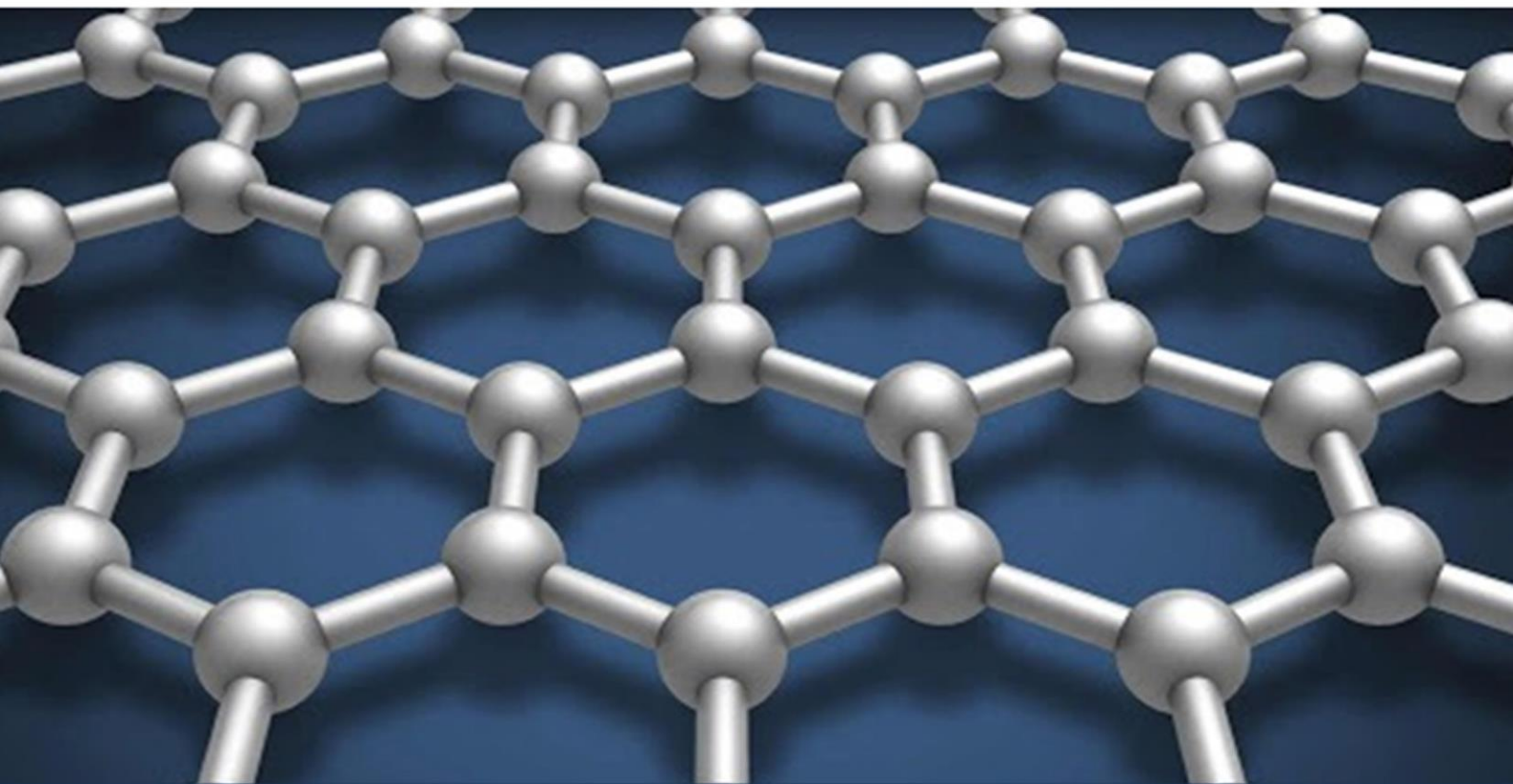


ISSN 2091-5527  
№ 2/2025

Ўзбекистон

# **K**ompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал  
**Композиционные материалы**

3. Kocharov, A. A., et al. "Scientific Analysis of the Ecological Condition of the Soils Around the Angren Coal Mine." *International Congress on Biological, Physical And Chemical Studies*. 2024.
4. Юсупов, Фарход Махкамович, et al. "Улучшение качества бурых углей марки 2бр-в2 и 2бomш-62 с помощью химической обработки." *Univsum: технические науки* 3-2 (72) (2020): 43-46.
5. Хурсандов, Бобомурод Шухратович, Азизбек Алишер Угли Кўчаров, and Фарход Махкамович Юсупов. "исследование свойств сернистого битума, полученного на основе модифицированной полимерной серы." *Univsum: технические науки* 12-6 (105) (2022): 21-25.
6. Kucharov, Azizbek, et al. "Development of technology for water concentration of brown coal without use and use of red waste in this process as a raw material for colored glass in the glass industry." *E3S Web of Conferences*. Vol. 264. EDP Sciences, 2021.

УДК 669.333.4

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН ПОТЕРИ МЕДИ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ В КИСЛОРОДНО- ФАКЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Мухаметджанова Ш.А., Маткаримов С.А., Носирхужаев С.К., Очилдиев К.Т.,  
Валиева М.Э., Камолов Л.У.

*Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова*

**Аннотация.** В статье показаны результаты исследований причин потери меди при выплавке сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи, которые показали зависимость потерь меди со шлаками от содержания меди в концентрате, от содержания серы в шихте, от удельного расхода технического кислорода и от баланса тепла в печи (теплотворность шихты). В результате исследования было определено, что для снижения потери меди со шлаками вместе с шихтой необходимо подавать то количество кислорода, которое теоретически требуется для окисления сульфида железа и его ошлакования при таком режиме плавки можно предотвратить генерацию магнетита и закиси меди, тем самым уменьшить содержание растворённой меди в шлаке, а образование сульфидной взвеси можно предотвратить, уменьшая восстановительную среду.

**Ключевые слова:** сульфид, медь, концентрат, сера, кислородно-факельная печь, штейн, шлак, шихта, флюсы, технический кислород.

**Введение.