позволяет производить экспертизы и расследование инцидентов;

– *Экспертный анализ*. SIEM-системы позволяют производить поиск по сохраненным событиям информационной безопасности, что также дает возможность проводить расследование инцидентов сетевой безопасности. Источниками данных для SIEM-систем обычно служат системы обнаружения и предотвращения вторжений, журналы серверов и пользовательских компьютеров, коммутаторы, маршрутизаторы, антивирусные платформы, системы удаленного доступа, а также файловые серверы.

**2.** Задачи, которые решают системы поведенческого анализа (UBA):

– *Обнаружение компрометации учетных записей*. Создание профиля каждого пользователя на основе его действий в системе. В случае компрометации учетных данных поведение злоумышленника будет резко отличаться от поведения владельца учетной записи. В данном случае системы анализа поведения будут сигнализировать об аномальном поведении;

– *Предотвращение утечки конфиденциальной информации*. Для решения этой задачи в организациях используют DLP-решения, которые отслеживают каналы утечки информации. Но в случае интеграции UBA с системами DLP решение самостоятельно проанализирует поведение пользователя и предупредит о возможной утечке (например, в случае внезапной отправки больших файлов через электронную почту или копирования данных на USB-носители);

– *Обнаружение подозрительного времени подключения*. Большинство сотрудников компаний работают по конкретному графику и приходят в одно и то же время, уходя точно в срок. Когда сотрудник является инсайдером и планирует скопировать важные сведения со своего компьютера для передачи третьим лицам, он может остаться на работе допоздна или прийти раньше начала рабочего дня, для того чтобы другие сотрудники не смогли обратить внимание на то, чем он занимается. Системы поведенческого анализа смогут отследить аномальную активность и передать данные сотруднику, ответственному за безопасность;

– *Обнаружение попыток совместного использования учетных записей*. Зачастую одни сотрудники делятся своими паролями с другими, например, в случае ухода в отпуск. Передача

учетных записей несет в себе определенные риски. В случае компрометации учетной записи невозможно будет отследить, кто ответственен за утечки конфиденциальной информации. В данном случае при получении данных из SIEM-систем и систем контроля доступа, решения UBA позволяют выявить факт нарушения правил использования учетных записей.

**3.** Системы UEBA крайне близки к решениям поведенческого анализа пользователей (UBA) и, по сути, являются их продолжением. Отличием этих систем друг от друга служит наличие в UEBA профилирования и анализа сущностей, под которыми понимаются приложения, системы хранения данных, сетевой трафик, устройства, серверы и данные. Помимо этого, системы UEBA позволяют решать проблемы не только внутренних утечек конфиденциальных данных, но и внешних целенаправленных на систему атак. Кроме того, системы UBA обычно реализованы в виде отдельных решений под определенные задачи. Они могут самостоятельно функционировать без интеграции с другими решениями, в то время как UEBA поставляются в рамках платформы и могут использовать данные других систем.

Задачи, которые решают системы анализа поведения пользователей и сущностей:

- Анализ больших массивов данных (может быть статистическая, расширенная, в режиме реального времени, либо запускаемая с определенной периодичностью).
- Идентификация и выявление целенаправленных атак, которые не могут быть найдены другими средствами, существующими на рынке информационной безопасности в настоящее время.
- Приоритизация событий, полученных из различных источников. Своевременная реакция на события и предоставление подробных сведений о пользователях и объектах, которые участвовали в аномальной активности.

**4.** Важной функцией систем контроля эффективности сотрудников является возможность видеозаписи всех действий пользователей, записи звука через микрофон компьютера и видео с веб-камер, сбора скриншотов экрана в разные промежутки времени, а также возможность удаленного подключения к рабочим местам сотрудников.

С точки зрения функциональности системы контроля эффективности сотрудников можно производить мониторинг трех компонентов: событий, информации, системы. К событиям относятся все действия пользователей, такие как клики мышкой, работа с приложениями, включение и отключение компьютера. К информации относится анализ информации, проходящей по различным каналам передачи данных. Мониторинг системы подразумевает возможность контроля аппаратной составляющей компьютера сотрудника, реестра программного обеспечения и используемых приложений.

Основными компонентами систем контроля эффективности сотрудников являются программные агенты, которые устанавливаются непосредственно на рабочие места, и сервер, который позволяет настраивать политики информационной безопасности, параметры отслеживания действий сотрудников, а также предоставляет возможность составления подробных отчетов по каждому сотруднику.

#### **Библиографический список:**

1. SIEM (Security information and event management) // URL: [https://ru.bmstu.wiki/SIEM \(Security information and event management\)](https://ru.bmstu.wiki/SIEM_(Security_information_and_event_management))
2. Критерии выбора: что включает в себя эффективная DLP-система // URL: <http://lib.itsec.ru/articles2/dlp/kriterii-vybora-cto-vklyuchaet-v-sebya-effektivnaya-dlp-sistema>

**Мордвинцев Дмитрий Олегович**  
**Mordvintsev Dmitriy Olegovich**

Ph.D., старший научный сотрудник лаборатории геофизики Института геологии и геофизики  
им. Х.М. Абдуллаева

E-mail: [dmitriymordvintsev@gmail.com](mailto:dmitriymordvintsev@gmail.com)

**Раджабов Шухрат Сайфуллаевич**  
**Radjabov Shuhrat Sayfullayevich**

д.г.-м.н., директор филиала КНОС в Ташкенте

E-mail: [radjabovs@mail.ru](mailto:radjabovs@mail.ru)

**Инатов Нурбек Комилджонович**  
**Inatov Nurbak Komoldjonovich**

м.н.с. отдела структуры литосферы Института геологии и геофизики им. Х.М. Абдуллаева

E-mail: [nurbek.inatov@gmail.com](mailto:nurbek.inatov@gmail.com)

**Сахобидинов Расул Исомидинович**  
**Sahobidinov Rasul Isomidinovich**

м.н.с. отдела структуры литосферы Института геологии и геофизики им. Х.М. Абдуллаева

E-mail: [rasul.saxobidinov@list.ru](mailto:rasul.saxobidinov@list.ru)

УДК. 550.832.4

## **ЭВОЛЮЦИЯ ВЗГЛЯДОВ НА СТРОЕНИЕ РЕЛЬЕФА ДОМЕЗОЗОЙСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ФЕРГАНСКОЙ ВПАДИНЫ**

## **THE EVOLUTION OF VIEWPOINTS TO THE RELIEF STRUCTURE OF THE FERGANA BASIN PREMESOZOIC SURFACE**

**Аннотация:** в статье рассматриваются различные взгляды на строение рельефа поверхности домезозоя Ферганской впадины, начиная от 70-х г.г. XX века до наших дней. Представленная в конце статьи структурная карта, построенная по данным геолого-геофизического моделирования, жестко привязана к скважинной информации, координатным осям, а также полностью отвечает построенным моделям. В таком формате для Ферганского региона строится впервые.

**Resume:** the different views to the Fergana basin premesozoic relief structure – from the 70-th of the XX century till nowadays – are considered in this article. The relief map, shown in the end of this paper, was created according to the geophysical modelling data, hardwired to the coordinate axes and drilling data and absolutely corresponds to models. This map is the first, in such precise format, for the Fergana basin.

**Ключевые слова:** Ферганская впадина, глубинное строение, домезозой, карта рельефа.

**Keywords:** Fergana basin, deep structure, pre-Mesozoic, relief map.

Ферганская межгорная впадина является одним из старейших нефтегазодобывающих регионов Центральной Азии. Несмотря на более чем вековую историю изучения, до сих пор существует множество вопросов, касательно её глубинного геологического строения. Исследование поверхности домезозойской формации – один из них. Изучая особенности морфологии любой поверхности, можно судить о причинах, приведших к формированию структур наблюдаемой формы и порядка. Тем самым проливая свет на неясности в истории геолого-тектонической эволюции региона.

На протяжении многих десятилетий, в процессе проведения геологоразведочных работ в Ферганском регионе, было построено множество схем и карт тектонического строения [1, 2, 3, 4]. Однако, большая их часть касалась структур осадочного чехла.

