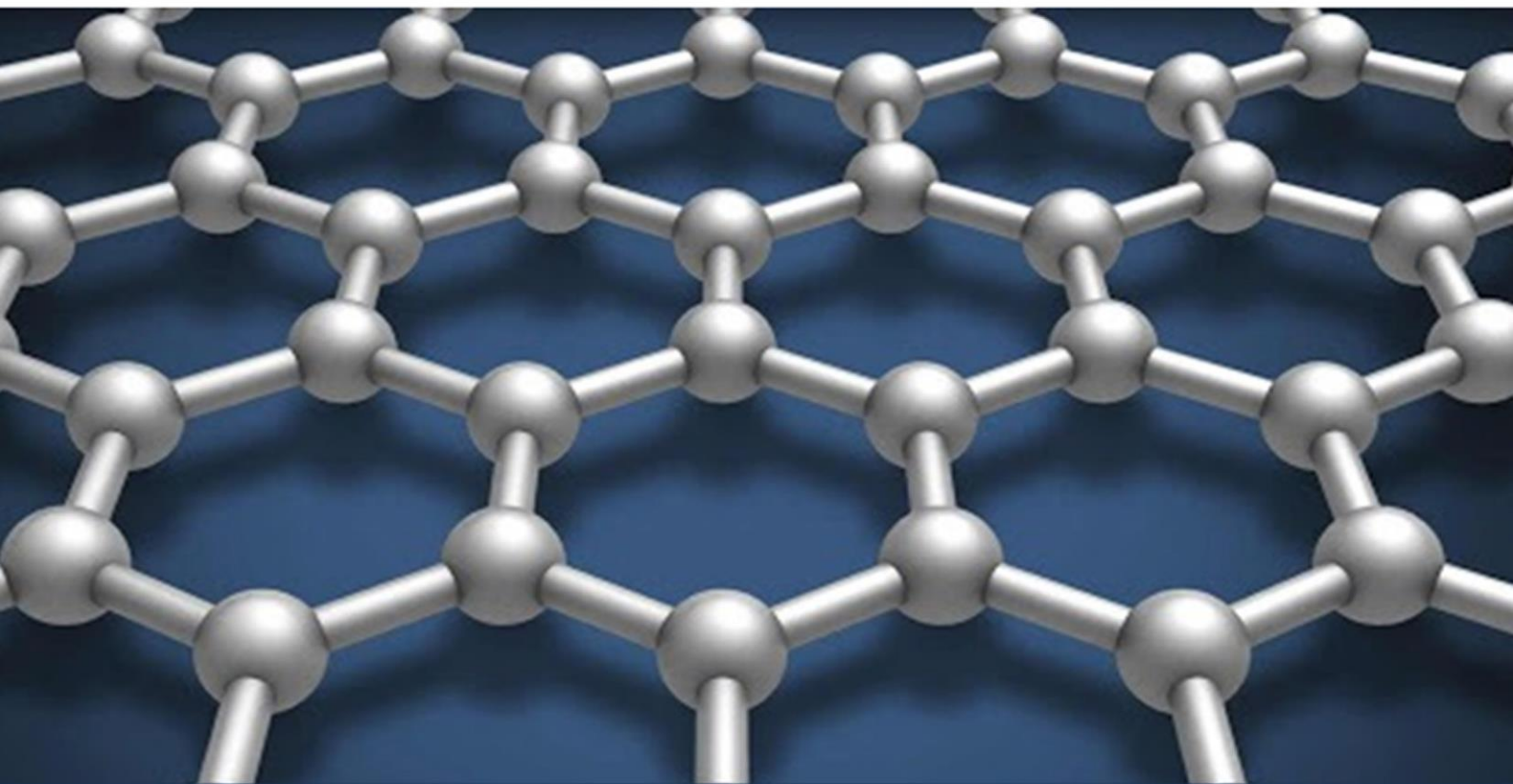


ISSN 2091-5527  
№ 2/2025

Ўзбекистон

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

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ВОДОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Улугова М.М., Панжиев О.Х., Негматов С.С., Талипов Н.Х., Бозорбоев Ш.А.

Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт» при ТГТУ им. И. Каримова

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований физико-химических процессов формирования структуры материала и разработки эффективных составов модифицированных гипсо-карбонатных композиционных гипсовых материалов на основе гипсового вяжущего, микрокальцита и модифицирующих полимерных добавок, способствующие улучшению реологических и физико-механических их свойств и соответственно повышению прочности на изгиб строительных отделочных потолочных подвесных гипсовых плит на их основе.

**Ключевые слова:** структура, реологические свойства, микронаполнитель, микрокальцит, суперпластификатор, модифицирующие добавки, композиция, гипс, потолочные плиты, состав, технология, изделия.

**Введение.** На сегодняшний день в мире применение современных технологий в производстве промышленной продукции, производство конкурентоспособных и экологически чистых материалов, получаемых по ресурсо- и энергосберегающим технологиям, решение экологических проблем становится все более актуальным. В настоящее время, одним из приоритетных задач производства строительных материалов является увеличение объема производства строительных материалов на основе гипсовых материалов [1-11]. В этом плане проведение в исследования в области физико-химической модификации и технологических процессов, позволяющих разработать эффективные составы и оптимальные режимы получения дешевых модифицированных композиционных гипсовых материалов и строительных изделий и улучшение экологической обстановки имеет особое значение.

**Объект и методики исследования.** Объектом исследования является полугидрат сульфата кальция; высокодисперсный карбонатный микронаполнитель и химические добавки, используемые для снижения водо:вяжущую соотношения и повышения водостойкости и эксплуатационных свойств композиционных гипсовых материалов.

В диссертационной работе физико-химические свойства и структуру ингредиентов изучали методами химического,

рентгенофазового, дифференциально-термического анализа. Строительно-технические и физико-механические свойства разработанных модифицированных водостойких композиционных гипсовых материалов были определены методами в соответствии с требованиями ГОСТов.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Для разработки гипсовых материалов использован полугидрат сульфата кальция полученный из природного гипсового камня Карнабского месторождения Самаркандской области методом дегидратации в варочном котле и в качестве высокодисперсного карбонатного наполнителя использовали микрокальцит, полученный из мраморных отходов методом помола и сепарации и в качестве водопонизительной добавки использован суперпластификатор «Melment F10».

При этом нами отобраны три пробы гипсового вяжущего  $\beta$ -модификации полученные при разных температурах и исследован их фазовый состав, физико-механические свойства в соответствии ГОСТ 23789-1018. Результаты определения химического и фазового состава отобранных проб приведены в таблице 1 и 2. Из таблицы видно, что с повышением температуры дегидратации содержание полугидрата сульфата кальция уменьшается.

Таблица 1

Фазовый состав гипсового вяжущего  $\beta$ -модификации

№	Номер вяжущего	Т-ра дегидратации	Фазовый состав, масс.%				сумма
			CaSO <sub>4</sub> 0,5H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	примеси	
1	№1	180	90,0	5,60	2,10	2,30	100,0
2	№ 2	175	93,0	2,10	2,80	2,10	100,0
3	№ 3	170	91,7	1,90	4,20	2,20	100,0

Химический анализ гипсовых вяжущих полученный методом варки в варочных котлах проводился в соответствии с ГОСТ 23981.1 – 23981.14-79 “Методы химического анализа”. По содержанию полуводного сульфата кальция

пробы отвечают требованиям ГОСТ 125-2018, предъявляемым к гипсовым вяжущим. Результаты химического анализа гипсовых вяжущих показаны в таблице 2.