** По оценкам международных экспертов, в силу роста производства электромобилей, электротехники и освоения возобновляемых источников энергии ожидается, что к 2030 году мировой спрос на медь вырастет на 40 процентов. Располагая одними из самых крупных в мире месторождений меди, Узбекистан способен уже в ближайшие годы стать одним из ведущих игроков на рынке. В связи с этим предпринимаются активные меры для определения прочных позиций нашей страны на международном рынке по производству готовой медной продукции [1].

Эксперты данной области промышленности ссылаются к тому, что в мировой медеплавильной промышленности, особое внимание уделяется комплексной переработке сульфидных медных концентратов с применением энергосберегающих технологий, позволяющие вывести медную промышленность республики на более высокотехнологичный уровень и окажут мультиплицирующий эффект и на другие отрасли промышленности [2].

Наряду с этим, разработка эффективной технологии переработки сульфидных медных концентратов в печи кислородно-факельной плавки, обеспечивающая минимальные потери цветных металлов и максимальное извлечение их в черновую медь, является одной из важнейших задач. Необходимо отметить, что в качестве эффективной технологии можно считать такой режим кислородно-факельной плавки сульфидных медных концентратов, при котором наблюдаются минимальные потери ценных компонентов, минимальный пылевынос, максимальная производительность агрегата [3].

Глубокие исследования и анализ производственных данных позволили получить результаты по устранению недостатков кислородно-факельной плавки относительно других автогенных процессов и определить её оптимальные режимы с целью уменьшения потери меди со шлаками.

**Объект и методы исследования.** В качестве примера рассмотрим плавку по сменам (таблица 1), где наблюдались максимальные и минимальные потери меди со шлаком на АО «Алмалыкский ГМК».

Таблица. 1

Данные плавки в кислородно-факельной печи с максимальными и минимальными потерями меди

Смены	Материалы и продукты плавки	Состав, %					Проплав, т	O <sub>2</sub> расход (м <sup>3</sup> /т)
		Cu	FeO	CaO	SiO <sub>2</sub>	S		
А	Шихта	13,94	42,78	1,0	16,34	23,84	275	269,0
	Штейн	45,34				24,5		
	Шлак	1,04	42,79	2,8	36,64	-		
В	Шихта	12,56	40,14	1,0	25,32	18,88	110	736,4
	Штейн	52,50						
	Шлак	1,33	48,88	1,04	33,50	-		
С	Шихта	10,59	42,67	1,0	13,24	30,40	715	147,55
	Штейн	24,84						
	Шлак	0,35	40,12	2,52	38,80			
D	Шихта	9,26	42,16	1,0	16,84	28,64	605	185,57
	Штейн	25,56						
	Шлак	0,54	40,46	1,73	36,46	-		

