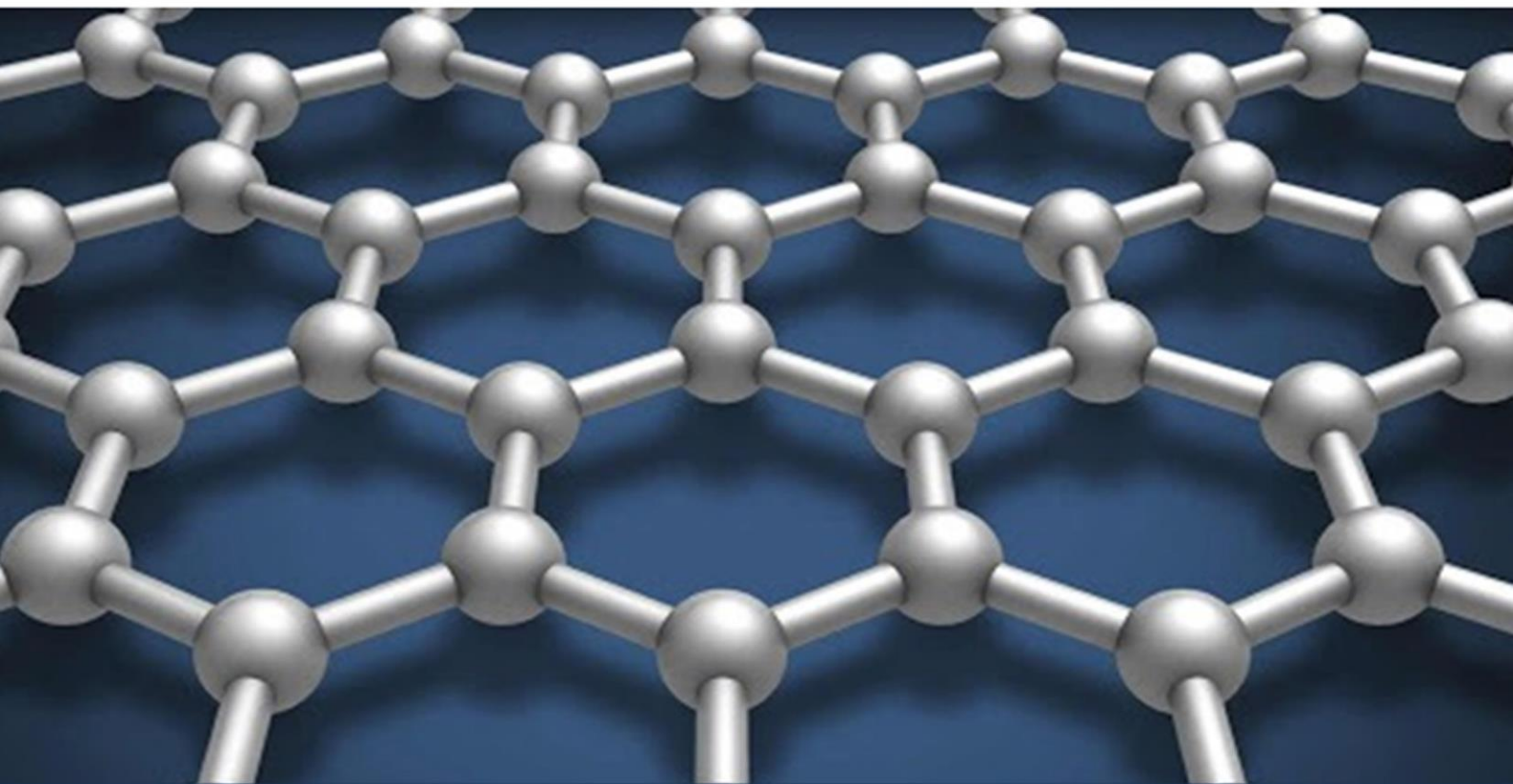


ISSN 2091-5527
№ 2/2025

Ўзбекистон

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Абед Н.С., Негматов С.С., Улмасов Т.У., Негматов Ж.Н., Туляганова В.С., Рузиева Б.Ю., Хаминов Б.Т., Бозорбоев Ш.А., Шамсиева С.С.