Таблица 2

**Химический состав исходных материалов**

№	Материал	Содержание оксидов, масс. %								
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Сумма
1	гипсовый вяжущий №1	1,61	0,38	0,20	37,63	0,62	53,49	0,05	6,02	100,00
2	гипсовый вяжущий №2	1,56	0,30	0,20	38,16	0,49	53,64	0,05	5,60	99,96
3	гипсовый вяжущий №3	1,62	0,40	0,21	37,66	0,60	53,66	0,05	5,50	99,96

Для определения марки отобранных проб гипсового вяжущего определяли нормальную густоту, сроки схватывания, прочностные

характеристики. Результаты исследование приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Физико-механические характеристики гипсового вяжущего β-модификации**

№	Наименование параметров	Значение параметров		
		Проба №1	Проба №2	Проба №3
1	Степень помола: остаток на сите № 02, %	5,2	5,1	5,2
2	Вода/вяжущее соотношение	0,59	0,60	0,60
3	Сроки схватывания, мин–секунд – начало – конец	8–00	8,0	6-30
		14–30	11-30	9,30
4	Прочность при сжатии, в возрасте 2 ч, МПа	5,7	6,2	5,8
5	Прочность при изгибе, МПа	2,9	3,2	3,0
6	Прочность при сжатии, в сухом состоянии, МПа	12,8	12,9	12,6
7	Прочность при изгибе, в сухом состоянии, МПа	5,6	5,7	5,6

Результаты физико-механических исследований показали, что полугидрат сульфата кальция имеет марку марки Г-6 АП и коэффициент водостойкости равна 0,49.

**Высокодисперсный наполнитель** получен методом помола карбонатной породы (отход белого мраморного отхода) Китабского

месторождения. Химический состав приведен в таблице 4. На рентгенограмме высокодисперсного карбонатного наполнителя все основные отражения принадлежат кальциту CaCO<sub>3</sub>, наличие которого подтверждается линиями d/n = 0,383; 0,305; 0,304; 0,281; 0,248; 0,226; 0,207; 0,189; 0,185; 0,162; 0,159 Нм.

Таблица 4

**Химический состав высокодисперсного карбонатного микронаполнителя**

Содержание оксидов, масс. %										
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ППП	Сумма
0,43	0,56	0,45	53,58	0,42	0,05	0,07	0,14	0,06	43,20	98,96

Физико-химические исследования показали, что структура карбонатных компонентов изменяется от мелко – (0,1–10 мкм) до средне кристаллической (20–30 мкм). Основной составляющей карбонатных пород является кальцит, но его свойства существенно меняются в зависимости от вида породы, а с

другой стороны, карбонатные породы, даже относящиеся к одному классу минералов, могут существенно отличаться по своей структуре.

В ходе проведения экспериментальных исследований по подготовке гипсо-карбонатных составов было приготовлено девять составов гипсо-карбонатной смеси (табл. 5).

Таблица 5

Состав смеси для получения гипсо-карбонатной композиционного материала

№	Компоненты	Соотношение компонентов, масс. %								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Гипсовый вяжущий	100,0	97,5	95,0	92,5	90,0	87,5	85,0	82,5	80,0
2	Микрокальцит	-	2,5	5,0	7,5	10,0	2,5	15,0	17,5	20,0

Результаты исследования показали, что в процессе гомогенизации компонентов в шаровой мельнице с повышением времени

перемешивания резко снижается остаток на сите № 02 (900 отв/см<sup>2</sup>).

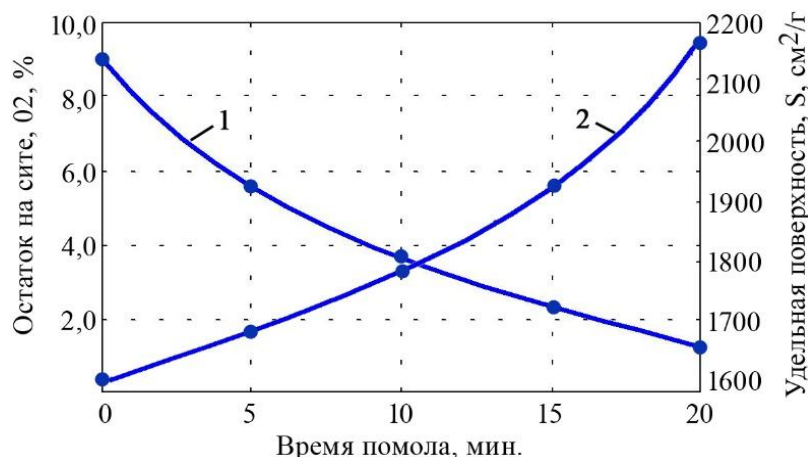


Рис. 1. Зависимость тонкости помола (1) и удельной поверхности гипсо-карбонатной композиции (2) от времени помола

На основании проведенных исследований установлено, что перемешивание исходных материалов в лабораторной шаровой мельнице приводит к механической деструкции компонентов и элементов их структуры, частично диспергирует зерна карбоната кальция. За счет чего происходило дополнительное измельчение полугидрата сульфата кальция, что привело к увеличению тонкости помола и удельной поверхности гипсо-карбонатной композиции. Это способствует существенному увеличению количества активных центров в единице объема материала.