При плавке шихты смены А для данного состава шихты требуемый расход кислорода составляет 179,81 м<sup>3</sup>/т. Для поддержания температуры в печи был использован природный газ в объёме 19,17 м<sup>3</sup> на тонну перерабатываемой шихты. Для шихты смены В корректировали подачу технического кислорода до 280,59 т/м<sup>3</sup>, а расход природного газа составил 96,6 м<sup>3</sup> на тонну перерабатываемой шихты. При плавке шихты смен С и D расход технического кислорода составлял соответственно 186,88 и 211,29 т/м<sup>3</sup>. Расход природного газа не требовался, наоборот, излишек тепла выводился активным кессонированием.

Как видно из таблицы 1 в смену В содержание серы (основного источника тепла) упало до 18,88 %, а расход кислорода для поддержания температурного режима увеличили. Увеличение парциального давления кислорода в факеле приводит к генерации магнетита, повышению окислительного

потенциала шлака, что в свою очередь увеличивает содержание в нём растворённой меди. В смену С содержание серы было высокое 30,4%, а расход кислорода был ниже теоретически необходимого при этом шихта недоокислилась и в результате был получен бедный по меди штейн (24,84%). Содержащаяся в шлаке медь представлена в основном тонкодисперсной сульфидной взвесью, коалесценция капель во время отстоя не наблюдалась [4].

**Обсуждение результатов исследования.**

Диаграммы, построенные на основе заводских данных из табл. 1, подтверждают результаты теоретических исследований. Диаграмма на рис.1 иллюстрирует зависимость содержания меди в шлаке от её содержания в штейне, где указан диапазон содержания меди в штейне от 27-45%, а в шлаке от 0,4-1,2%, но при этом наибольшие потери меди со шлаками 0,5-1,1% наблюдаются при содержании меди в штейне от 29-39%.

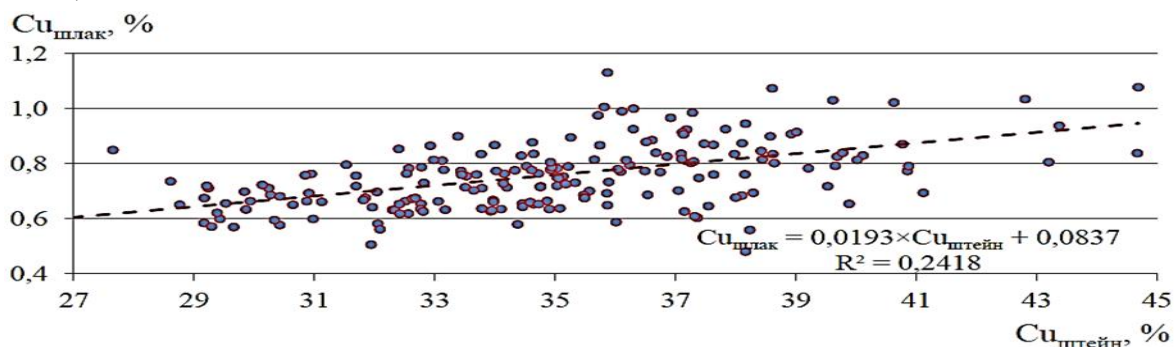


Рис. 1. Зависимость содержания меди в шлаке от содержания меди штейне [Cu] = f (Cu),%

На основании практики работы печей КФП видно, что верхний предел содержания меди в штейне лимитируется растворимостью меди в шлаке, а нижний предел выходом конвертерного шлака. С увеличением содержания меди в

штейне соответственно растёт её растворимость в шлаке, а переработка бедных по меди штейнов увеличивает выход конвертерного шлака (3-5% Cu, до 4-10 г/т Au, до 50-200 г/т Ag и другие ценные компоненты), который требует

дополнительной переработки. Учитывая эти факторы и возможность внепечного обеднения шлаков оптимальным принимаем плавку с получением штейна, который должен содержать 40-45 % меди [5].