Одной из наиболее известных карт-схем такого рода являлась карта, построенная коллективом автором под руководством А.А. Абидова и Р.У. Каломазова в 1992 году [2]. Построенная по кровле палеогеновых отложений, данная очень хорошо отображает основные структурные элементы строения Ферганской межгорной впадины (рис. 1), такие как Центральный Грабен, Южный борт и Северный борт, названные авторами Южной и Северной ступенью, соответственно. Помимо этого,

выделяются переходные зоны между ступенями и грабеном, а также структуры более мелких порядков.

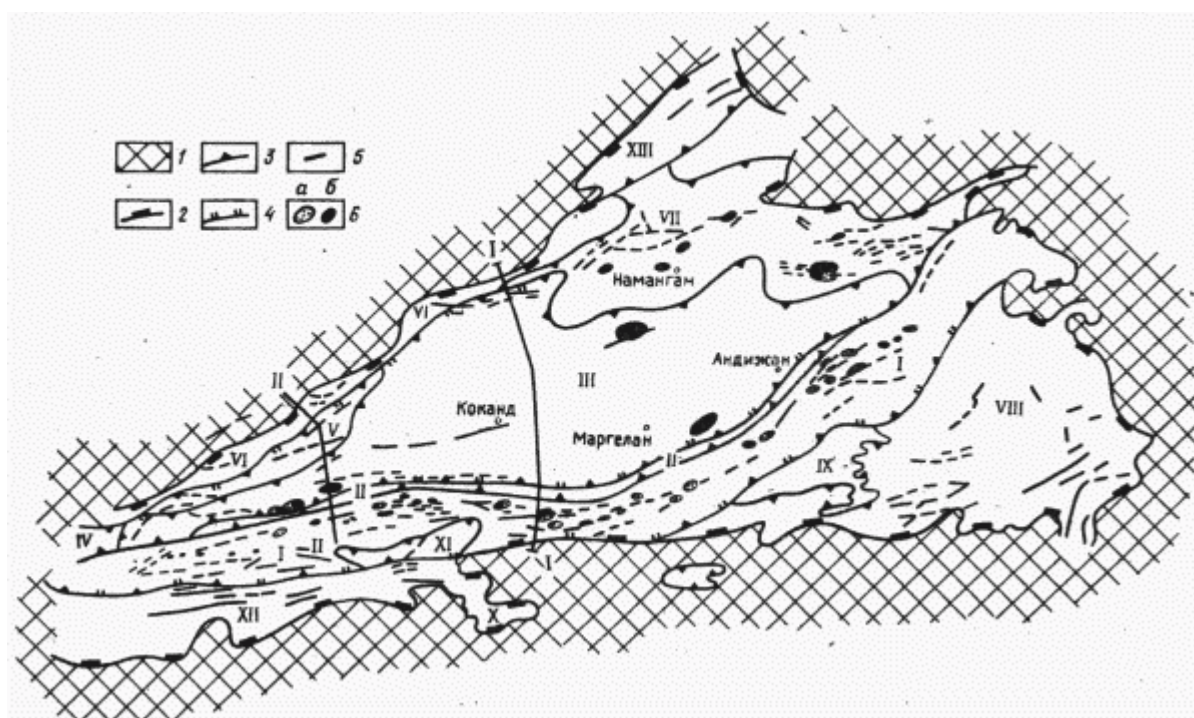


Рисунок 1. Схема геотектонического районирования осадочного чехла Ферганской межгорной впадины (А.А. Абидов, Р.У. Каломазов и др. [2]).

Условные обозначения: 1 – выходы на поверхность палеозойского фундамента; 2 – границы впадины; 3 – тектонические элементы II порядка и их границы: I – Южная ступень, II – Южный переходный пояс, III – Центрально-Ферганская мегасинклиналь, IV – Западно-Окраинная ступень, V – Ходжентская ступень, VI – Северный надвиговый пояс, VII – Майлису-Карагундайское поднятие, VIII – Алдыяр-Сугандинское поднятие; IX – Караван-Кокджарский прогиб, X – Букум-Хайдарконский прогиб, XI – Исфара-Ляканский прогиб, XII – Ляйлякский прогиб, XIII – Нанайский прогиб; 4 – региональные разломы; 5 – разрывные нарушения; 6 – месторождения нефти (а) и газа (б)

Для более глубокозалегающих поверхностей наиболее известной является карта тектонического районирования Ферганской впадины, разработанная под редакцией Б.Б. Таль-Вирского [1]. Эта карта была построена в 1970 г на основании данных интерпретации геофизических материалов (рис. 2). Она, хоть и являлась достаточно точной для своего времени, имела и ряд недостатков – часть домезозойского рельефа достраивалась путем трансформации вниз по разрезу, основываясь на данных для туркестанских слоев палеогена. Кроме того, в данном построении были достаточно слабо отражены тектоника и рельеф Центрального грабена. Тем не менее, эта карта довольно длительное время была основой для наших представлений о глубинном рельефе Ферганской впадины. Затем, в 2009-2013 гг. Мордвинцевым О.П. и Мордвинцевым Д.О. были проведены исследования, направленные на изучение глубинного строения Ферганской впадины [5, 6, 7, 8].

Первой, в 2009 году, на основании комплексной интерпретации геолого-геофизической информации была построена карта рельефа домезозойской поверхности Ферганской впадины в 1:500 000 масштабе (рис. 3).



Рисунок 2. Тектоническая карта Ферганской межгорной впадины под редакцией Б.Б. Таль-Вирского, 1970 г., [1].

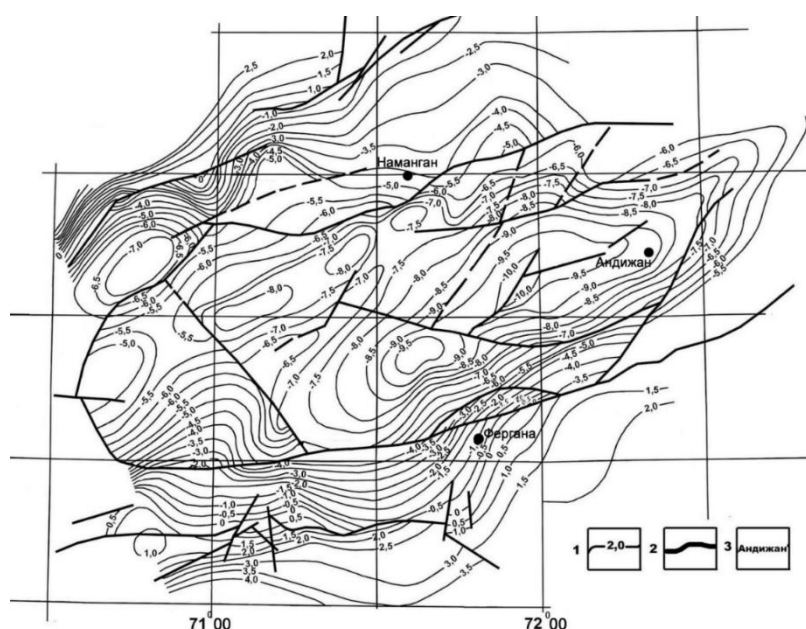


Рисунок 3. Структурная карта по кровле палеозойских образований (Мордвинцев Д.О., Мордвинцев О.П., 2009 г., [5]).

Условные обозначения: 1 – изогипсы поверхности палеозоя; 2 – разрывные нарушения; 3 – города.

Была установлена блоковая структура доюрской поверхности Северного и Южного бортов Ферганской впадины, а также Центрального грабена. Кроме того, была закартирована развитая сеть разрывных нарушений различных порядков. Наиболее погруженная часть впадины была выявлена на востоке, где фиксируются глубины в 10 км.

В 2011 году эти исследования были продолжены, но уж в 1:200 000 масштабе [6]. Геолого-геофизические модели, лежащие в основе построений, были существенно уточнены (рис. 4).

Так же, как и в предыдущих построениях, здесь отчетливо выделились бортовые зоны и Центральный грабен. Кроме того, более детальной получилась и сеть разрывных нарушений, формирующих блоковое строение поверхности палеозойских толщ Ферганской впадины.

Наиболее погруженная часть, как и в предыдущих работах, пришлось на восток впадины, где глубина залегания толщ домезозоя составила более 10 км.

В среднем же, по всей впадине, поверхность домезозоя фиксируется на глубинах от 5 до 7 км. Исключение составляют лишь бортовые зоны, где глубина залегания доюрских толщ существенно ниже, вплоть до выходов на дневную поверхность.