При этом высвобождается значительное количество энергии, которое способствует повышению активности высокодисперсного микронаполнителя.

На основании проведенных исследований установлено, что при тонком помоле гипсо-карбонатной композиции увеличивается удельная поверхность композиции. Фазовый состав гипсо-карбонатной композиции исследован с применением рентгенофазового анализа. Диффрактограмма гипсо-карбонатной композиции приведена на рисунке 2.

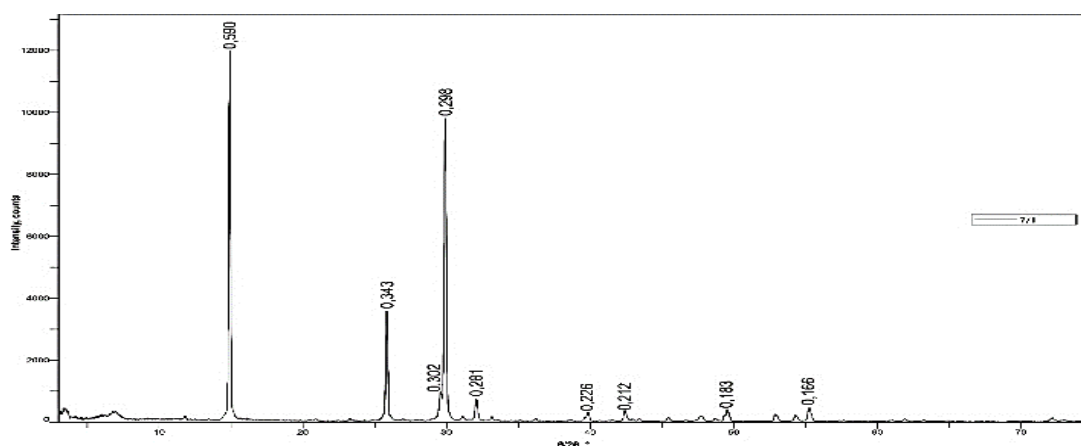


Рис. 2. Диффрактограмма гипсо-карбонатной композиции состоящей из 80% дигидрата сульфата кальция и 20 % высокодисперсного карбонатного наполнителя-микрокальцита

Из дифрактограммы видно (рис.2), что основной фазой является полугидрат сульфата кальция ( $a/n = 0,590; 0,343; 0,3297; 0,278; 0,166$  нм) и карбоната кальция ( $d/n = 0,281; 0,248; 0,226; 0,1853; 0,162; 0,159$  нм).

Далее рассмотрим свойства разработанных композиционных гипсовых материалов,

полученных путем тщательно смешивания гипсового вяжущего и тонкодисперсного микрокальцита. На таблице 6 приведены результаты исследований реологических и физико-механических свойств гипсо-карбонатных композиционных материалов.

**Таблица 6**  
**Влияние высокодисперсного наполнителя на реологические и физико-механические свойства гипсо-карбонатной композиции**

№	Состав, масс. %		Нормальная густота	Сроки схватывания, мин-сек		Прочность, МПа	
	Гипсовый	Микрокальцит		начало	конец	$R_{из}$	$R_{сж}$
1	100,0	-	0,61	4-00	6-00	3,0	6,1
2	97,5	2,5	0,61	4-00	6-00	3,1	6,4
3	95,0	5,0	0,62	4-30	6-30	3,3	6,9
4	92,5	7,5	0,62	5-30	7-00	3,5	7,5
5	90,0	10,0	0,63	6-00	8-00	3,6	7,6
6	87,5	12,5	0,64	7-00	9-00	3,7	7,6
7	85,0	15,0	0,65	7-00	9-00	3,9	6,0
8	82,5	17,5	0,67	7-00	10-00	4,0	5,8
9	80,0	20,0	0,67	8-00	11-00	4,0	5,6