ГУ «Фан ва тараққийёт» при ТГТУ им. И.Каримова

Аннотация. С учетом актуальных литературных данных показано, что возможности использования гречневой лузги в качестве эффективного природного наполнителя акустических композиционных материалов продемонстрированы в исследованиях. Предложены технологии и способы получения акустических композитов на основе полимерных связующих и волокнисто-пористых природных компонентов (биомассы) для применения в качестве эффективных барьеров в целях защиты от промышленного и транспортного шума.

Ключевые слова: акустические композиционные полимерные материалы, биомасса, наполнитель, объемная плотность.

Введение. Анализ современной научно-технической литературы, патентной и иной информации показывает, что интерес к научным исследованиям и практическому использованию новых экологически безопасных акустических композитов непрерывно возрастает. Это связано с острейшей актуальностью стоящих перед современным обществом экологических проблем, в частности таких, как поиск новых источников возобновляемого сырья и материалов, управление ресурсами или защита окружающей среды от загрязняющих веществ и вредных физических факторов.

Акустические материалы – это искусственные материалы, предназначенные для диссипации звуковой энергии [1]. Различают акустические материалы со звукопоглощающими и со звукоизоляционными свойствами [2] – [3]. Звукопоглощающие материалы, как правило, обладают малой объемной плотностью. Их звукопоглощающая способность обусловлена пористой структурой и наличием большого числа открытых сообщающихся между собой (открытых) пор. Звукопоглощающие материалы поглощают энергию звуковых волн, которые распространяются в них. Механизм поглощения звука заключается в преобразовании энергии звуковых колебаний в тепловую энергию вследствие потерь на вязкое трение в капиллярах пор или необратимых потерь на деформацию волокнистой структуры материала. Основное отличие звукоизолирующих материалов заключается в том, что они преимущественно отражают звук, и тем самым, препятствуют прохождению звука. Как правило, это материалы с достаточно высокой плотностью.

Анализ научной и патентно-технической информации в области звукопоглощающих композиционных материалов и шумопоглощающих конструкций, применяемых, прежде всего, в автомобильной промышленности, показал, что постоянно

растущие требования к экологической безопасности привело к значительному расширению использования натуральных волокон, древесных опилок и другого сырья, полученного из биомассы, поскольку оно менее опасно для человека, по сравнению с материалами из синтетических волокон. Волокна образуют структуру с открытыми порами, которая обладает низким сопротивлением потоку воздуха, в то время как другие материалы, полученные из биомассы, такие как рисовая и гречневая шелуха, могут использоваться в качестве наполнителя в акустических композитах. Возможности использования гречневой лузги в качестве эффективного природного наполнителя акустических композиционных материалов продемонстрированы в предыдущих исследованиях [4-6].

Основные механизмы звукопоглощения в таких материалах состоят в преобразовании энергии звуковых колебаний в тепловую энергию вследствие потерь на вязкое трение в капиллярах пор или необратимых потерь на деформацию волокнистой структуры материала. В преимущественно пористых материалах механизмы звукопоглощения включает три основных составляющих: колебания молекул воздуха в порах материала вызывает трение о стенки пор, что приводит к переходу звуковой энергии в тепловую и к последующему рассеянию (1); проникновение продольных звуковых волн приводит к периодическим сжатиям/разряжениям воздуха в порах, что также с расходом энергии на эти процессы (2); резонансные явления стенок пор приводят к преобразованию звуковой энергии в механическую и тепловую (3) (рис. 1) [7-9].

Исходя из представленных механизмов звукопоглощения можно сформулировать три основных принципа для проектирования эффективных звукопоглощающих материалов и используемых в них компонентов: (1) материалы

должны иметь достаточно большое количество пор различной формы (такие как полости, каналы или промежутки); (2) выбор размера пор должен быть основан на частотном диапазоне поглощаемого шума, поры должны быть связаны друг с другом для распространения звуковых волн; (3) между внутренними порами и внешней поверхностью материалов должны быть сообщающиеся каналы. Таким образом, введение в состав полимерных матриц микро- и наноразмерных модификаторов для улучшения акустических характеристик композитов должно преследовать цели повышения вязкоупругих потерь механической энергии волокнистого каркаса, а также модифицирования структуры пор.