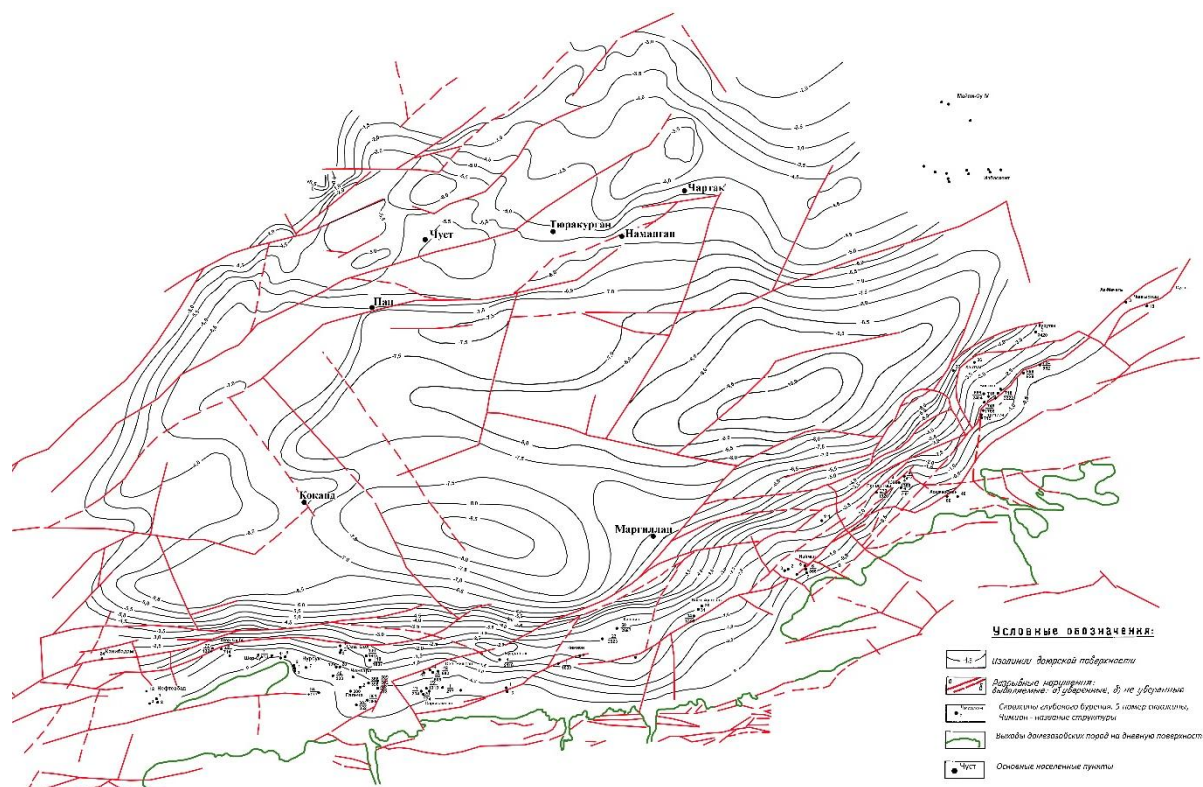


Рисунок 5. Карта рельефа домезозойской поверхности Ферганской впадины (Д.О. Мордвинцев, 2011, [6]).

Условные обозначения: 1 – Изолинии доюрской поверхности, 2 – Разрывные нарушения, выделяемые а) – уверенно, б) – неуверенно, 3 – Скважины глубокого бурения. 5 – номер скважины, Чимион – название площади, 4 – Выходы домезозойских пород на дневную поверхность, 5 – Основные населенные пункты

Одной из особенностей представленных выше карт являлось то, что они, несмотря на достаточно большую точность моделирования, зачастую не всегда соответствовали фактическим скважинным данным (там, где поверхность домезозоя вскрыта скважинами), а также иногда противоречили и моделям. В результате было принято решение продолжить эти исследования на качественно новом уровне – с жесткой привязкой как к скважинам, так и к полученным в результате геофизической интерпретации данным.

Последняя, на данный момент, построенная карта (рис. 6) имеет жесткую привязку по координатной сетке, а также полностью коррелируется с данными бурения (там, где скважинами вскрыты толщи домезозоя). Кроме того, основное отличие ее от предыдущих построений является полное соответствие рельефа данным моделирования. Карта выполнена в 1:200000 масштабе.

В рельефе домезозойской поверхности четко выделяются основные элементы строения Ферганской впадины: Северный и Южный борта и Центральный грабен. Также наблюдается большое число разрывных нарушений, в массе своей, имеющих простирание, субпараллельное общему простиранию впадины.

Южный борт представляет собой моноклиналь, вытянутую с юго-запада на северо-восток и погружающуюся в северном и северо-западном направлении. Его ширина в наиболее широкой, центральной части, достигает около 30 км, в целом же, оставаясь в пределах 12-15 км.

По перепадам глубин Южный борт можно условно разделить на две крупные вытянутые зоны.

Первая зона, самая южная, представлена относительно пологим погружением толщ домезозоя в северном и северо-западном направлениях. Глубина залегания изменяется от 0 м (выходы на дневную поверхность) до 3 – 3,5 км.

Вторая зона расположена севернее и характеризуется сгущением изолиний, особенно в приразломной зоне. Глубины составляют 3,5 – 6 км. Можно достаточно уверенно сказать, что крутость погружения напрямую



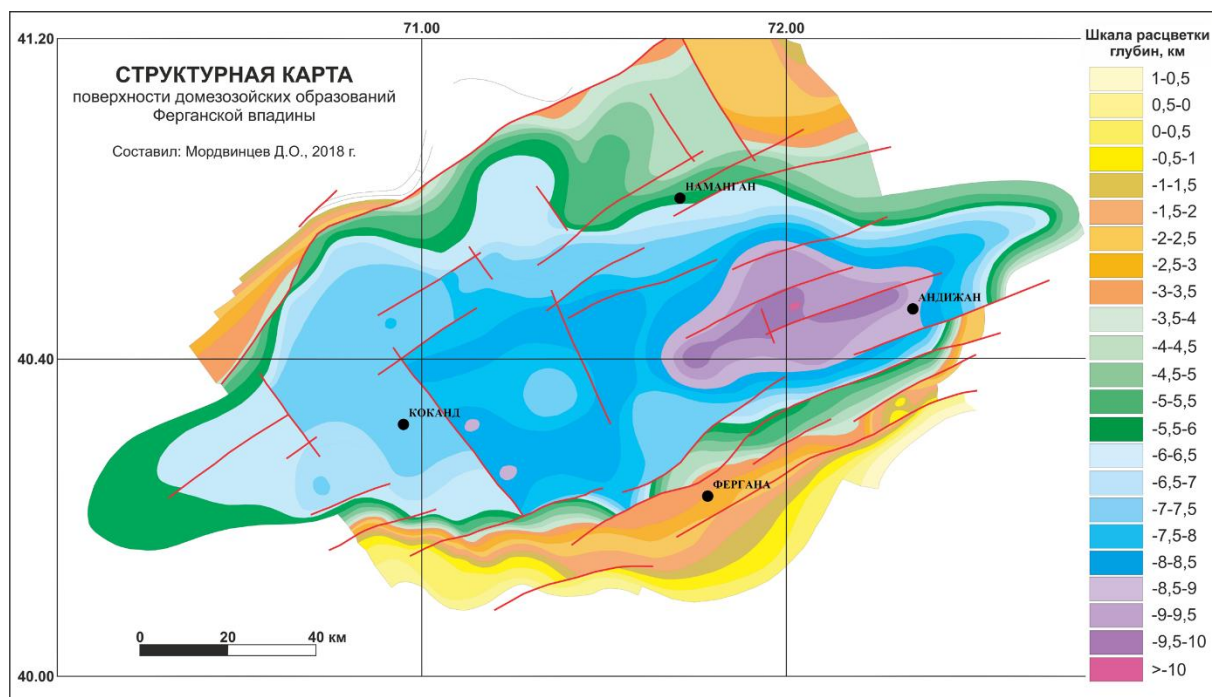


Рисунок 6. Карта рельефа поверхности домезозоя Ферганской впадины, (Мордвинцев Д.О., 2018 г.)

связана с наличием здесь Южно-Ферганского разлома. Тем более, что на моделях по нему очень часто фиксировались сбросы различных амплитуд.