Лабораторные исследования по изучению физико-механических свойств гипсо-карбонатной композиции показали, что тонкодисперсный карбонатный наполнитель в количестве 10-15% выполняет роль пластификатора. При более высокой степени наполнения (20%) водопотребность вяжущего повышается незначительно, а прочностные показатели гипсо-карбонатной композиции улучшаются на 15-18 %. Повышение прочностных показателей объясняется тем, что высокодисперсные частицы микрокальцита заполняют пустоты между более грубыми зернами в процессе формирования структуры дигидрата сульфата кальция.

Применение быстро схватывающих композиционных гипсовых материалов в строительстве обусловлено во многом совокупностью положительных свойств. В первую очередь, это отсутствие усадочных деформаций, высокой адгезионной прочности и водостойкости. Как показали результаты исследований применения гипсо-карбонатной композиции для изготовления строительных отделочных изделий в процесс гидратации в течение 120 минут формируется структура дигидрата сульфата кальция.

Далее для повышения физико-химических свойств и водостойкости сульфатсодержащих композиционных модифицированных гипсо-карбонатных материалов нами была применена полимерная добавка - суперпластификатор «Melment F10». Смеси готовились методом перемешивания полимерной добавки с гипсо-карбонатной композицией в лабораторном миксере в течение 15 минут. Содержание суперпластификатора составляло 0,0; 0,25; 0,50; 0,75 и 1,0 % от массы гипсового вяжущего. В приготовленных смесях определяли нормальную густоту по ГОСТ у 23789-2018.

Из полученных данных в таблице 7 видно, что с повышением содержания добавки суперпластификатора до 0,75 % резко снижается водопотребность гипсо-карбонатной композиции. При этом коэффициент размягчения гипсо-карбонатной композиции оценивался по водостойкости стандартных образцов размером 4x4x16 см изготовленные на основе растворной смеси нормальной густоты гипсового материала, и она находится в пределах от 0,59 до 0,74 при содержании СП «Melment F10» от 0,0 до 1,0 %.

В таблице 7 приведены технологические характеристики модифицированных композиционных гипсовых материалов.

Таблица 7

## Влияние СП Melment F10 на технологические характеристики гипсо-карбонатной композиции

№	Содержание СП Melment F10, %	В/Г	Сроки схватывания, мин		Коэффициент размягчения ( $K_p$ )
			начало	конец	
1	0,0	0,61	4-00	6-00	0,59
2	0,25	0,51	4-00	6-00	0,62
3	0,50	0,42	5-00	7-00	0,66
4	0,75	0,40	5-00	8-00	0,73
5	1,0	0,37	6-00	8-00	0,74

Исследованием установлено, что, уменьшение водогипсового отношения с 0,7 до 0,4 позволяет увеличить прочность изделий из строительного гипса в 2,5-3,0 раза. Прочность на сжатие и на изгиб затвердевшего гипсового вяжущего и изделий из него в большой степени зависит от их влажности. В частности, даже сорбционное увлажнение до 0,5-1 % сухого гипсового образца, находящегося в воздухе с относительным содержанием паров воды 80-100 %, снижает его прочность до 60-70 % прочности в высушенном состоянии.

Установлено, что пластифицирующий эффект в растворных смесях позволяет снизить водогипсовое отношение (В/Г) при сохранении требуемой подвижности, что можно объяснить действием электростатической и пространственной стабилизации.

Таким образом, на основании проведенных исследований по изучению суперпластификатора на физико-механические свойства гипсо-карбонатной композиции

установлено, что прочностные характеристики повышаются. Введение в состав гипсо-карбонатной композиции водопонижающих добавок способствует повышению прочности на изгиб и увеличить водостойкость изделий, изготовленный на основе модифицированной гипсо-карбонатной композиции.

**Вывод.** На основе проведенных исследований установлен принцип действия суперпластификатора на создание условий для образования водоустойчивых соединений, формирование более плотной структуры затвердевшего материала в системе при низком содержании воды.

