

фильтрующий элемент без подъема насосного оборудования и V-образных проволочных щелевых решеток из прочной нержавеющей стали, расположенных в отсеке фильтра.

В практических методах борьбы с механическими примесями указаны основные направления технологии оснащения призабойных зон скважин фильтрами и основные критерии борьбы с негативным воздействием механических примесей. Исходя из особой важности проблемы уменьшения твердых плавающих частиц при производстве газожидкостной смеси, рассматриваются несколько методов изоляции песка от примесей, используемых при добыче нефти, для защиты глубинного насосного оборудования. Установлено, что решение задачи повышения надежности насосного оборудования при наличии твердых всплывающих частиц в пластовой жидкости требует комплексного подхода к выбору технических средств. Анализ работоспособности существующих фильтров на заборе глубинных насосов показал, что они обладают низкой эффективностью в борьбе с твердыми плавающими частицами, включая необходимость периодического подъема насосного оборудования для очистки из-за прилипания твердых плавающих частиц к поверхности.

УДК 621.926.5:669.223.321
МРНТИ 52.45.15

DOI 10.56339/2305-9397-2023-1-3-181-191

Першин В. Ф., д.т.н., проф., **основной автор**, <https://orcid.org/0000-0002-4083-4072>

Тамбовский государственно-технический университет, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2, 392000, Россия, tstu@admin.tstu.ru

Жумагалиева Г. Б., к.т.н., РФ, <https://orcid.org/0000-0003-2412-3200>

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана, 51, 090009, Казахстан

Имангалиев А. С., магистр техники и технологии, <https://orcid.org/0000-0002-4310-5158>

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана 51, 090009, Казахстан

Қабдығалиева А. А., магистр техники и технологии, <https://orcid.org/0000-0003-0963-2031>

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана 51, 090009

Pershin V. F., Doctor of Technical Sciences, **the main author**, <https://orcid.org/0000-0002-4083-4072>

«Tambov State Technical University», Tambov, str. Sovetskaya 106/5, 392000, Russia, tstu@admin.tstu.ru

Zhumagaliyeva G. B., Candidate of Technical Sciences, <https://orcid.org/0000-0003-2412-3200>

NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Kazakhstan, info@lklirpc.kz

Imangaliyev A. S., Master technics and technology, <https://orcid.org/0000-0002-4310-5158>

NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Kazakhstan, info@ffirpc.kz

Kabdygaliyeva A. A., Master technics and technology, <https://orcid.org/0000-0002-0663-2899>

NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Kazakhstan, info@lklirpc.kz

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГЛАДКИХ ВРАЩАЮЩИХСЯ БАРАБАНАХ GRINDING OF DIFFERENT MATERIALS IN SMOOTH ROTATING DRUMS

Аннотация

В данной статье проведено обзор научных статьи по результатам проведенных исследовательских работ. Проводилось моделирование движения сыпучих материалов во вращающихся барабанах. Проанализирована зависимость поведения материала от скорости вращения. Исследовалось влияние скорости вращения барабана, коэффициента заполнения барабана мелющими шарами, размеров шаров, коэффициента заполнения барабана материалом, гранулометрического состава мелющих шаров и частиц материала, а также времени измельчения на интенсивность измельчения и гранулометрического состава готового

материала. Были изучены работы ученых посвященные получению графеновых структур в барабанных мельницах. Предложен и теоретически обоснован новый способ определения концентрации графеновых нанопластинок в масле, экспериментально установлено, что отклонения расчетных концентраций от реальных значений не превышают 10%. Дано теоретическое и экспериментальное обоснование диапазонов изменения основных режимных и конструктивных параметров стержневой барабанной мельницы и получена зависимость для расчета ее производительности по сухим графеновым пластинкам, на основе которой разработана методика расчета стержневых барабанных мельниц для получения графено-содержащих концентратов. Кроме того, теория предсказала значительное влияние длины и диаметра мельницы не только на производительность, но и на качество измельчения.

ANNOTATION

This article provides an overview of scientific articles based on the results of research work. The influence of the rotation speed of the drum, the filling coefficient of the drum with grinding balls, the size of the balls, the filling coefficient of the drum with material, the granulometric composition of grinding balls and material particles, as well as the grinding time on the grinding intensity and the granulometric composition of the finished material was studied. The works of scientists devoted to the production of graphene structures in drum mills were studied. A new method for determining the concentration of graphite nanoplates in oil has been proposed and theoretically substantiated, and it has been experimentally established that the deviations of calculated concentrations from real values do not exceed 10%. The theoretical and experimental substantiation of the ranges of changes in the main operating and design parameters of a rod drum mill is given and a dependence for calculating its performance on dry graphene plates is obtained, on the basis of which a method for calculating rod drum mills for obtaining graphene-containing concentrates is developed. In addition, the theory predicted a significant impact of the length and diameter of the mill, not only on productivity, but also on the quality of grinding.