Центральный грабен имеет достаточно спокойный рельеф на большей своей территории. Тем не менее, и его поверхность можно разделить на три относительно крупных зон.

Первая, западная, представляет собой достаточно пологий прогиб в направлении центра впадины, с перепадами глубин от 6 до 7,5 км. Его размер составляет примерно 60 на 60 км. Восточнее Коканда, по протяженному сбросу, идущему вкост простирания впадины, этот прогиб отделяется от поднятия, которое можно обособить во вторую зону. Амплитуда сброса – около 1 – 1,5 км.

Вторая зона имеет размеры 45 на 60 км. Глубина залегания поверхности домезозоя – от 7 до 8,5 км. С востока выделанная зона также ограничена разрывным нарушением, идущим вкост простирания впадины.

Далее на восток наблюдается сильное погружение поверхности домезозоя до глубин в 10 и более км. Этот прогиб имеет вытянутую форму и линейные размеры порядка 80 на 40 км. В центральной его части фиксируются разрывные нарушения, формирующие ступени.

Севернее Намангана отмечается пологое погружение поверхности домезозоя к центру впадины. Немного западнее, в рельефе рассматриваемого горизонта присутствует структурный уступ. Глубины залегания составляют от 3,5 до 6 км.

Северный борт отделен от Центрального грабена Северо-Ферганским разломом. Как и Южный борт, он представляет собой моноклираль, но погружающуюся с севера на юго-восток. Поверхность домезозойского комплекса здесь отмечается на глубине от 1 до 3,5 км.

Следует отметить, что в отличие от Южно-Ферганского разлома, выраженного зоной нескольких протяженных субпараллельных нарушений, Северо-Ферганский разлом представляет собой одно линейно вытянутое нарушение.

Рассматривая же зону Южно-Ферганского разлома и морфологию ее поверхности, правильнее было бы назвать ее не Южно-Ферганский разломом, а Южно-Ферганской флексурно-разрывной зоной.

В целом же, рельеф домезозойского комплекса весьма неплохо отображает те процессы сжатия, которые происходили в пределах Ферганской впадиной в более поздние эпохи. Согласно схемам геодинамической активности Центральной Азии, основное направление сжатия является юго-восток – северо-западное [9, 10, 11]. В домезозойском рельефе этому соответствует наиболее погруженный участок в Центральном грабене, где массивы Памиро-Алая как бы «подминают» под себя палеозой Ферганы. Далее следует приподнятый участок. При этом, он смещен к центру

впадины, что также объяснимо тем, что основное направление движения масс не прямолинейное, а по дуге, изогнута против часовой стрелки.

Такую картину можно наблюдать при сжатии гибкой пластины. Её край, на который будет оказано максимальное давление, прогнется, другая часть при этом, окажется относительно приподнятой. А согласно модели региональной изостазии [12], земную кору как раз и можно представить в виде пласта, состоящего из гибко соединенных между собой блоков. Где, при оказании давления на один из блоков, меняется морфология всего пласта. Что мы и наблюдаем на примере Ферганской впадины.

Таким образом, можно отметить, что на формирование палеозойского рельефа Ферганской впадины оказали влияние процессы глобальной тектоники – ИндоЕвропейская коллизия.

#### **Библиографический список:**

1. Таль-Вирский Б.Б. Геофизические поля и тектоника Средней Азии. – Л.: Недра. 1982.
2. Абидов А.А., Каломазов Р.У., Педдер Ю.Г., Пшеничная З.Д., Юртаев Ю.С., Ходжиматов А.Х. (Средазнипинефть), Рашидов А.Х., Старокожев Б.А. (ПО Узбекнефть). «Новая схема тектонического районирования ферганской впадины», Геология нефти и газа, 11, 1992.
3. А.М. Акрамходжаев, М.С. Сайдалиева. «Ферганский нефтегазоносный бассейн», НЕДРА, Москва, 1971 г., 280 стр.
4. Бабаджанов Т.Л., Кунин Н.Я., Лук-Зильберман В.И. Строение и нефтегазоносность глубокопогруженных комплексов Средней Азии по геофизическим данным. - Ташкент, «ФАН», 1986.
5. Мордвинцев Д.О. Основные черты глубинного строения Ферганской впадины по геофизическим данным", 12.2009. "Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе". Москва. С.49-51.
6. Мордвинцев Д.О. «Новые взгляды на глубинное геологическое строение Ферганской впадины по геофизическим данным. Особенности глубинного строения кристаллического фундамента», 6. 2011. "Геология и минеральные ресурсы", Ташкент, С. 41-46.
7. Мордвинцев Д.О. «Новые взгляды на глубинное геологическое строение Ферганской впадины по геофизическим данным. Особенности рельефа структурной поверхности докембрийских образований», 4. 2012. "Геология и минеральные ресурсы", Ташкент, С. 55-60.
8. Мордвинцев О.П., Мордвинцев Д.О. «Новые взгляды на глубинное геологическое строение Ферганской впадины по геофизическим данным. Предполагаемый вещественный состав докембрийских образований», 3. 2013. "Геология и минеральные ресурсы", Ташкент, С. 34-38.
9. Jean-Charles Thomas, Jean-Robert Grasso, and Bakhthiar Nurtaev. Recent deformation in the Turan and South Kazakh platforms, western Central Asia, and its relation to Arabia-Asia and India-Asia collisions. TECTONICS, VOL. 18, NO. 2, PAGES 201-214, APRIL 1999.
10. I. Coutand, M. R. Strecker, J. R. Arrowsmith, G. Hilley, R. C. Thiede, A. Korjenkov, and M. Omuraliev. Late Cenozoic tectonic development of the intramontane Alai Valley, (Pamir-Tien Shan region, central Asia): An example of intracontinental deformation due to the Indo-Eurasia collision. TECTONICS, VOL. 21, NO. 6, 1053, doi:10.1029/2002TC001358, 2002.
11. Т.Ш. Шаякубов, Т.Н.Далимов (редакция). Геология и полезные ископаемые Республики Узбекистан. Ташкент: Университет. 1998г. – 723с.
12. Angevine C.L., Heller P.L. and Paola, C. 1990. Quantative sedimentary basin modelling. American Association of Petroleum Geologists Shortcourse Note Series #32, 247 p.

**Ҳамроев Шерзод Гулмуротович**  
**Hamroev Sherzod Gulmurotovich**

ассистент кафедры «Горная электромеханика». 210100, Республика Узбекистан, г. Навои, ул. Южная, 27а, Навоийский государственный горный институт. E-mail: [hamroyev.sherzod@mail.ru](mailto:hamroyev.sherzod@mail.ru)

УДК 66.021.1

## ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ДИАМЕТРОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ МЕШАЛКОЙ

### MIXING LIQUIDS WITH VARIABLE DIAMETER MECHANICAL MIXER

**Аннотация.** Для проведения непрерывного процесса сорбционного окисления тонкоизмельчённых сульфидных концентратов применяются специальные аппараты, работающие в условиях стабилизации температуры при постоянном аэрировании. Для ускорения процесса окисления в таких аппаратах необходимо непрерывное перемешивание пульпы. Перспективным направлением при перемешивании жидких сред является использование нового поколения оборудования, которое позволяет увеличивать турбулизацию и циркуляцию потоков при одновременном снижении энергопотребления и металлоемкости

**Annotation.** To conduct a continuous process of sorption oxidation of finely ground sulfide concentrates, special apparatuses are used that operate under conditions of temperature stabilization with constant aeration. To accelerate the oxidation process in such devices, continuous mixing of the pulp is necessary. A promising direction in the mixing of liquid media is the use of a new generation of equipment that can increase turbulization and circulation of flows while reducing energy consumption and metal consumption

**Ключевые слова:** шарнирная муфта, суспензия, смесители, перемешивание, мешалки, реагент.

**Key words:** articulated coupling, suspension, mixers, mixing, mixers, reagent.

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время важнейшими направлениями горной промышленности во всем мире является повышение технико-экономических показателей комплексной переработки минерального сырья и развитие ресурсосберегающих технологий. Расширение объемов освоения сырьевой базы экономически целесообразно только на основе самых современных разработок в области совершенствования процессов переработки полезных ископаемых.