Характеризуя теплофизические свойства шихты, в частности её теплотребление при минимальной теплотворности шихты

автогенности процесса можно добиться увеличением степени десульфуризации, так как основным источником тепла при автогенной плавке являются сульфиды [6]. На практике автогенность процесса добивается изменением степени окисления, что в свою очередь определяет состав штейна (рис. 2).

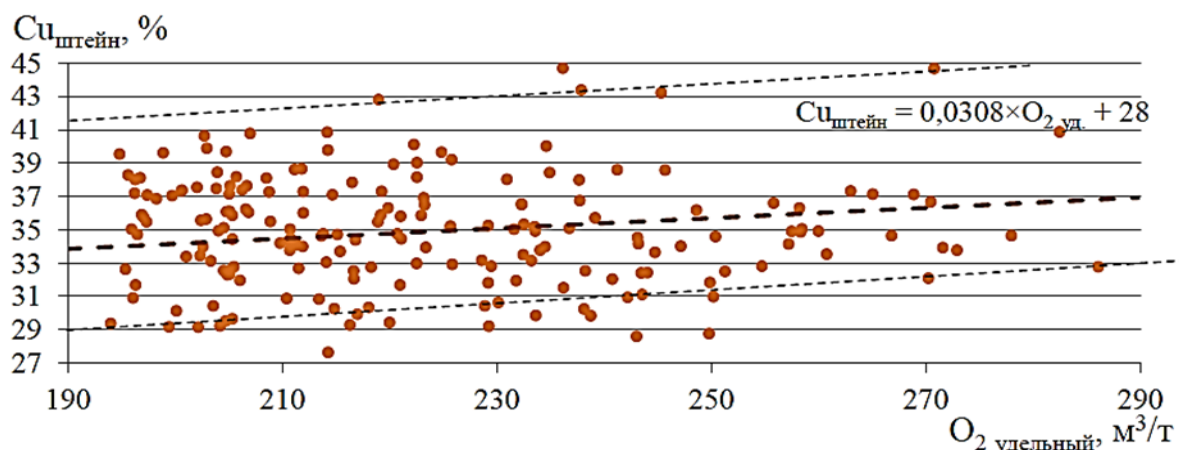


Рис. 2. Содержание меди в штейне (%) в зависимости от удельного расхода технического кислорода (м³/т)

На рисунке 3 видна линейная зависимость расхода кислорода от содержания серы в шихте в диапазоне 24-31%. Данная диаграмма иллюстрирует, что при расходе кислорода 200-245 м³/т и содержанием серы в шихте от 25-29% происходит активное их взаимодействие. Но в

случае падения содержания серы ниже 24 % может произойти резкое увеличение удельного расхода технического кислорода, продиктованное нарушением теплового режима, прежде всего падением температуры в печи.

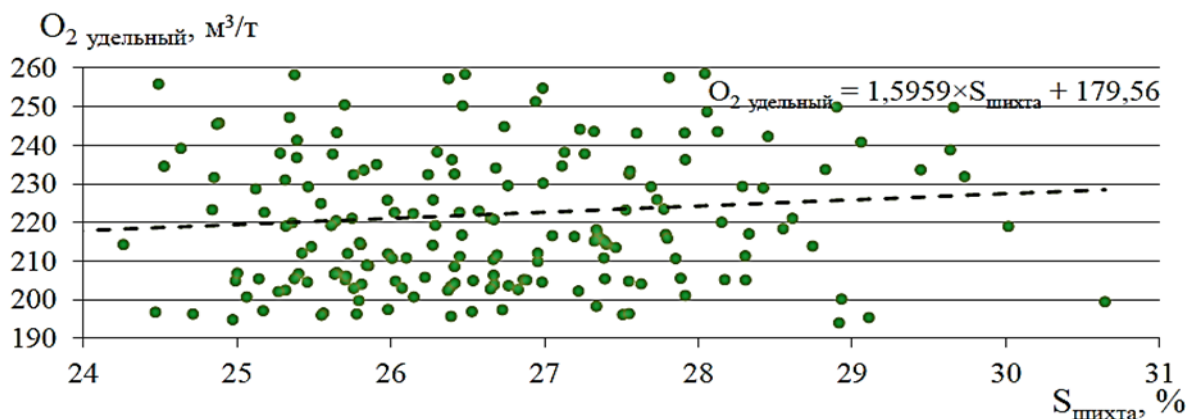


Рис. 3. Изменение удельного расхода кислорода в зависимости от содержания серы в шихте