Ключевые слова: *измельчение руд, вращающиеся барабаны, интенсивные измельчение, коэффициент дисперсии, графеновая структура*

Keywords: *ore crushing, rotating drums, intensive grinding, dispersion coefficient, graphene structure*

Актуальность. В настоящее время к барабанным и планетарным мельницам ученые многих стран проявляют повышенный интерес, поскольку в них научились получать графеновые нанопластины. В планетарных мельницах сложно организовать крупномасштабное производство, поскольку они, в основном работают в периодическом режиме, а вот для барабанных мельниц производительность при работе в непрерывном режиме практически не ограничена. Проблема заключается в малой интенсивности процесса эксфолиации и, как следствие, длительности процесса. Анализ научно-технической литературы показал, что в барабанных мельницах одновременно реализуются несколько механизмов измельчения частиц: ударом; сдвигом; изломом.

Для описания движения сыпучего материала в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана используют разные математические модели [1-5].

В частности, в работе [5] поток частиц в горизонтальном вращающемся барабане изучается на основе результатов, полученных методом дискретных элементов (DEM). Условия моделирования полностью соответствовали с условиям измерений с помощью метода отслеживания эмиссий позитронных частиц (PEPT) в барабане диаметром 100 мм, заполненном сферами диаметром 3 мм на 35% и вращающемся со скоростью от 10 до 65 об / мин. Результаты расчета по модели хорошо согласуются с измерением PEPT с точки зрения полей динамического угла естественного откоса и пространственной скорости. Зависимость поведения материала от скорости вращения проанализирована на основе результатов матрицы высот с целью установления пространственного и статистического распределения микродинамических переменных, связанных со структурой потока, таких как пористость и координационное число, а также силы взаимодействия частиц, относительная скорость столкновения и частота столкновения. Была также предпринята попытка объяснить влияние скорости вращения на агломерацию на основе полученных результатов.

В статье [6] представлено численное исследование движения двумерных частиц в коротком вращающемся барабане с использованием метода дискретных элементов. Боковые стенки барабана имели одинаково расположенные зазоры, ширина которых находится между двумя диаметрами частиц. Одна торцевая стенка барабана была зафиксирована, в то время как

другая вращалась вместе с барабаном. Мелкие частицы поступали в барабан непрерывно в центральной области в осевом направлении. Исследовано влияние скорости вращения на объемную задержку и время пребывания мелких частиц в барабане. На рисунке 1 представлена схема моделируемого барабана.

Цель исследований: разработка способа промышленного получения графеновых нанопластинок в гладких вращающихся барабанах.

Задачи исследований:

- анализ режимов движения материала и мелящих тел в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана;
- разработка механизма сдвиговой эксфолиации графита в стержневой барабанной мельнице и получение зависимости для расчета параметров, характеризующих данный процесс;
- методом Рамановской спектроскопии в лабораторных условиях проанализировать толщину полученных графеновых нанопластинок.

Материалы и методы исследований.

Установлено, что уменьшение скорости вращения резко увеличивает объемную задержку и время пребывания мелких частиц в барабане.

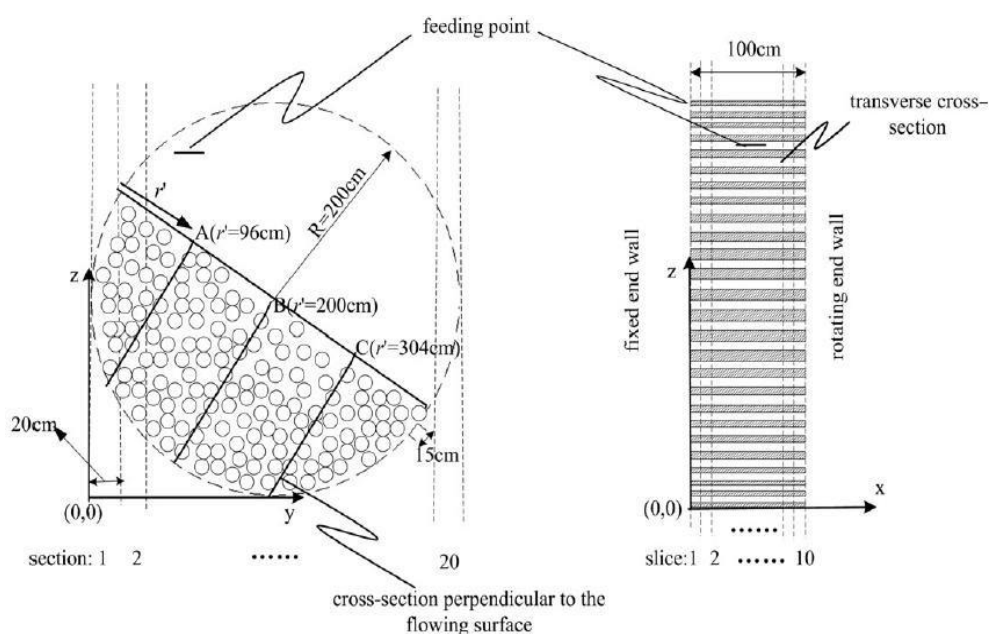


Рисунок 1 – Схема барабана и скатывающегося слоя по ширине барабана [6]

Режимы течения частиц прогнозируются с помощью метода дискретных элементов (DEM) в эллипсоидальном вращающемся в горизонтальной плоскости барабане на разных скоростях вращения [7]. Проведено сравнение макроскопического поведения потока частиц в горизонтальных барабанах с круглым и эллиптическим поперечным сечением. Моделирование показывает, что в одном раунде есть два различных режима потока. Слой частиц становится более расширенным с увеличением скорости вращения. Модель позволяет прогнозировать эволюция результирующих сил контакта между частицами и стенками барабана в горизонтальной плоскости.