Наибольшее распространение в металлургической промышленности получило перемешивание с введением в перемешиваемую среду механической энергии из внешнего источника. Механическое перемешивание осуществляется с помощью мешалок, которым сообщается вращательное движение либо непосредственно от электродвигателя, либо через редуктор или клиноременную передачу.

При механическом перемешивании осуществляются такие важные процессы как тепло - и массообмен, интенсификация химических реакций, получение высоко гомогенизированных суспензий и эмульсий, и другие.

Часто перемешивание приводит не только к гомогенизации, но и к механической активации. Механической активацией можно получать продукцию с заданными физическими, физико-химическими свойствами, например, прогнозировать диаметр капель дисперсной среды в эмульсиях; регулировать степень измельчения твёрдой фракции в суспензиях; уменьшать летучесть компонентов, изменять плотность и вязкость и т.д.

Цели и задачи исследования – совершенствование технологии механического перемешивания жидких сред, и разработка перемешивающего устройства, обладающего высокой интенсивности перемешивания.

Задачами исследования являются:

- разработка принципиально нового устройства для перемешивания сульфидных руд с реагентом одновременно в горизонтальной и вертикальной плоскости, которая не допускающие осаждение реагентов на дно мешалки.

- разработка устройства мешалки, которая одновременно произвел перемешивание и очистка стенок сосуд мешалки.

- теоретическое обоснование выбора основных конструктивных параметров мешалки
- проведение экспериментальных и теоретических исследований для определения влияния конструктивных и кинематических параметров мешалки на потребляемую мощность и эффективность перемешивания;
- теоретическое и экспериментальное обоснование использования конструкции мешалки с шарнирной муфтой для перемешивания жидких сред;

Объект и предмет исследований. Объектом исследования является механическая мешалка. Предмет исследования – Передачи бурового момента электропривода на лопасть мешалки посредством шарнирной муфты, позволяющие высокой интенсивности перемешивания и очистки стенки сосуда, где установлен мешалка.

Методика проведения исследований. Сформулирована задача разработка два типа новых групп конструкций аппаратов с мешалкой, в одной группе использовано движение рабочих органов с нестационарным режимом работы. В другой группе звенья передаточных четырехзвенных, пятизвенных и шестизвенных механизмов выполняют одновременно функции рабочих органов, каждое из которых совершает сложное движение по своим законам.

Анализ и обсуждение результатов. В металлургическом производстве перемешивание материалов является одним из распространенных процессов, который осуществляется в основном механическими устройствами - аппаратами с мешалкой и смесителями. Эти устройства работают при стационарном режиме работы, т.е. при постоянной угловой скорости рабочего органа

Область применения результатов. Разработанная методика может быть использована для перемешивание жидкостей с изменяющимся диаметром механической мешалкой на жидких средах .

Ключевые слова: шарнирная муфта, суспензия, смесители, перемешивание, мешалки, реагент.

Перемешивание в жидких средах является одним из наиболее эффективных способов интенсификации процессов в различных отраслях промышленности. Получение современных неметаллических материалов, заменяющих стали и сплавы, процессы обработки горных пород с целью выделения драгоценных материалов, приготовление пищевых продуктов и лекарственных препаратов, различных материалов в химической и микробиологической промышленности, проведение многочисленных процессов, связанных с очисткой воды, а также получение различных продуктов в оборонной промышленности, требует применения процессов перемешивания.

Проходившая в 2015 г. в Санкт-Петербурге 15-я Европейская конференция по перемешиванию “Mixing-15” отчетливо показала, насколько сильно изменились экспериментальные и расчетные методы исследования за последние 20 лет.

В [1] предложен аналитический обзор достижений в области конструирования промышленной аппаратуры для перемешивания жидкостей, суспензий, газожидкостных дисперсий. Обсуждаются различные методы смешивания материалов: механический, пневматический, струйный, вибрационный, магнитный. Рассмотрены нетрадиционные перемешивающие устройства с реверсивным движением частей смесителя, статические смесители, роторные и роторно-пульсационные аппараты, вихревые и ультразвуковые аппараты. Уделено внимание миниатюризации оборудования, микросмесителям однако, более чем в 95% случаев, во всем мире на практике используется механическое перемешивание, предполагающее наличие в рабочем объеме аппарата вращающейся мешалки. Во многом это объясняется относительной простотой конструкции перемешивающего устройства (мотор-редуктор/электродвигатель, стойка, уплотнение, вал и мешалка), его энергетической и экономической эффективностью, а также надежностью, простотой эксплуатации и обслуживания.

Более ясное понимание сложных механизмов конвективного, в том числе турбулентного, переноса количества движения, теплоты и массы в аппаратах с мешалками вызвало растущий интерес исследователей к новым видам перемешивающих устройств, новым формам организации перемешивания, включая пульсационное, вихревое и др.

В состав многих машин и устройств входят мешалки, которые являются плоским [2] или пространственным механизмом. Последние включают комбинацию вращательных, поступательных, шаровых, шаровых с пальцем кинематических пар (шарниров). Особую группу составляют механизмы только с вращательными шарнирами, которые изучены и изучаются только теоретически [3].

В металлургическом производстве перемешивание материалов является одним из распространенных процессов, который осуществляется в основном механическими устройствами -

аппаратами с мешалкой и смесителями. Эти устройства работают при стационарном режиме работы, т.е. при постоянной угловой скорости рабочего органа.

При таком способе перемешивающие устройства не обеспечивают требований производства и технологий, так как процесс смешения протекает слабо и длителен во времени, энергоемок, при этом качество готовой смеси неудовлетворительное. Это объясняется тем, что в аппаратах с мешалкой имеются зоны, где движение материала незначительно или вообще отсутствует [4].

Можно привести пример реактора цеха нейтрализации ВЮХ ГМЗ-3 НГМК. В реакторах с добавлением извести (химических веществ белого цвета) происходит процесс нейтрализации руды.

В этих целях используют в цеху 8 реакторов с параметрами: высота и диаметр каждого реактора примерно по 10 м. В реакторе установлены 2 лопастных смесители (мешалки) высотой примерно 8 метров. В процессе работы реактора мешалка, совершая вращательное движение перемешивает пульпу, при этом добавленный в пульпу специальный химический реагент извлекает золото. На внутренние стенки реактора нарастает налёт, толщина которого может достигать 0,3-0,5 м.

Проблемой является удаление налёта со стенок реакторов или полностью заменить мешалку, которая обеспечила бы требования производства.

Для решения такого рода проблем предложены [4] два типа новых групп конструкций аппаратов с мешалкой, в одной группе использовано движение рабочих органов с нестационарным режимом работы. В другой группе звенья передаточных четырехзвенных, пятизвенных и шестизвенных механизмов выполняют одновременно функции рабочих органов, каждое из которых совершает сложное движение по своим законам. Во всех группах аппаратов с мешалкой звенья передаточных механизмов имеют особое, пространственное расположение шарниров, в составе которых только вращательные шарниры, оформленные подшипниками скольжения или качения, легко изолирующиеся от абразивной среды и имеющие высокий ресурс работы

В общем случае лопасти мешалки при вращении выполняют работу, связанную с преодолением сопротивления сил инерции и сил трения перемешиваемой жидкости. Удельное значение этих сил различно в пусковых и рабочих периодах работы мешалки. Так, при пуске мешалки ее лопасти встречают особенно большое сопротивление со стороны жидкости, инерцию массы которой необходимо преодолеть. По мере приведения жидкости в движение работа мешалки все больше затрачивается на преодоление внутренних сопротивлений в жидкости (трения, вихревых движений, ударов жидкости о стенки и т. д.).

При перемешивании очень вязких жидкостей и пастообразных материалов к стенкам реактора налипают реакционная масса. Возникает проблема очищения стенок аппарата. Проблема уменьшения пусковой мощности и очищения стенок аппарата решается разработкой перемешивающих устройств содержащих лопасти с уменьшенным диаметром при пуске и увеличенным при работе, т.е. с изменяющимся диаметром лопастей.

В последние годы для интенсификации процесса перемешивания стали использовать сложное движение, вращение с переменной угловой скоростью и сложное неравномерное движение рабочих органов и емкостей [4]. Однако существующие конструкции сложны, имеют несколько источников привода, малый ресурс работы из-за наличия шаровых шарниров, исследования и разработки таких устройств пока малочисленны, нет теории создания смесителей, сведений о внедрении в производство, нет классификационных групп пространственных устройств.