Для автогенной плавки шихты КФП АО «Алмалыкский ГМК», средний состав<sup>1</sup> которого, %: Cu - 11,98; SiO<sub>2</sub> - 17,26; S - 25,14; Fe - 42,52; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 2,1; CaO - 1, степень десульфуризации должна составлять в среднем 75,5 %. При оптимальном ведении процесса содержание меди в штейне будет 40-45 %, а в шлаке – можно уменьшить до 0,5 %. Анализ

теплового баланса переработки данной шихты показывает, что недостаток тепла будет составлять примерно  $5,8 \cdot 10^9$  Дж на тонну перерабатываемого материала [7]. Это означает, что даже применив беддинговую систему усреднения состава шихты не возможно добиться стабильной плавки без введения в процесс теплотворных материалов (рис.4).

<sup>1</sup> Данный показатель был получен расчётом среднего состава шихты, пробы которой отбирались в каждую смену на протяжении двух месяцев.

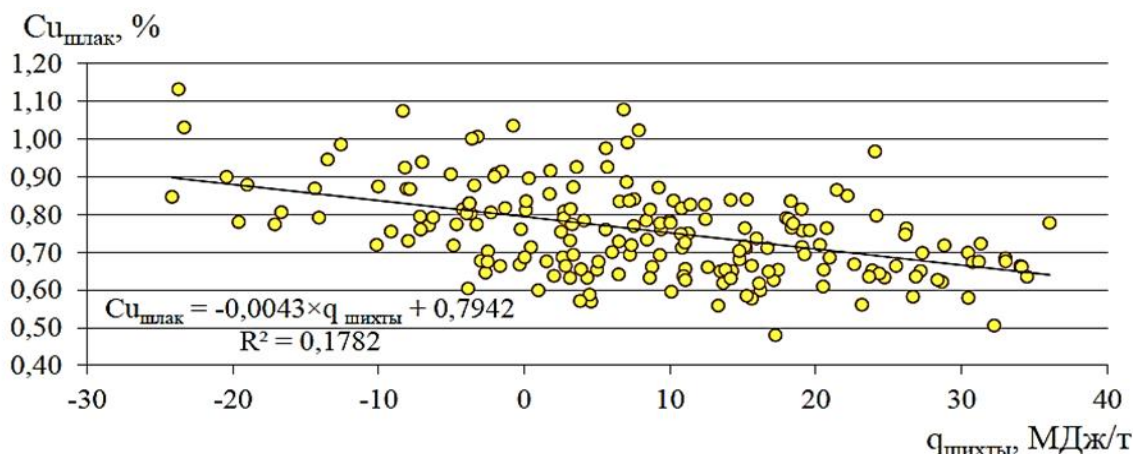


Рис. 4. Зависимость содержание меди (%) в шлаке от баланса тепла в печи (теплотворность шихты МДж/т, при плавке на 45-% ный штейн)

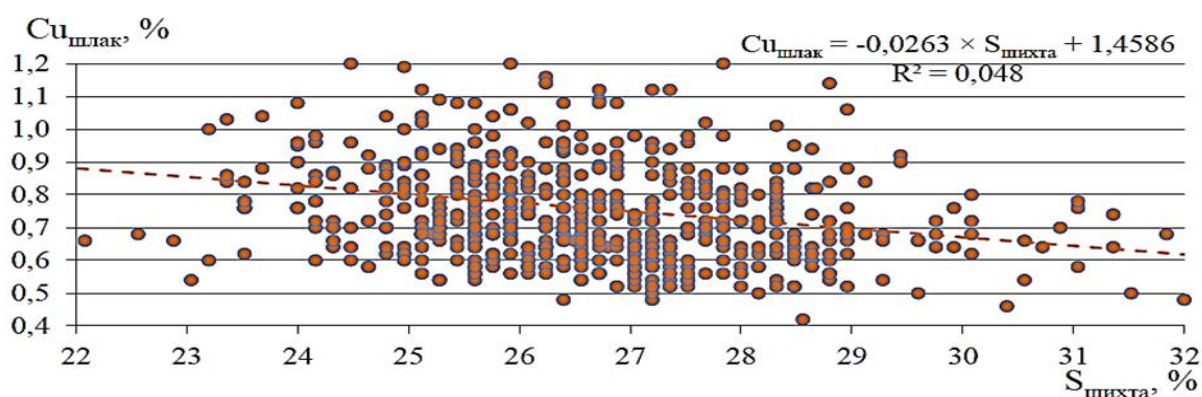


Рис.5. Содержание меди в шлаке в зависимости от содержания серы в перерабатываемой шихте, %.