Моделируемый индекс смешивания указывает, что смешивание частиц улучшается при низкой скорости вращения, а разделение частиц усиливается при увеличении скорости вращения.

Одна из моделей движения частиц в циркуляционном режиме представлена в работе [8]. При разработке модели сделаны допущения о симметричности границ, что не соответствует действительности [9].

Основной недостаток этих моделей заключается в сложности экспериментального определения многочисленных параметров. В работе [10] предложен энергетический подход, который позволяет при минимуме допущений адекватно описать распределение материала и рассчитать параметры движения частиц [11].

Машины, основным рабочим органом которых является гладкий вращающийся барабан, широко используются для измельчения разных материалов. Прежде всего, это шаровые барабанные мельницы и шаровые планетарные мельницы.

Измельчение строительных материалов, например гипса, человечество использует многие тысячи лет. В частности, гипс использовали при строительстве пирамид, примерно в 3700 г. до н.э. Гипс встречается на всех континентах мира и является одним из лидеров среди строительных материалов [1]. В данной работе исследовали влияние скорости вращения барабана, коэффициента заполнения барабана мелящими шарами, размеров шаров, коэффициента заполнения барабана материалом, гранулометрического состава мелящих шаров и частиц материала, а также времени измельчения на интенсивность измельчения и гранулометрического состава готового материала. Исследования проводили на лабораторной шаровой мельнице из нержавеющей стали с диаметром барабана 200мм и длиной барабана 200мм. Мелющими телами были шарики из нержавеющей стали плотностью 8000 кг / м^3 и с тремя разными диаметрами (2, 3 и 4 см). В качестве материала для измельчения использовали гипсовую руду. Предварительно руда была измельчена в щековой дробилке до максимального размера-2 мм. На рисунке 2 показана зависимость изменения среднего размера частиц от степени заполнения барабана материалом. Из графика видно, что мелкие частицы можно получить только при очень малых заполнениях.

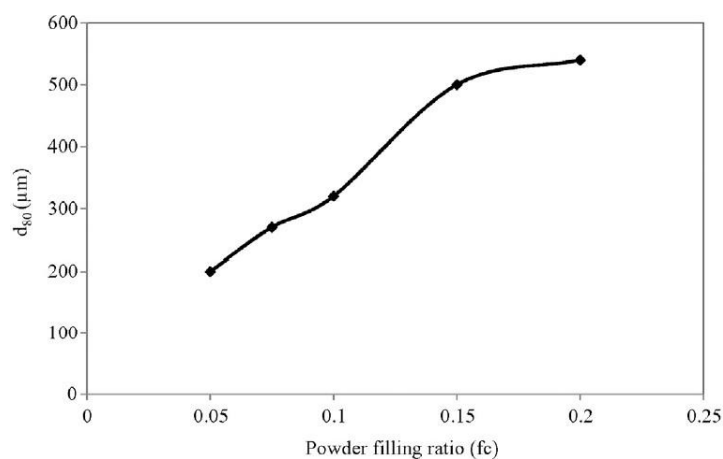


Рисунок 2– Изменение размера измельченных частиц от степени заполнения барабана материалом [1]

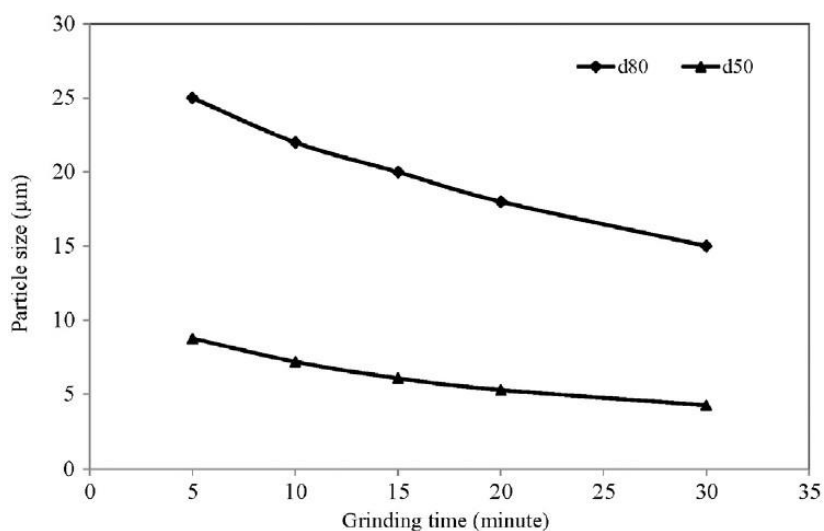


Рисунок 3 – Зависимость изменения размера измельченных частиц от времени [12]