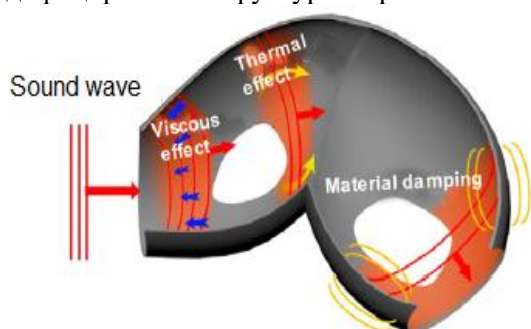


Рис. 1. Схема отражающие основные механизмы звукопоглощения пористых материалов [4-6]

Однако для более точного анализа звукопоглощения, описывающие частотную зависимость акустических характеристик, необходима разработка и применение более сложных микроструктурных модели, которые определяется подробными структурными параметрами волокнисто-пористого материала.

Существуют активные и пассивные звукопоглощающие системы [10]. Активные системы характеризуются использованием внешнего источника энергии для уменьшения уровня звука. В случае пассивных систем ослабление звука происходит без использования дополнительной энергии, благодаря внутренним характеристикам материала. Пассивные системы могут быть разделены на мембранные, резонансные и пористые.

На рис. 2 представлены типичные зависимости коэффициента поглощения от частоты для данных систем.

Мембранные звукопоглощающие системы представляют собой непористые листы или панели, расположенные на определенном расстоянии от глухой стенки. К преимуществам данных конструкций можно отнести высокую стойкость к воздействию климатических факторов. Основным недостатком данного типа поглотителей является небольшой диапазон эффективного поглощения, как правило, не превышающий двух октав.

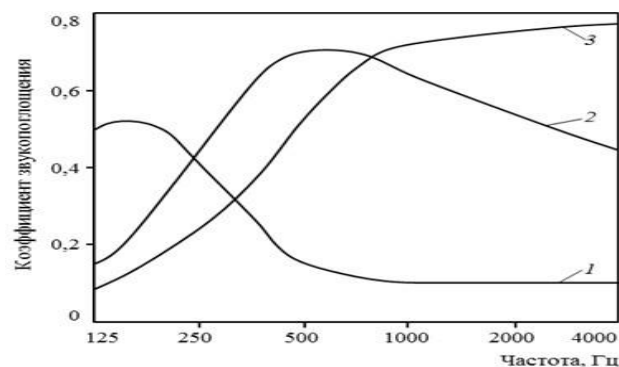


Рис. 2. Типичные зависимости коэффициента поглощения от частоты для мембранных (1), резонансных (2) и пористых (3) звукопоглощающих материалов

Резонансные системы – это системы, основанные на резонаторах, одним из способов формирования которых является использование перфорированных листов с расположенными за ними глухими стенками, в ряде случаев разделенными на ячейки – для снижения перемещения акустической волны вдоль конструкции. Основным отличием таких систем от мембранных является наличие перфорирования в листах, обеспечивающее возможность резонанса при определенных частотах.

Наиболее универсальными и широко применимыми являются системы на основе пористых звукопоглощающих материалов [11, 12]. Они представляют собой твердые вещества с большим количеством пор и каналов. На рис. 3 представлено схематическое изображение пористого материала. В таких материалах присутствуют открытые, закрытые, глухие и сквозные поры, внутренние каналы. Поры влияют на такие характеристики материала, как плотность, механическая прочность, теплопроводность. Закрытые поры в случае жестких стенок менее эффективны для звукопоглощения, чем открытые. Следует также разделять пористость и шероховатость поверхности: неровность считается порой при условии, что ее диаметр меньше ее глубины [11].