Научно обоснована и экспериментально подтверждена эффективность повышения водостойкости и улучшение прочностных характеристик композиционных гипсовых материалов путем модификации с применением высокодисперсных наполнителей и полимерного модификатора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Новиченкова Т.Б. Малоэнергоёмкие гипсовые материалы и изделия на основе отходов промышленности // Строительные материалы, 2006. - №7. С. 8.
2. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): Справочник/ Под общей редакцией А.В. Ферронской. – М.: АСВ, 2004. – 488
3. Полак А.Ф., Бабков В.В., Капитонов С.М., Анваров Р.А. Структурирование и прочность водовяжущих комбинированных гипсовых систем//Изв.вуз.Строительство и архитектура. М.,1991. №8
4. Иваницкий В.В., Клыкова Л.Я., Байканов Ж.П., Плетнев В.П. Гипсовые вяжущие повышенной прочности и водостойкости из фосфогипса //Строительные материалы, 1983. - № 9. – С. 12-14.
5. Гордашевский П.Ф., Плетнев В.П., Данилов В.И., Лаврова Т.А. Фосфогипсовое вяжущее повышенной водостойкости и области его применения //Строительные материалы, 1980.№2. С.12-13.
6. Сучков В.П. Гипсовые строительные материалы и изделия, полученные механохимической активацией техногенного сырья: Автореф..... д.т.н. –Санкт-Петербург, 2009. – 42 с.
7. Г.И. Яковлев, А.Ф. Гордина, И.С. Полянских, Х.-Б. Фишер, Н.С. Рузина, Е.В. Шамеева, М.Е. Холмогоров. Гипсовые вяжущие композиции, модифицированные портландцементом и металлургической пылью // Строительные материалы. – 2017. – № 6. – С. 76-79
8. ГОСТ 125-2018 «Вяжущие гипсовые. Технические условия» - М.: Стандартинформ, 2018. – 8 с. <http://uzsti.uz/shop/16819>
9. Lessowik, W.S. Zusammengesetzte Gips binde mittel unter Anwendungvomtechnogenen Rohstoff / W.S. Lessowik, N.W. Tschernyschewa // 1.WEIMARER GIPSTAGUNG, Weimar Gypsum Conference, 30-31 Marz 2011. – Weimar, 2011. – С. 407-416.
10. Lesovik, V. Gipskompositim System ‘Mensch – Werkstoff – Lebensraum’/V. Lesovik, H.-B. Fischer, N. Tschernyschova // 2.WEIMARER GIPSTAGUNG, Weimar Gypsum Conference, 26-27 Marz 2014. – Weimar, 2014. – S. 39-44.

## СОДЕРЖАНИЕ

## 1. Химия и физикохимия композиционных материалов и нанокomпозитов

Улугова М.М., Панжиев О.Х., Негматов С.С., Талипов Н.Х., Бозорбоев Ш.А. Исследование физико-химических процессов формирования структуры водостойких композиционных материалов на основе модифицированных гипсовых вяжущих .....	3
Негматова К.С., Ходжаева Д.Н., Рузиева Б.Ю., Абед Н.С., Шамсиева С.С., Жалилов Ш.Н., Пирматов Р.Х. Исследование механизма взаимодействия в процессе модификации мочевиноформальдегидных смол с выбранными модифицирующими минеральными наполнителями путем применения современных физико-химических методов .....	8
Sayitova N.N., Ibragimova K.S., Tangyarikov N.S. Piro-, Rodo-, mezoporfirin va ularning komplekslarini 3D-metallar bilan suvsiz erituvchilarda erishi va erish jarayonlarini qiyosiy o'rganish .....	10
Исаева Н.Ф. Цеолитные адсорбенты: экологически безопасные решения для очистки природного газа и воды .....	13
Кулдеев Е.И., Негматов С.С., Тастанов Е.А. Изучение физико-химических характеристик руд диатомитовых месторождений Казахстана .....	15
Xushvaqto'v S.Y., Jurayev M.M., Bekchanov D.J., Muxamediev M.G. Tarkibida azot va oltingugurt tutgan funksional ion almashinuvchi materiallarga Pb (II) ionlarining sorbsiyasi .....	19
Xusenov A.Sh., Ashurov M.M., Abdullaev X.O., Raxmanberdiev G. Plyonkaning gidrofilligi va mexanik mustahkamligiga inulin va uning hosilalari ta'sirini aniqlash .....	22
Mirzoyeva G.A., Fayziyev J.B., Nazarov N.I. Rux oksidi asosida ftalotsianin birikmasining sintezida katalizatorning ta'siri va fizik-kimyoviy tahlili .....	25
Islomova Yu.O'., Abdushukurov A.K. N-akriloloksokarbazolni polipropilen bilan modifikatsiyalash reaksiyasi .....	29
Qurbanova L.M., Eshmamatova N.B., Akbarov H.I., Bekmurodova M.E., Ismoilova M.D. Po'lat korroziyasida anilinning fosfatli birikmasi asosidagi ingibitorlarning fizik-kimyoviy xususiyatlari.....	31
Ibragimov T.E., Nurullaev Sh.P. Clay adsorbents Cr <sup>6+</sup> adsorption ionization .....	35