На рисунке 3 показана зависимость изменения размера измельченных частиц во времени. Гипс широко используется в качестве специальных наполнителей, дополнительного белого пигмента, удобрения в сельском хозяйстве, связующего разных строительных материалов, а также в стоматологии. Из графиков видно, что зависимости практически линейные. Зависимости с d_{80} и d_{50} характеризуют содержание частиц в готовом продукте 80 и 50%, соответственно. Во всех этих отраслях гипс необходим в ультратонком измельченном виде [13].

В течение длительного времени процессы измельчения, в частности в шаровых мельницах, подвергались статистическому и кинетическому анализу [14, 15]. Особенно широко шаровые мельницы используют в горной промышленности [16]. Традиционными формами мелящих тел являются шары и стержни [17]. Изучение поведения мелящей загрузки и воздействие шаров на частицы материала позволяет определить условия, в которых мелящие тела максимально воздействуют на материал и обеспечивают максимальную производительность мельницы [18]. Особый интерес в данном исследовании представляют методы описания распределения частиц по размерам, которые учитывают не только ширину распределения размеров [19], но и «крутизну» (SF) кривой распределения частиц по размерам [20]. Используются понятия «широкая» и «узкая» или «крутая» кривая распределения частиц по размерам [21]. Данный подход является более информативным, чем традиционный. Скорость вращения барабана варьировалась от 50 до 90% от критической скорости.

Результаты исследований.

Экспериментальные результаты показали, что наиболее интенсивное измельчение происходит при скоростях вращения барабана от 80% до 90% от критической скорости. Поскольку при скорости 80% от критической скорости потребление энергии существенно меньше, именно эту скорость авторы рекомендуют для использования в промышленном производстве.

В последние два десятилетия с использованием метода конечных элементов (DEM) были разработаны более адекватные модели, описывающие движение и конфигурацию контура загрузки мелящих тел в барабанных. Однако методы DEM в настоящее время не имитируют реальное поведение измельчаемых частиц и влияние частиц на движение шаров, поэтому истинные результаты измельчения непредсказуемы. Авторы [21] выделяют в поперечном сечении барабана три основных зоны: зону помола, где сталкиваются шары друг с другом и измельчают частицы, которые попадают в зону столкновения; восходящую зону, где движутся шары вверх вдоль стенки мельницы; зону падения, где шарики находятся в свободном падении. Фактически измельчение происходит только в одной зоне. Отмечается, что если материала мало, то частицы занимают свободное пространство между мелящими шарами. Шары падают на шары, находящиеся внизу измельчения не происходит, поскольку в зоне удара шаров нет частиц материала. В работе приводятся результаты сравнения расчетов с экспериментальными данными, полученными другими исследователями. Анализируется влияние разных параметров на интенсивность измельчения. Несмотря на значимость данной работы для теории и практике измельчения, в ней не представлено конкретных рекомендаций. Анализируя влияние диаметра шаров на процесс измельчения отмечается, что с увеличением диаметра, увеличивается энергия удара, но одновременно уменьшается количество зон одновременного соударения шаров. При увеличении степени заполнения барабана мелящими шарами увеличивается количество зон измельчения, но одновременно уменьшается энергия удара, поскольку уменьшается высота падения шаров.

Эти зоны отчетливо показаны на рисунке 4, где представлены два варианта заполнения барабана материалом. В первом варианте (рисунок 4а) материал расположен между шарами, а во втором – не только между шарами, но и поверх мелящих шаров.