На рисунке 5 видна линейная зависимость содержания меди в шлаке от серы в шихте, которая иллюстрирует диапазон содержания меди в шлаке от 0,4 до 1,2 % и серы в шихте от 22 до 32%. С учетом практических данных необходимо отметить, на сегодняшний день на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК» перерабатываются сульфидные медные концентраты со средним содержанием серы в шихте 24-29%.

Кроме того, приведённые выше диаграммы (рис. 1 – 3) свидетельствуют о том, что на практике нарушение теплового режима является причиной колебания соотношения «шихта: кислород», а смещение зон интенсивного окисления (температурных максимумов) к износу футеровки и «сгоранию» кессонов.

В данной ситуации можно считать уместным построение диаграмм, которые охарактеризовали бы потери меди в зависимости от нарушения теплового баланса (рис. 4.) и содержания в шихте основного источника тепла – серы (рис.5).

**Заключение.** В результате проведенных исследований причин потери меди в технологии переработки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи можно сделать

следующие выводы, что с увеличением содержания меди в штейне растёт её растворимость в шлаке, а при переработке бедных по меди штейнов увеличивается выход конвертерного шлака с содержанием меди 3-5%, который требует дополнительной переработки. Повышение содержания серы в шихте приводит к тепловыделению шихты, при этом понижается удельный расход кислорода, с последующим нарушением теплового режима и прежде всего падением температуры в печи, что может сказываться на ее производительности.

Основываясь на вышеприведенные диаграммы можно уверенно заявить, что вместе с шихтой необходимо подавать то количество кислорода, которое теоретически требуется для окисления сульфида железа и его ошлакования, а температуру регулировать другим методом. Только при таком режиме плавки можно предотвратить генерацию магнетита и закиси меди, тем самым уменьшить содержание растворённой меди в шлаке, а образование сульфидной взвеси можно предотвратить, уменьшая восстановительную среду с применением измельчённого твёрдого конвертерного шлака или богатых шлаков.

<b>Rajabov Sh.X., Xolnazarov F.A., Hakimov K.J., Abdisoatov S.Z.</b> Xondiza koni polemetal rudalaridan rux, mis va qo'rg'oshin metallarini ajratib olish texnologiyasini takomilashtirish .....	80
<b>Yuldasheva N.S., Matkarimov S.T., Mukhametdjanova Sh.A., Nosirkhujayev S.Q., Ochildiev K.T., Akramov U.A.</b> The production of iron-containing alloys from slags of copper production .....	84