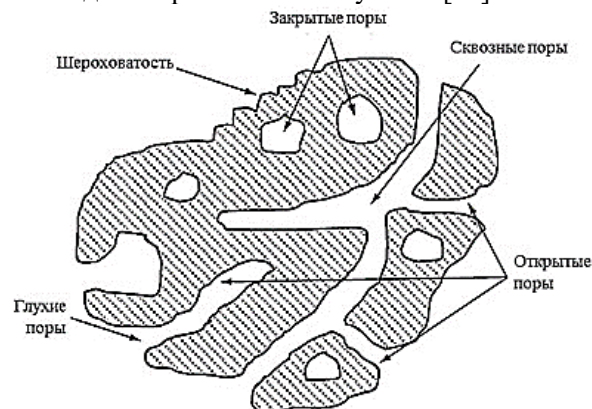


Рис. 3. Схематическое изображение твердого пористого материала

Наличие открытой пористости позволяет звуковой волне легче проникать в материал и, распространяясь внутри образца, терять свою энергию на внутренних стенках. Поглощение, вызываемое вязкостью среды, происходит в результате наличия градиента скоростей воздуха вблизи стенок материала. Силы вязкости, вызывающие поглощение звуковой волны, пропорциональны градиенту скорости, а рассеиваемая акустическая мощность, которая определяет поглощенную в единицу времени энергию, также пропорциональна градиенту скорости [13]. При низких частотах основной вклад в поглощение вносит вязкое поглощение на стенках. Однако с ростом частоты вклад вязких потерь в среде, пропорциональный волновому числу, растет. Вклад потерь от теплопроводности, возникающий вследствие неадиабатических температурных изменений при распространении звуковой волны, сопоставим с потерями от вязкости среды.

Среди пористых звукопоглощающих материалов можно выделить три основные группы: ячеистые, волокнистые и зернистые [11]. На рисунке 4 представлены три основных типа пористых звукопоглощающих материалов, соответствующие микрофотографии, и физические модели, используемые для описания их звукопоглощающих свойств.

Волокнистые материалы, как правило, представлены группами волокон, расположенных в продольном, поперечном и вертикальном направлении (например, базальтовая или минеральная вата). В состав зернистых материалов, как правило, входит шарообразный наполнитель с кубической или гексагональной укладкой (например, материалы на основе перлита, вермикулита, гранул вспененного стекла). Ячеистая структура материала представляет собой поры чаще всего сферической формы, разделенные межпоровыми перегородками (открыто- и закрытопористые пенопласты, ячеистый бетон и т.д.).

Во всех перечисленных видах материалов звукопоглощающие свойства прежде всего зависят от вида пор на поверхности материала и характера пористости внутри.

Из теоретических работ известно, что материалы с высокими звукопоглощающими свойствами в широком интервале частот должны обладать полидисперсной пористостью [14, 15]. При этом величина сквозной пористости находится в пределах 70-90%. Более высокий процент сообщающейся пористости снижает эффективность звукопоглощения вследствие уменьшения вязкого трения воздуха в материале. Для волокнистых структур при

низких частотах эффективными являются материалы с размером пор 350-400 мкм, для высоких частот: 20-50 мкм.