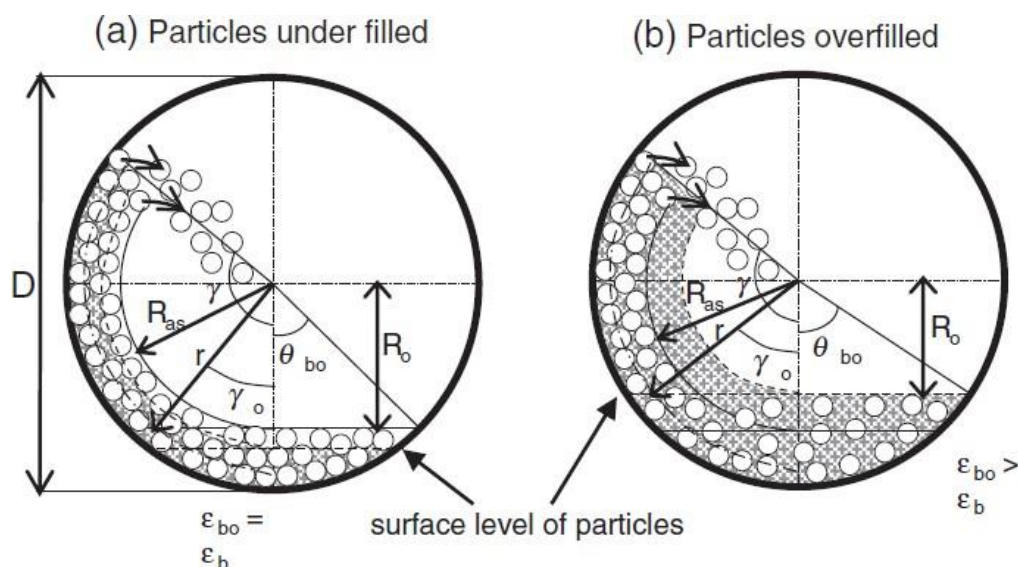


Рисунок 4 – Схемы распределения мельящих шаров и материала в поперечном сечении барабанной мельницы [21]

Следует отметить, что представленные схемы являются сильно упрощенными. Прежде всего, в полученных зависимостях предполагается, что процесс измельчения осуществляется непрерывно с постоянной интенсивностью. Как будет показано в главе 2, падение шаров происходит периодически, причем большую часть времени пребывания в барабане, шары неподвижны относительно обечайки барабана и поднимаются с ней вверх.

В заключение по данной работе следует отметить, что разработана теория измельчения, которая базируется на коэффициенте дисперсии и числе Пекле в непрерывной шаровой мельнице. Коэффициент дисперсии был выражен статистическими параметрами с учетом случайного блуждания шаров и частиц. Затем статистические параметры были определены с учетом геометрических и режимных параметров мельницы. Полученные уравнения показали, что коэффициент дисперсии является функцией размера дисперсионной зоны и подвижности шаров в зоне помола. Подвижность характеризуется средней скоростью и длиной свободного пробега. Результаты, полученные из теории, удовлетворительно согласуются с экспериментом. Кроме того, теория предсказала значительное влияние длины и диаметра мельницы не только на производительность, но и на качество измельчения. Результаты данной работы весьма полезны при проектировании барабанных мельниц.

После открытия эффекта электрического поля в графене в 2004 году [22] этот материал очень заинтересовал академические круги. Графен обладает большим потенциалом использования во многих областях благодаря превосходной теплопроводности [23, 24]. Много усилий было сделано для получения графена, имеющего один или несколько слоев, в том числе микромеханическое расслоение высокоупорядоченного пиролитического оксида графита [25], химическое осаждение из паровой фазы [26, 27], расслоение жидкой фазы графита [28-30], эпитаксиальный рост [31], термическое отшелушивание. Для получения графеновых структур, в качестве исходного сырья использовали гексагональные графитовые порошки (HG). Порошки HG сушили при 75 °C в течение 2 часов в печи. Затем обезвоженные порошки HG измельчали в лабораторной планетарной мельнице Fritsch Pulverisette Premium line 7 с использованием шаров диаметром 19 мм при 400 об / мин в течение 50 часов. Порошки, полученные после процесса измельчения, смешивали с насыщенными кислотами, H₂SO₄ и HNO₃, в течение 12 часов с использованием магнитной мешалки. Смесь порошка, отфильтрованного от кислой смеси, орошали дистиллированной водой до тех пор, пока ее pH не становился нейтральным. Порошок, полученный в конце этого процесса, называется графитовым интеркалированным соединением (GIC). GIC нагревали до 950° C, чтобы получить расширенный графит (EG). EG - это структура, в которой расстояние между слоями увеличено, по сравнению с исходным графитом, но слои все еще связаны друг с другом ван-дер-ваальсовыми связями. EG перемешивали в N, N-диметилформамиде (ДМФА) с помощью ультразвукового

гомогенизатора (Bandelin Sonoplus, модель HD 3200, 200 Вт, при 50% мощности, т.е. 100Вт) в течение 2 часов. Далее готовили суспензию EG в ДМФА с концентрации 0,05 мг/мл. Затем смесь центрифугировали при 5000 об / мин в течение 8 часов для удаления ДМФА. Порошки орошали этанолом и сушили в вакуумной печи при 75° С в течение 4 часов для удаления спирта. Результаты исследований с использованием просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (HRTEM, JEOL Jem 2100F), спектроскопии комбинационного рассеяния (Witecsnom- Raman) с использованием лазерного возбуждения 532 нм через 100-кратный объектив и термогравиметрического анализа (TGA) образцов показали, что в результате сильных ударных воздействий, большая часть графита перешла в аморфное состояние.

На рисунке 5 показаны TEM изображения полученных графеновых листов.