## 2. Физико-механика и трибология композиционных материалов

Xasanov J.N., Turaev A.N., Davulov Sh.B. Analysis of cast iron melting technology in electric arc furnace ....	39
Abdulhaqova Sh.B., Rasulov A.X. Kompozitsion materiallarni yaratishda ishlatiladigan talk turlarining xususiyatlarini o'rganish usullari .....	42
Ризаева Н.М., Сайдумаров Б.М. Исследование состояния поверхности стали на границе раздела металла и околонины при нагреве .....	43
Tursunbayev S.A., To'raxodjayev N.D., Nurdinov Z.B., Mardonaqulov Sh.O'., Hudayqulov Sh.O'., To'rayev A.N. Alyuminiy qotishmalarining korroziyabardoshliligiga germaniy elementini ta'siri .....	45
Каримов Ш.А., Шакиров Ш.М., Абдумаликова М. Кукун материаллари босим остида электроконтакти пиширишда зичланувчанилиги ва электрокаршилиги .....	48
Khasanov J.N., Saidkhodjaeva Sh.N., Turaev A.N. Microstructure of gray cast iron and its effect on mechanical properties .....	52
Искандарова М, Атабаев Ф.Б., Турсунова Г.Р., Абдуллаев М.Ч. Влияние керамического кирпича физико-механические свойства портландцемента .....	55
Норхужаев Ф.Р., Аралова К.Б., Маматкулов Р.Ш., Аширов А.А. Технологические возможности способов упрочнения деталей машин и инструментов .....	57

## 3. Разработка и технология получения композиционных материалов

Улугова М.М., Панжиев О.Х., Негматов С.С., Талипов Н.Х., Бозорбоев Ш.А. Исследование физико-механических свойств и разработка технологии получения водостойких модифицированных композиционных материалов с применением модифицирующих добавок .....	60
Рахматова Н.Ф., Шахакимова А.А., Рахматуллаева Н.Т., Абдуллаева Д.К. Получение энергоносителей из нефтешлама и других вторичных ресурсов методом пиролиза .....	62
Xidirova M., Abdugapporova G., Mahkamov M., Shaxidova D. Epoksid smolasi, polietilen-poliamin va mahalliy bentonit gilmovalari asosida polimer kompozitsiyalar olish va ularning sorbsion xossalarini o'rganish..	68
Жуманиязов А.Б., Тураходжаев Н.Д., Тухтамуродов Б.Т., Сабиров М.З. Получения качественных литейных изделий применяя правильные термобарьеры на 3D принтерах .....	72
Махкамова Л.К., Абдукаримова С.А., Ботиров А.М., Атакузиева Д.Р. Волокнообразующие сополимеры акрилонитрила с N-морфолин-2-хлорпропилакрилатом .....	74
Шакиров Ш.М., Каримов Ш.А., Даминов Л.О. Темир кукуни асосли композицияларни пресшлашда ён девор босими ва уни аниклаш .....	77