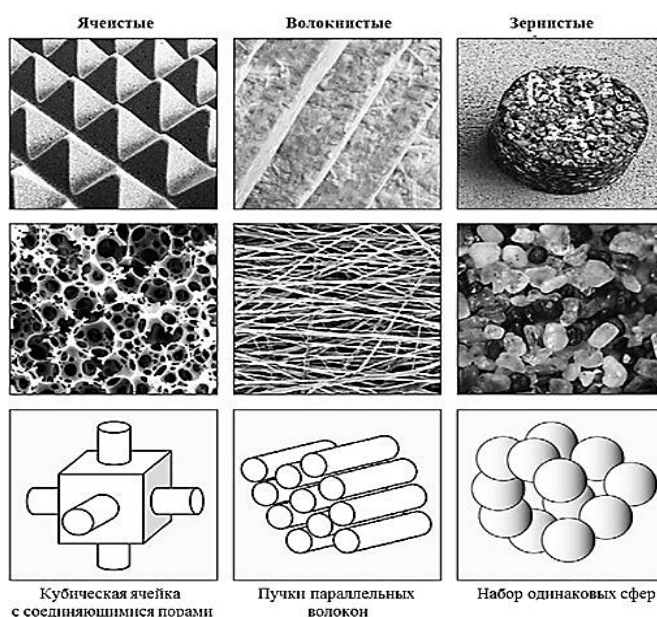


Рис. 4. Три основных типа пористых звукопоглощающих материалов и физические модели, используемые для описания их звукопоглощающих свойств

Ограничение верхнего размера пор связано с тем, что увеличение их размера вызывает снижение диссипации акустической энергии по вязкостному механизму, поэтому, независимо от вида материала, максимальные значения коэффициента звукопоглощения при увеличении размера пор уменьшаются.

С целью сравнения эффективности различных звукопоглощающих матриц проведен анализ научно-технических литературных данных по звукопоглощающим материалам путем сопоставления коэффициентов звукопоглощения при различной толщине материалов. Коэффициент звукопоглощения (КЗП) материала определяется отношением поглощенной энергии звуковой волны к энергии, падающей на поверхность этого материала.

В работах [14, 15, 16], рассмотренных в данном обзоре, как правило, представлена графическая информация частотной зависимости коэффициента звукопоглощения. Для возможности сравнения звукопоглощающих характеристик большого количества материалов из приведенных в работах графических данных определялись значения коэффициентов звукопоглощения при четырех частотах: 250, 500, 1000 и 2000 Гц. Эффективный КЗП рассчитывали, как среднее значение при четырех частотах.

Наилучшие звукопоглощающие свойства показали волокнистые материалы. Так, в работе [16] авторы исследовали волокнистые материалы на основе волокон из полиэфира,

шерсти и хлопка. Толщина одного слоя материала составила 3,7 мм. Высокие звукопоглощающие свойства при толщине 22,6 мм представлены также авторами работы [16] для джутового волокна, состоящего из четырех слоев.

Лучшие звукопоглощающие свойства получены авторами работы [17] на образцах стекловаты при толщине 40 мм. В данной работе образцы на основе алюминиевой губки показали несколько худшие характеристики, чем образцы из стекловаты.

Однако образцы на основе алюминия не являются вредными для здоровья человека, в отличие от образцов из стекловаты: они не поглощают влагу, могут нести физические нагрузки, а также использоваться при более высоких температурах эксплуатации.

Для толщины материала 50 мм лучшие характеристики наблюдались для волокнистых нетканых образцов на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) [18]. Образцы представляют собой многослойные системы, термически скрепленные при продувке горячим воздухом. При толщине 30 мм эти образцы также показывают наилучшие звукопоглощающие свойства. Таким образом, образцы на основе ПЭТФ являются прекрасной альтернативой образцам на основе стекловаты и минеральной акустической ваты.

Взаимосвязь звукопоглощающих свойств при низких и средних частотах и пористости образцов представлена в работе [19]. На основе образцов из вспененного полиуретана показано, что с увеличением плотности образца улучшаются поглощающие свойства при низких частотах, но ухудшаются при более высоких (1000-2000 Гц). Авторы работы [20] на волокнистых образцах из нержавеющей стали также указывают на улучшение поглощающих свойств при низких частотах с увеличением плотности материала. Следует отметить, что зависимость поглощающих свойств от пористости материала имеет экстремальный характер, поскольку, с одной стороны, с увеличением плотности увеличивается сопротивляемость воздушному потоку, способствующая улучшению звукопоглощающих характеристик образца, а с другой – высокая плотность образца приводит к

усилению отражения звуковой волны от поверхности материала.

В работе [21] представлены данные по улучшению звукопоглощающих свойств методом перфорирования пористых образцов на основе базальтовой ваты (рис. 5). Благодаря наличию сквозной микропористости удалось улучшить поглощающие свойства во всем исследуемом диапазоне частот. При этом исходный образец обладал относительно слабыми звукопоглощающими свойствами.