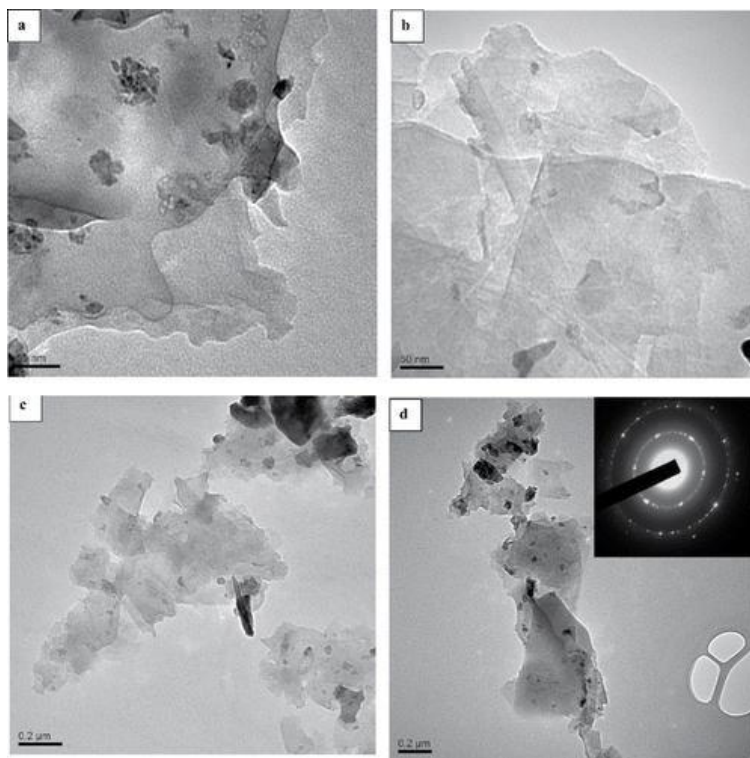


Рисунок 5 – Снимки графеновых нанопластинок [33]

Как видно из снимков, нанопластины графена были обнаружены в каждой области продукта, полученного в результате метода жидкофазной эксфолиации в шаровой планетарной мельнице. Как видно из изображений 3a и 3b, многие листы толщиной в несколько нанометров. Ширина этих листов достигает нескольких микрометров. Электронная дифракция (ЭД), приведенная на рисунке 2d, подтвердила кристалличность структуры графена. Однако, когда картина ЭД была исследована, можно было также утверждать, что в структуре были неупорядоченные области. Внутренние части слоев и даже частично весь слой имели неупорядоченные структуры. Темные цветные частицы присутствовали в графеновых слоях или / и областях, близких к ним, на всех изображениях рисунка 5. Эти частицы представляли собой структуры аморфного углерода. Ранее было указано, что во время измельчения HG происходит частичная аморфизация. Рентгеноструктурный анализ, проведенный в конце процесса измельчения, также показал, что аморфизация присутствовала в HG.

Рамановская спектроскопия - эффективный метод, используемый для характеристики углеродных материалов, как с упорядоченной, так и с неупорядоченной кристаллической структурой. Кроме того, этот метод позволяет проанализировать толщину графеновых нанопластинок. На рисунке 6 приведены спектры комбинационного рассеяния измельченных слоев HG, EG и синтезированного графена. Как видно из рисунка, в спектрах комбинационного рассеяния углеродных материалов обнаружено 3 характерных пика. Среди этих пиков пик, наблюдаемый примерно при 1350 см⁻¹, был пиком полосы «D».

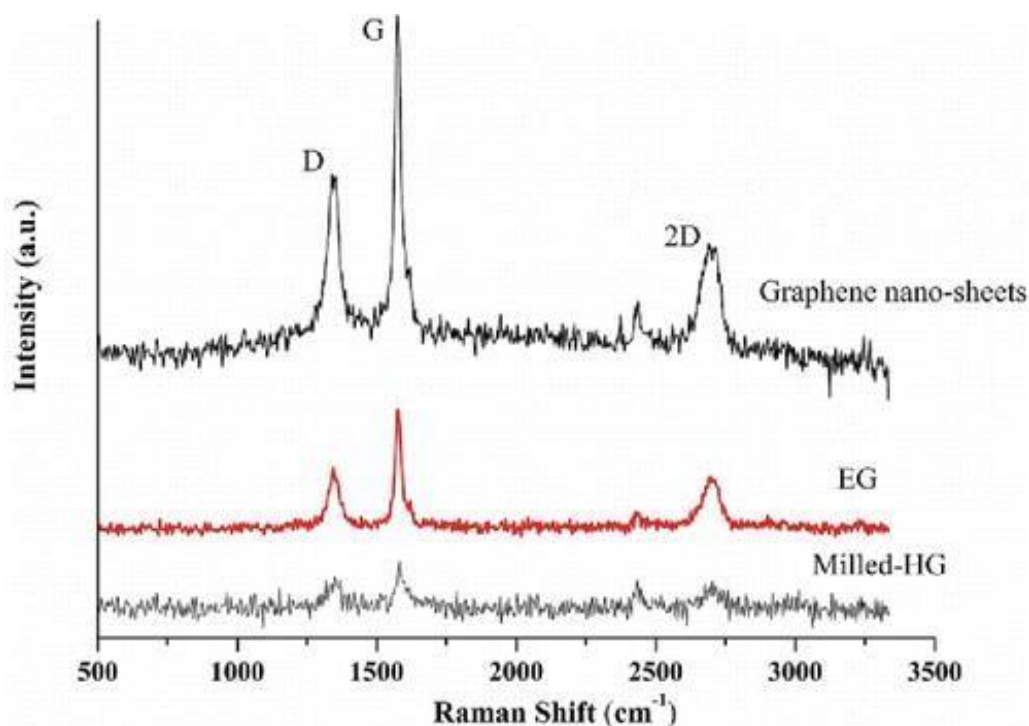


Рисунок 6 – Рамановские спектры графеновых нанопластинок [33]