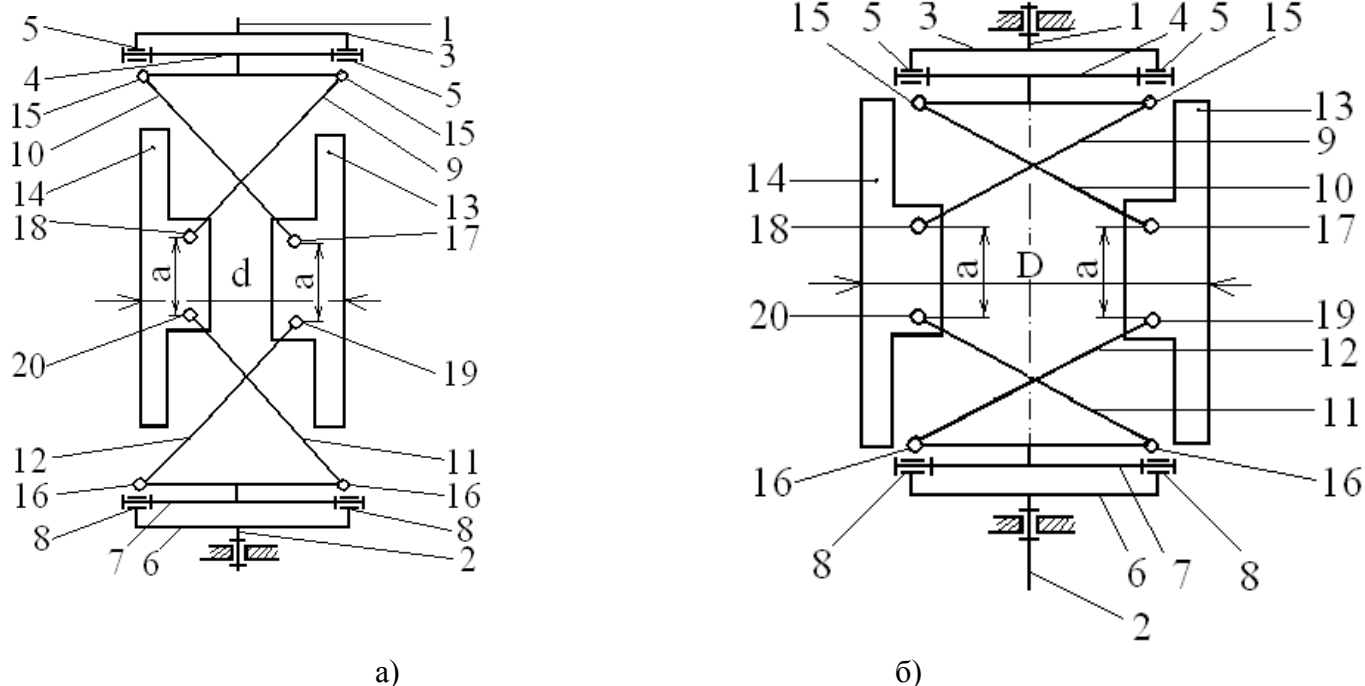
Объясняется это трудностью и сложностью образования пространственных устройств, в особенности имеющих в составе только вращательные шарниры.

Таким образом, создание новых высокоэффективных универсальных перемешивающих устройств является актуальной и необходимой задачей. Это еще более актуально потому, что сфера их применения и использования широка и охватывает самые разные отрасли народного хозяйства.

Нами [5] была разработана (заявка № FAP 20150031 Кл. F16D3/30) шарнирная муфта, содержащая ведущую и ведомую полумуфты, каждое из которых содержит шарнирно соединенные вилки и серьгу, соединенные промежуточным устройством, расположенными между ними, выполненным в виде двух пар перекрещивающихся рычагов, при этом каждый рычаг одной пары шарнирно соединен одним концом с серьгой соответствующей полумуфты. Снабжена двумя планками, каждая из которых соединена другими концами перекрещивающихся рычагов шарнирно. Причем оси шарниров параллельны с осями шарниров рычагов с серьгами.

Кинематическая схема шарнирной муфты приведена на рисунке 1а – в сжатом и 1б – в

растянутом положении.



**Рисунок 1**

**1, 2-ведущая и ведомая полумуфта:** 1, 3, 6-вилки; 4, 7-серьги; 5, 15, 16, 17, 18, 19, 20- шарнир; 9, 10, 13,14-рычаг, 11,12- рабочие элементы 9,10-рычаги

Шарнирная муфта, содержит ведущую полумуфту 1, ведомую полумуфту 2. Ведущая полумуфта 1 содержит звенья в виде вилки 3 и серьги 4 соединенных друг с другом посредством шарниров 5, ось которых расположена перпендикулярно оси вращения.

Ведомая полумуфта 2 также содержит звенья в виде вилки 6 и серьги 7 соединенных друг с другом посредством шарниров 8, ось которых расположена перпендикулярно оси вращения и параллельно оси шарниров 5.

Промежуточное устройство содержит две пары перекрещивающихся рычагов 9, 10 и 11, 12 и планки 13, 14. Рычаги 9 и 10 другими концами соединены с планками 13, 14 посредством шарниров 17, 18. Рычаги 11 и 12 соединены с серьгой 8 посредством шарниров 16. Рычаги 11 и 12 другими концами соединены с планкой 13, 14 посредством шарниров 19, 20. Оси шарниров 15, 16, 17, 18, 19, 20 параллельны между собой и перпендикулярны осям шарниров 5 и 8. Шарниры 17 и 19, а также 18 и 20 установлены на одинаковом расстоянии «а».

При работе шарнирной муфты, вращение ведущей полумуфты передается ведомой посредством двух пар перекрещивающихся рычагов 9, 10 и 11, 12 и планками 13, 14.

При сжатом расположении полумуфт 2 расстояние между планками 13, 14 увеличивается, тем самым увеличивается диаметр  $D$  окружности, а при растянутом положении полумуфт 1 и 2 расстояние между планками 13, 14 уменьшается и уменьшается диаметр окружности описываемой планками «d».

При вращении шарнирной муфты, установленной в цилиндрической емкости (реакторе) диаметром равное  $D$ , заполненной с жидкой средой, планки 13, 14, работая как лопасти создает вращательное движение жидкости. В начале вращения полумуфты 1 и 2 располагают в растянутом положении, тогда расстояние между планкам 13, 14 уменьшается «d», благодаря чему достигается снижению пусковых нагрузок. При сжатом расположении полумуфт 1 и 2 расстояние между планками 13, 14 увеличивается «D», тем самым увеличивается диаметр окружности описываемой планками «D». Благодаря чему достигается интенсивное перемешивание жидкости в ближе стенок реактора. Как известно, перемешивание существующими мешалками в ближе вертикальных стенок находится область, где жидкость почти не участвует в движении и на стенке накапливается налет.

Снабжение известной шарнирной муфты с планками 13 и 14 позволяет повысить интенсивность перемешивания жидкости благодаря увеличению диаметра окружности лопастей (планки) «D». Благодаря изменению расстояние между планками т.е. уменьшение или увеличение диаметра, станет возможным применять её в качестве мешалки, например для сосудов с небольшим входным отверстием.

Если установить законы движения изменения диаметра мешалки (расстояние между планками 13 и 14) в зависимости от вращения ведущей полумуфты, то можно регулировать процесс перемешивания, охватить весь область жидкости, а также очищение вертикальных стенок реактора в зависимости от времени.