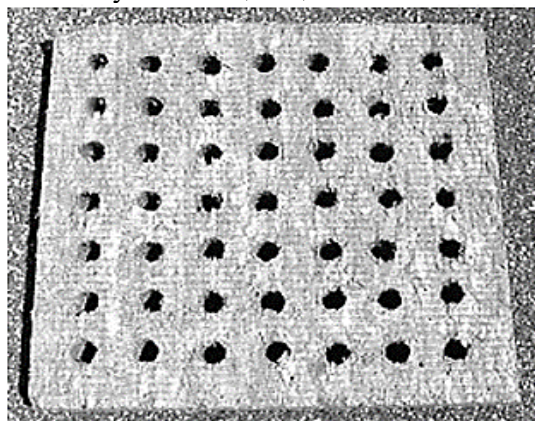


Рис. 5. Пример материала с двойной пористостью – перфорированная базальтовая вата

Заключение. На основе анализа научно-технических литературных данных представлены сравнительные характеристики звукопоглощающих материалов с различным типом матриц. Показано, что наилучшими звукопоглощающими свойствами при частотах 250, 500, 1000 и 2000 Гц обладают волокнистые материалы на основе стекловаты и нетканого материала из ПЭТФ. Толщина образца оказывает существенное влияние на поглощающие характеристики материалов при низких частотах (250 Гц). При высоких частотах (2000 Гц) достичь значений коэффициента звукопоглощения в интервале 0,9-1 можно при толщине образца ~20 мм. Среди ячеистых материалов наилучшими поглощающими характеристиками обладает вспененный полиуретан, который также может быть использован с различными наполнителями. Относительно низкая звукопоглощающая способность зернистых материалов объясняется сравнительно низкой пористостью этих материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bukharov S. N., Sergienko V. P., Kozhushko V. V., Kudina E. F., Tuleika A. S., Iankov R., Datcheva M., Alexiev A. Acoustic composites and noise-reducing structures. Part I. Environmentally friendly components and nanofillers (a review). *Polymer Materials and Technologies*, 2021, vol. 7, no. 1, pp. 6–22.
2. Hopkins C. *Sound Insulation*. Elsevier / Butterworth-Heinemann, 2007. – 622 p.
3. *Sound absorbing and sound insulating materials*. Ed. By E.Ya.Yudin. Moscow: Stroizdat, 1966. 248 p.
4. Anikeenko G.N., e.a. A method of obtaining a tile composite material from lignocellulosic raw materials. Patent RF, no. 2404048, 2010.