Этот пик был показателем дефектов, обнаруженных внутри структуры Пик, видимый приблизительно при 1600 см⁻¹, является пиком полосы «G». На этом пике отмечены атомы углерода, связанные sp²-связью. Другими словами, это был индикатор графитового массива. Пик «2D», наблюдается приблизительно при 2700 см⁻¹. Именно этот пик используется для определения количества слоев в многослойных структурах. Интенсивность характерных пиков в спектрах комбинационного рассеяния образца, полученного после 50-часового помола HG, относительно низкая. Эта ситуация указывает на то, что аморфный углерод преобладал во всей структуре в конце 50-часового помола.

Выводы.

1. При производстве малослойного графена (≤ 5 слоев), обработкой в шаровой планетарной мельнице графита в присутствии сухого льда в течение 48 часов достигли высокой производительности.
2. Полученный продукт обладает высокой диспергируемостью в различных растворителях.
3. Результаты данной работы подтверждают возможность получения графена в результате сдвиговых воздействий на графит, без окисления исходного графита.
4. Предложена новая процедура отслаивания с помощью шаровой мельницы с добавлением модификатора DY50 для получения нанопластин графена с высоким выходом ($\sim 100\%$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Shi, F. A specific energy-based ball mill model: From batch grinding to continuous operation / Shi, F., Xie, W. // Minerals Engineering. - 2016. - Vol. 86. - P. 66-74.
- 2 Mulenga, F.K. Sensitivity analysis of Austin's scale-up model for tumbling ball mills. - Part 1. Effects of batch grinding parameters / Mulenga, F.K. // Powder Technology. - 2017. - № 311. - P. 398-407.
- 3 Mulenga, F.K. Sensitivity analysis of Austin's scale-up model for tumbling ball mills. - Part 2. Effects of fullscale milling parameters / Mulenga, F.K. // Powder Technology. - 2017. - № 317. - P. 6-12.
- 4 Scale-up of batch grinding data for simulation of industrial milling of platinum group minerals ore / N. Chimwani [and ect] // Minerals Engineering. - 2014. - Vol. 63. - P. 100-109.