**Библиографический список:**

- 1.Иванец В.Н, Лобасенко Б.А. Методы интенсификации гидромеханических процессов. Кемерово 2003г-84с.
2. Брагинский, Л.Н. Перемешивание в жидких средах. Л.Н Брагинский В.И Бегачев, В.М Барабаш-Л.: «Химия», 1984. - 336с]
- 3.Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками.- Л.:Химия,1975.-384 с.
4. Бобоназаров, М., Рахимова, М.М., Мирзоев, Б. Моделирование процесса перемешивания и разделения фосфоритной суспензии по фракциям. ДАН Республики Таджикистан 2013, том 56, №12. С.979-984
5. Козлова Е.Г. Перемешивание высококонцентрированных полидисперсных суспензий: Дис. канд. техн. наук. / ЛенНИИхиммаш.- Л., 1988,- 211 с.
6. Барабаш В.М., Брагинский Л.Н., Козлова Е.Г. Применение аппаратов с перемешивающими устройствами для перемешивания высоко-концентрированных суспензий. // ТОХТ.- 1990.- Т. XXIV, № 1,- С. 63-71.
7. Кафаров В.В. Процессы перемешивания в жидких средах,- М.: ГНТИХЛ, 1949,- 88 с.
8. Карпушкин С.В., Краснянский М.Н., Борисенко А.Б. Расчёты и выбор механических перемешивающих устройств вертикальных емкостных аппаратов: Учебное пособие. - Тамбов: Тамбовский государственный технологический университет, 2009, 168 с.
9. Бобоназаров М., Юсупов З.Н., Рахимова М.М., Мирзоев Б. Моделирование разделения твердых частиц в турбулентном потоке жидкости. - Материалы V международный научно - практический конференции «Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в высших учебных заведениях стран СНГ» ТТУ им. акад. Осими, ч.1. - Душанбе, 2011, с.279-283.
10. Роль турбулентных пульсаций в перемещении частиц в водных системах // С.М. Chapman, А.М. Nienow, М. Cooke and J.C. Middleton // Chem. Eng. Res. Des. – 1983. - №61. – С.345-356.
11. Жидкофазное смешение в сосудах с мешалкой для систем жидкость-твердое // J.D. Joshi // Chem. Eng. J. - 1998. - 39. - №2. – С.111-124
12. Гидравлические измерения и приборы: Учебное пособие/ Е.Р. Кормашова, Д.В. Бокинов. Иванов, гос. архит. строит, акад. Иваново, 2000. - 79 с.
13. Бакланов Н.А., Перемешивание жидкостей. Л. Химия. 1979. 326 с.
14. Кожевников С.О. Обзор основных типов перемешивающих устройств для получения технологических жидкостей.//«Вестник научно-промышленного общества. Выпуск 6». М.: Издательство «АЛЕВ-В»,2003, с. 67-69.
15. Гуюмджян П.П., Кожевников С.О. Определение основных параметров перемешивающих устройств с трубками переменного сечения. //«Вестник научно-промышленного общества. Выпуск 8». М.: Издательство «АЛЕВ-В», 2004, с. 27-32.
16. Кожевников С.О. Перемешивание как фактор, влияющий на эксплуатационные показатели технологической жидкости. Третья научная конференция аспирантов: Материалы конференции/Иван. гос. архит.-строит. акад. -Иваново, 2003. с. 46.
17. Тошов Б.Р., Кушимов Ф., Тошов Ж.Б., Эшбоева З.Н. Шарнирли муфта. Фойдали модель патент № US FAP 00861. 31.12.13й. Бюл. №12.
18. Набойченко С.С. Расчеты гидрометаллургических процессов/ С.С.Набойченко, А.А.Юнь. –М.:МИСиС, 1995. -428с.
19. Барабаш В.М., Брагинский Л.Н.,Горбачева Г.В. О расчете газосодержания в аппаратах с мешалками. // ТОХТ,- 1987,- Т. 21, № 5.- С. 654-660.
20. Бальцежак С.В., Соломаха Г.П. Энергетические затраты при перемешивании дисперсных сред. // Теория и практика перемешивания в жидких средах: Тез. докл. 5-ой всесоюзной конференции. Зеленогорск. / ГИПХ.- JL, 1986.-С. 39 42.
21. Барабаш В.М., Зеленский В.Е. Перемешивание суспензий. // ТОХТ,- 1997,-Т. XXXI, №5,- С. 465-471.

22. Беляков Н.Г. Исследование массопередачи в трехфазных системах газ -жидкость твердое тело в аппаратах с механическим перемешиванием: Дис. канд. техн. наук. / НИИОПиК,- М., 1979,- 200 с.

23. Зеленский В.Е. Основные закономерности процесса перемешивания трехфазных систем в аппаратах с мешалками. Дис. канд. техн. наук.-



**Кабдрахманова Аягоз Амантаевна**  
**Kabdrakhmanova Ayagoz Amantaevna**

магистрант 2-го курса специальности «Теплоэнергетика»

КазНУ им. аль-Фараби, физико-технический факультет, кафедра теплофизики и технической физики, г. Алматы, Казахстан. E-mail: [ayagozkabdrakhmanova@mail.ru](mailto:ayagozkabdrakhmanova@mail.ru)

УДК 620.9

## **ВЫБОР ПРИБОРОВ ДЛЯ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

### **SELECTION OF ACTINOMETRIC OBSERVATION DEVICES**

**Аннотация.** Чтобы оценить поток солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, большое значение имеет измерение солнечной радиации для определенной местности. Выбор прибора и технологии имеет большое значение, целью которых является измерение прямого и рассеянного излучений. В данной статье кратко рассматриваются солнечная радиация и пиранометр для его измерения. Пиранометры служат для измерения рассеянной солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность.

**Abstract.** To assess the flow of solar energy entering the Earth's surface, measuring solar radiation for a given area is of great importance. The choice of instrument and technology is of great importance, the purpose of which is to measure direct and scattered radiation. This article briefly discusses solar radiation and a pyranometer for measuring it. Pyranometers are used to measure scattered solar radiation incident on a horizontal surface.

**Ключевые слова:** солнечная радиация, пиранометр, рассеянное излучение.

**Key words:** solar radiation, pyranometer, scattered radiation.

#### **Введение**

Солнечное излучение, падающее на поверхность Земли, включает в себя ультрафиолетовое излучение (УФ), видимый свет и ближнее инфракрасное излучение (БИК). Около 45% энергии Солнца приходится на видимую часть спектра, остальная часть находится преимущественно в инфракрасной части спектра. При прохождении через атмосферу часть солнечного излучения достигает поверхности Земли, а часть рассеивается частицами, каплями воды и кристаллами льда. Молекулы газов и аэрозолей отвечают за большую часть поглощения излучения [1].

Та часть энергии, которая проходит через атмосферу и попадает на поверхность Земли, называется суммарным потоком солнечного излучения. Он состоит из потока рассеянного излучения от небосвода и прямого излучения от Солнца.

Одной из важных характеристик солнечного излучения является ее интенсивность. Интенсивность прямой составляющей рассчитывается в связи с временными колебаниями воздушной массы и изменения пути лучей в атмосфере. Точность такого расчета зависит от состояния атмосферы, то есть наличия загрязнения, тумана и облачности. Такие явления уменьшают прямую компоненту, но при этом рассеянная составляющая может значительно возрасти. При большой облачности до Земли доходит лишь рассеянная компонента.

Наилучшим методом оценки мощности солнечной радиации является непосредственное долговременное измерение ее интенсивности в различных зонах земного шара. В настоящее время существует несколько метеорологических станций, на которых непрерывно регистрируют инсоляцию [2].

#### **Солнечные компоненты**

Излучение может передаваться, поглощаться или рассеиваться промежуточной средой в различных количествах в зависимости от длины волны. Сложный характер взаимодействия атмосферы Земли с солнечным излучением приводит к трем основным широко распространенным элементам, представляющим интерес для технологий преобразования солнечной энергии:

- прямое солнечное излучение – излучение, исходящее непосредственно от солнечного диска. Поскольку угол отклонения очень мал, лучи света в большинстве случаев считаются параллельными. Всемирная Метеорологическая Организация определяет его как количество излучения от Солнца, измеренного с помощью пиргелиометра с углом зрения равным, равным  $5^\circ$ .

- диффузное излучение – это солнечное излучение, рассеянное молекулами атмосферных газов и аэрозолями. Рассеяние не происходит в единственном направлении и поэтому, кажется, что свет приходит со всех частей неба. Так как излучение синего цвета имеет более короткую длину волны, он больше подвергается рассеянию. По этой причине небо окрашивается в голубой цвет. Если бы рассеяния не существовало, небо бы нам казалось черным, а Солнце — просто диском.

- суммарный поток солнечного излучения – сумма прямого и рассеянного излучений [3].

### **Пиранометры**

Приборы, предназначенные для измерения любой формы излучения, называются радиометрами. Существует два типа радиометров: пиргелиометр и пиранометр. При помощи пиргелиометров измеряют поток прямого солнечного излучения, а пиранометры используются для измерения потока рассеянного и суммарного излучения. Пиранометры широко используются метеорологами, климатологами и исследователями возобновляемой энергетики [5].