6. Проблемные обзоры

Абед Н.С., Негматов С.С., Улмасов Т.У., Негматов Ж.Н., Туляганова В.С., Рузиева Б.Ю., Хаминов Б.Т., Бозорбоев Ш.А., Шамсиева С.С. Современное состояние и анализ акустических композиционных полимерных материалов, применяемых в различных отраслях промышленности	160
Эминов А.М., Хокимов А.Э., Кадирова З.Р., Худайназаров Ф.С., Турдикулов И.Э. Перспективы применение нефтяных шламов в производстве керамических строительных материалов	164
Улмасов Т.У., Абед Н.С., Негматов С.С., Негматов Ж.Н., Хаминов Б.Т., Туляганова В.С., Рузиева Б.Ю., Бозорбоев Ш.А., Шамсиева С.С. Актуальность создания акустических композиционных материалов с применением нанодисперсных модификаторов	168
Юлдашов Д.Я., Юсупбеков А.Х., Зубков Д.Г., Шамсиева С.С. Особенности состава тонкодисперсных шунгитовых порошков	171
Safarov A.R., Bozorov A.N., Ibragimov A.V. Bir o'lchamli Zn(II) koordinatsion polimerida azot molekularining adsorbsiyalanish jarayonini o'rganish	173
Каримов Ш.А., Шакиров Ш.М., Мирзарахимова З.Б. Способы переработки изношенных шин	176
Кадиров С.У., Дадаходжаев А.Т. Производство железоксидного пигмента из отработанных среднетемпературных катализаторов	179
Inomova D.X., Yunusxodjayeva X.M. Insonning tana tuzilishi xususiyatlarini inobatga olib kiyimning konstruktiv-kompozitsion yechimini takomillashtirish	181
Pardayev O.T., Kenjayev N.N., Abdurakhmonov E.B. Kaolin gilidan olingan y-tipli zeolitning rentgen difraksion tahlili	185
Максудходжаева М.С. Комплексное использование промпродуктов переработки клинкера техногенного сырья цинкового производства	188
Sherbutayeva D.D., Azizova X.M. Sorbsiya usuli orqali sanoat sharoitida renydan AP-00 ammoniy perrenat olish texnologiyasi	191
Yunusxodjayeva N.D., Mirtolipova N.X., Yunusxodjayeva X.M. Ayollar ustki kiyimlarida transformatsiya elementlarini qo'llanilishi va iqlimga mos konstruktiv-dekorativ yechimlarini ishlab chiqish	195
Kenjayev N.N., Pardayev O.T., Abdurakhmonov E.B. Skanerli elektron mikroskopiya (SEM) kaolin gilidan sintez qilingan y zeolitning tahlili	198
Садикова Н.К., Амонов М.Р. Изучение очистки сточных вод нефтеперерабатывающих производств комбинированным способом	201
Abdulahobova S.A., Mirtalipova N.X., Kamilova H.H. Ekstremal sovuq iqlim uchun mo'ljallangan maxsus kiyim paketini takomillashtirish	205
Panjiyev O., Negmatov S., Abed N., Talipov N. Rheological and mechanical properties of microsilica composite grouting materials for soil wall stabilization in oil well casing	209
Абед Н.С., Негматов С.С., Абдукаххаров А.А., Туляганова В.С., Касымов Ш.Б., Джабаров Б.Т., Мурадов И.И., Эргашев Н.Э., Хайдаров И.Ю., Курбанов У.М., Бозорбоев Ш.А. Выбор полимеров и органоминеральных наполнителей и методика получения композиционных материалов с высокими электрофизическими и триботехническими свойствами	212
Negmatov S., Panjiyev O., Talipov N., Abed N. Investigation of the physico-mechanical properties of cement-microsilica compositions based on inorganic ingredients for soil wall stabilization in gas wells	215

7. Вести из лаборатории

Абед Н.С., Улмасов Т.У., Негматов С.С., Негматов Ж.Н., Туляганова В.С., Рузиева Б.Ю., Бозорбоев Ш.А., Шамсиева С.С. Изучение и анализ органоминеральных компонентов, применяемых для улучшения акустических характеристик волокнисто-пористых композитов	219
Абед Н.С., Негматов С.С., Касымов Ш.Б., Туляганова В.С., Мурадов И.И., Джаббаров Б.Т., Эргашев Н.Э., Шамсиева С.С., Хайдаров И.Ю., Курбанов У.М., Бозорбоев Ш.А., Абдукаххаров А.А. Перспективы создания композиционных полимерных материалов и покрытий с электропроводящими структурами и высокими триботехническими и механическими характеристиками	222
Xolmirzayev N.B., Turaxodjayev N.D., To'rayev A.N., Toshmatova Sh.T., Nurdinov Z.B., Nazarova N.T. Po'lat qotishmalaridan quymalar olishda nometall qo'shimchalarni kamaytirish ustida olib borilgan tadqiqotlar tahlili	224
Muxtorov S.A. Mahalliy va ikkilamchi xom-ashyolardan, issiqlikka chidamli, yuqori xromli cho'yanlar olishning amaliy istiqbollari	226
Yakubov M.M., Jumayeva X.Y., Yakubov O.M., Maksudxo'jayeva M.S., Suzeva S.N. "Yoshlik 1" karyerini mis porfir rudasini flotatsiya qilish jarayoni uchun tog'jinlarini hosil qiluvchi minerallarning selektiv yig'uvchi reagentini va depressorini tanlash	228