#### 4. Прикладные, экономические и экологические аспекты применения композиционных материалов

<b>Mizaraximov A.A., Komilov Q.O'., Muxamedov G'I.</b> Fosfogipsdan foydalanishda uni zararsizlantirishga erishish yo'llari .....	87
<b>Абед Н.С.</b> Ключевые аспекты создания новых акустических многофункциональных композитов .....	90
<b>Мусабеков Д.Х., Негматова К.С., Раупова Д.Н., Рахимов Х.Ю.</b> Созданные и освоение технологической линии производства композиционных химических реагентов-деэмульгаторов, применяемых в технологии обезвоживания и обессоливания нефтеэмульсии .....	94
<b>Tursunbayev S.A., Mardonaqulov Sh.O'., Saidxodjayeva Sh.N., To'rayev A.N., Murodqosimov R.X., Odilov F.U.</b> Al-Cu-Mg tizimidagi qotishmalarni legirlovchi elementlar (Ge va Si) ta'sirida fazalar o'zgarishi ...	97
<b>Максудходжаева М.С., Юлдашев Л.Т., Джумакулов Т., Жумаев М.Н.</b> Композиции из феромонов для ловушки дынных мух – <i>Miopardalis pardalina</i> Big, с целью защиты сельскохозяйственной продукции .....	100
<b>Tursunbayev S.A., Murodov S.Z., Turakhodjayeva A.N., Rakhmonova M.R., Turaev A.N.</b> The change in the fluidity properties of the Al-Cu alloy under the influence of modifying elements .....	102
<b>Kucharov A.A., Qurbonov A. A., Yusupov F.M.</b> Gaz quvurlarining korroziyaga chidamliligini oshirish uchun bitum asosida kompozitsion qoplama: sintez, xususiyatlar va qo'llanilishi .....	104
<b>Мухаметджанова Ш.А., Маткаримов С.А., Носирхужаев С.К., Очилдиев К.Т., Валиева М.Э., Камолов Л.У.</b> Теоретические исследования причин потери меди в технологии переработки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи .....	109
<b>Uzoqov A.A., To'rayev T.B., Raximov H.N.</b> Tabiiy gazni gazkondensatidan va mexanik qo'shimchalardan tozalash samaradorligini oshirish .....	113

#### 5. Методы исследования, приборов и оборудований композиционных материалов

<b>Аллаев Ж., Комилов К.У., Курбанова А.Дж.</b> Получение и изучение свойства композиционных материалов на основе фосфогипса .....	120
<b>Sayitova N.N., Ibragimova K.S., Tangyarikov N.S.</b> Xlorofill metall analoglarining eritmalarida solvatsiya effektlari .....	122
<b>Mamatkulova S.O., Maksumova O.S.</b> Piperidinobetain asosida mis (II) kompleks birikmalari sintezi .....	125
<b>Исаева Н.Ф.</b> Синтез цеолитных адсорбентов из промышленных отходов: технология, свойства и эффективность .....	129
<b>Umirzakova F.B., Rasulov A.X.</b> Tog'-kon karyerlari uchun konveyer roliklarini afzalliklari .....	130
<b>Шапатов Ф.У., Исмаилова Р.М., Усманова Г.А., Ражабова Э.Б., Исмаилов Р.И.</b> Изучение влияния коллоидной композиции на основе 2-бромметилоксирана с 1,3-дифенилгуанидином на горючесть полиэтилена .....	132
<b>Эшонкулов У.Х., Рузиев У.М., Каюмов О.А., Нормуминов У.Ш., Абдуллаев Ф.О.</b> Взаимодействие компонентов глиноземсодержащего сырья с азотной кислотой .....	135
<b>Samandarov E.Sh., Ibragimov A.B., Yakubov Yu.Yu., C.Balakrishnan, Safarov A.R.</b> 18-crown-6 based supramolecular structure, Z-scan, hirshfeld surface analysis nonlinear optical properties .....	139
<b>Чўлиев У.Х., Амонов М.Р.</b> Сувда эрувчан полимерлар асосида олинган бурғуловчи эритма хоссаларини ўрганиш .....	143
<b>Хасанов С.М., Ўнгбоев А.М.</b> Изменение поверхностной структуры инструментальных материалов при их магнитной обработке .....	145
<b>Абед Н.С., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Бабаханова М.А., Шамсиева С.С., Рахимов Х.Ю.</b> Маҳаллий ва иккиламчи хомашёлардан полимер композицияси асосидаги янги лок-бўёк материалларини эксплуатацион хоссаларини аниқлаш .....	147
<b>Mamatqodirov B.D., Yakubov.Y.Y., Ibragimov A.B. Sidorenko A.Yu.</b> Kaolin nanonaylarini SEM tasvirlari tahlili .....	149
<b>Safarov A.R., Bozorov A.N., Ibragimov A.B.</b> Cu(II) ionini 2-amino 5-metiltio 1,3,4-tiodiazol asosida olingan yangi metal kompleksining EA va SEM tahlili .....	153
<b>Ermatov R.K., Dekhkanov Z.K., Doliyev. G.A., Abdulhayev. A.B.</b> Optimization of bertole salt obtaining technology through silvinite recycling .....	154
<b>Qo'chqorov Sh.B., Turabdjano S.M.</b> Aralash tolali matolarni yakuniy pardoqlashda tabiiy xitozan bilan ishlov berish .....	156