Для поиска оптимального местоположения рекомендуется использовать пиранометр. Проектирование солнечной энергетической системы с оптимальной производительностью требует знания того, сколько энергии она получит от Солнца. Например, солнечная электростанция с номинальной мощностью 1 МВт будет производить различное количество энергии в зависимости от места доступного солнечного ресурса. Инвесторам требуются надежные данные о солнечной освещенности для технико-экономических обоснований и уверенности в отношении эффективности проекта.

Кроме того, такие данные как соотношение между прямым и рассеянным излучением на площадке, также важны при выборе технологии генерации солнечной энергии. Поток прямого солнечного излучения измеряют с помощью пиргелиометра. Для того чтобы прибор был постоянно направлен в центр солнечного диска, он должен быть установлен на высокоточной автоматической системе слежения за Солнцем. Таким устройством называется трекер.

Рассеянное излучение может измеряться при помощи второго пиранометра, установленного на трекере с дополнительным затемняющим устройством, которое движется вместе с трекером и круглосуточно предотвращает попадание прямого солнечного излучения на пиранометр [4].

На действующей солнечной установке пиранометр помимо измерения количества солнечной энергии, поступающего в систему, также вычисляет и электрическую мощность. Знание этих двух значений позволяет рассчитать коэффициент полезного действия солнечной установки. КПД является важным параметром, который указывает на то, хорошо ли работает солнечная установка и выявляет такие проблемы, как загрязнение, затенение, короткое замыкание или снижение модуля.

Существует два типа пиранометров: с термобатареей и полупроводниковые. По словам Дмитрия Подольского, бизнес-менеджера компании Kipp&Zonen, пиранометр с термобатареей – это прибор, который фактически измеряет общее количество излучения на поверхности. Термобатарея, которая преобразует тепловую энергию в электрическую, окрашивается в черный цвет с целью поглощения всего солнечного излучения. Это создает разность температур между черной поверхностью датчиков и корпусом прибора, что приводит к небольшому напряжению на датчике, которое можно измерить.

В полупроводниковом или кремниевом пиранометре используется фотодиод, который преобразует свет в электрический ток. Недостатком кремниевого пиранометра является то, что его спектральная чувствительность ограничена, а это значит, что устройство не позволяет видеть весь спектр Солнца. Не удивительным является тот факт, что такой принцип может привести к ошибкам измерений [5].

Пиранометры с термобатареей можно разделить на три класса, определенные стандартом ISO 9060, которые указывают на их точность: первый класс, второй класс и вторичный стандарт. Пиранометры вторичного класса лучше всего подходят для солнечных батарей из-за их долгосрочной стабильности и низкого уровня ошибок. Они являются наиболее точными, что позволяет использовать их для высококачественного измерения солнечной радиации на метеостанциях.

Пиранометры на основе кремниевых фотодиодов требуют меньшего обслуживания, и они являются дешевыми пиранометрами, тогда как пиранометры на основе термобатарей требуют больших средств обслуживания. На следующем графике показано сравнение измеренной выходной мощности недорогого кремниевого пиранометра и эталонного пиранометра с термобатареей вторичного стандарта, как в солнечные, так и в пасмурные дни.

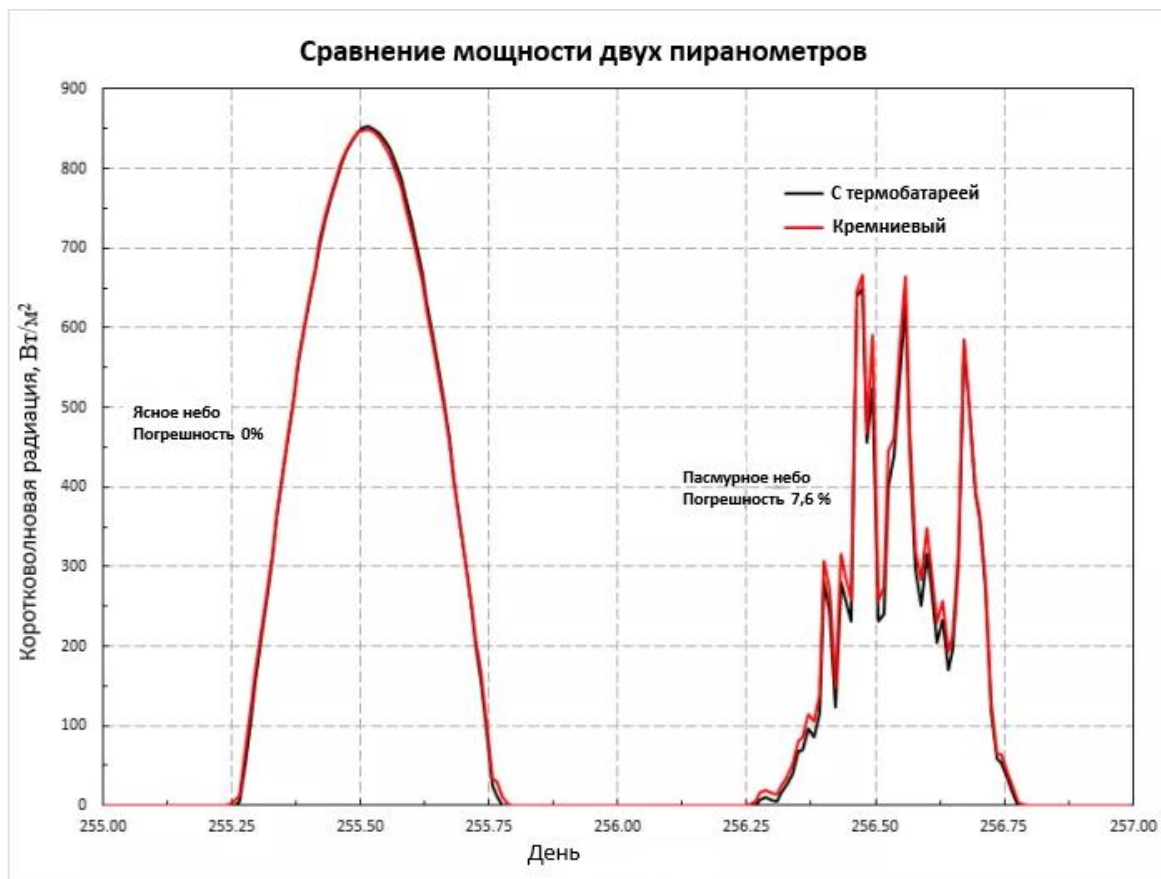


Рисунок 1 – Сравнение мощности двух пиранометров

Поскольку датчик с кремниевыми элементами откалиброван в условиях солнечного и ясного неба, показатели измерения являются точными. Однако при пасмурной и облачной погоде прибор выявит погрешность. В результате эксперимента, в пасмурный день погрешность кремниевого пиранометра составляет 8%.

#### Заключение

Можно сказать, что на сегодняшний день актинометрические приборы играют одну из главных ролей при создании прочной платформы для развития солнечной энергетики. Пиранометр обнаруживает почти 100% спектра солнечного света в диапазоне от 380 до 2800 нм. Пиранометры с термобатареей являются точными. Они также могут использоваться для определения положения Солнца в условиях облачности. Тем не менее, пиранометр не является устройством прочной конструкции. Недостатками таких приборов является дороговизна и необходимость проводить регулярные калибровки.

#### Библиографический список:

1. Э. Альбригтсен Суммарный, диффузный и прямой пиранометр: диплом бакалавра в области энергетики, – Гримстад, 2006. – 21 с.
2. Т. Стоффел, Д. Ренн, Д. Майерс Концентрация солнечной энергии: руководство по наилучшим практикам сбора и использования данных о солнечных ресурсах, 2010. – 31с.
3. Измерение солнечного излучения в солнечной энергетике: руководство компании Kipp&Zonen на русском языке, 8 с.
4. Лукша, А. О. Приборы и методы для определения солнечной радиации / А. О. Лукша // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов "Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса". Секция "Дорожная климатология". В 6 ч. Ч.1 / науч. рук. И. И. Леонович. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 101 - 115.
5. Ч. Битлер, Х. Хайберлин Сравнение данных пиранометров при мониторинге солнечного излучения. – Ницца, 1995. – 19 с.

Научное издание

Коллектив авторов

ISSN 2500-1140

Техниконаучный журнал «Техноконгресс»

Кемерово 2019