- 5 Yang, R.Y. Microdynamic analysis of particle flow in a horizontal rotating drum / Yang, R.Y., Zou, R.P., Yu, A.B. // Powder Technology. - 2003. - Vol. 130. - № 1-3. - P. 138-146.
- 6 Granular flow in a rotating drum with gaps in the side wall / Liu, X [and ect] // Powder technology. - 2008. - Vol. 182. - № 2. - P. 241-249.
- 7.Numerical simulation of different flow regimes in a horizontal rotating ellipsoidal drum / Li, D. [and ect] // Powder Technology. - 2016. - Vol. 291. - P. 86-96.
- 8 Granular motion in rotating drums: bed turnover time and slumping–rolling transition / Y.L. Ding [and ect] // Powder Technology. - 2002. - Vol. 124. - № 1-2. - P. 18-27.
- 9 Першин, В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа: монография / Першин, В.Ф., Однолько, В.Г., Першина, С.В. - М.: Машиностроение, 2009.-220 с.
- 10 Pershin, V.F. Energy method for describing granular motion in a smooth rotating cylinder / V.F. Pershin // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. - 1988. - № 22. - P. 196-201.
- 11 Öksüzöğlu, B. An experimental study on the ultra-fine grinding of gypsum ore in a dry ball mill / B. Öksüzöğlu, Uçurum, M. // Powder Technology. - 2016. - Vol. 291. - P. 186-190.
- 12 Deniz, V. Influence of interstitial filling on breakage kinetics of gypsum in ball mill / V. Deniz // Advanced Powder Technology. - 2011. - Vol. 22. - № 4. - P. 512-517.
- 13 Epstein, B. Logarithmico-normal distribution in breakage of solids / Epstein, B. // Industrial & Engineering Chemistry. - 1948. - Vol. 40. - № 12. - P. 2289-2291.
- 14 Herbst, J.A. The zero order production of fine sizes in comminution and its implications in simulation / Herbst, J.A., Fuerstenau, D.W. // Transactions of AIME. - 1968. - № 241. - P. 538-549.
- 15 Chenje, T.W. Relationship between microstructure, hardness, impact toughness and wear performance of selected grinding media for mineral ore milling operations / Chenje, T.W., Simbi, D.J., Navara, E. // Materials & design. - 2004. - Vol. 25. - № 1. - P. 11-18.
- 16 Ipek, H. Effect of grinding media shapes on breakage parameters / H. Ipek // Particle & Particle Systems Characterization. - 2007. - Vol. 24. - № 3. - P. 229-235.
- 17 Kiangi, K.K. Particle filling and size effects on the ball load behaviour and power in a dry pilot mill: Experimental study / Kiangi, K.K., Moys, M.H. // Powder Technology. - 2008. - Vol. 187. - № 1. - P. 79-87.
- 18 Jankovic, A. The shape of product size distributions in stirred mills / Jankovic, A., Sinclair, S. // Minerals engineering. - 2006. - Vol. 19. - № 15. - P. 1528-1536.
- 19 Nomura, S. Dispersion properties for residence time distributions in tumbling ball mills / S. Nomura // Powder technology. - 2012. - Vol. 222. - P. 37-51.
- 20 Electric field effect in atomically thin carbon films / Novoselov, K.S. [and ect] // Science. - 2004. - Vol. 306. - P. 666-669.
- 21 Two-dimensional phonon transport in supported graphene / Seol, J.H [and ect] // Science. - 2010. - Vol. 328. - P. 213-216.
- 22 Thermal conductivity of isotopically modified graphene / Chen, S. [and ect] // Nature materials. - 2012. - Vol. 11. - P. 203-207.
- 23 Two-dimensional atomic crystals / K.S. Novoselov [and ect] // Proceedings of the National Academy of Sciences. - 2005. - Vol. 102. - P. 10451-10453.
- 24 Substrate-free gas-phase synthesis of graphene sheets / Dato, A. [and ect] // Nano letters. - 2008. - Vol. 8. - № 7. - P. 2012-2016.
- 25 Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes / Kim, K.S. [and ect] // Nature. - 2009. - Vol. 457. - № 7230. - P. 706-710.
- 26 Production of graphene layer by liquid-phase exfoliation with low sonication power and sonication time from synthesized expanded graphite / Güler, Ö. [and ect] // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. - 2016. - Vol. 24. - № 2. - P. 123-127.
- 27 Güler, Ö. Production of graphene–boron nitride hybrid nanosheets by liquid-phase exfoliation / Güler, Ö., Güler, S.H. // Optik. - 2016. - Vol. 127. - № 11. - P. 4630-4634.
- 28 High-yield production of graphene by liquid-phase exfoliation of graphite / Hernandez, Y. [and ect] // Nature nanotechnology. - 2008. - Vol. 3. - № 9. - P. 563-568.
- 29 Ultrathin epitaxial graphite: 2D electron gas properties and a route toward graphene-based nanoelectronics / Berger, C. [and ect] // The Journal of Physical Chemistry B. - 2004. - Vol. 108. - № 52. - P. 19912-19916.

30 Graphene layers from thermal oxidation of exfoliated graphite plates / Osváth, Z. [and ect] // Carbon. - 2007. - Vol. 45. - №. 15. - P. 3022-3026.

31 Güler, S.H. The production of graphene nano layers by using milling-exfoliation hybrid process / Güler, S.H., Güler, Ö., Evin, E. // Accepted. - 2016. - № 30. - P. 34-39.

REFERENCES

1 Shi, F. A specific energy-based ball mill model: From batch grinding to continuous operation / Shi, F., Xie, W. // Minerals Engineering. - 2016. - Vol. 86. - P. 66-74.

2 Mulenga, F.K. Sensitivity analysis of Austin's scale-up model for tumbling ball mills. - Part 1. Effects of batch grinding parameters / Mulenga, F.K. // Powder Technology. - 2017. - № 311. - P. 398-407.

3 Mulenga, F.K. Sensitivity analysis of Austin's scale-up model for tumbling ball mills. - Part 2. Effects of fullscale milling parameters / Mulenga, F.K. // Powder Technology. - 2017. - № 317. - P. 6-12.

4 Scale-up of batch grinding data for simulation of industrial milling of platinum group minerals ore / N. Chimwani [and ect] // Minerals Engineering. - 2014. - Vol. 63. - P. 100-109.

5 Yang, R.Y. Microdynamic analysis of particle flow in a horizontal rotating drum / Yang, R.Y., Zou, R.P., Yu, A.B. // Powder Technology. - 2003. - Vol. 130. - № 1-3. - P. 138-146.

6 Granular flow in a rotating drum with gaps in the side wall Liu, X. [and ect] // Powder technology. - 2008. - Vol. 182. - № 2. - P. 241-249.

7. Numerical simulation of different flow regimes in a horizontal rotating ellipsoidal drum / Li, D. [and ect] // Powder Technology. - 2016. - Vol. 291. - P. 86-96.

8 Granular motion in rotating drums: bed turnover time and slumping–rolling transition / Y.L. Ding [and ect] // Powder Technology. - 2002. - Vol. 124. - № 1-2. - P. 18-27.

9 Pershin, V.F. Pererabotka sypuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa: monografiya / Pershin, V.F., Odnol'ko, V.G., Pershina, S.V.. - M.: Mashinostroyeniye, 2009.-220 s.

10 Pershin, V.F. Energy method for describing granular motion in a smooth rotating cylinder / Pershin, V.F. // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. - 1988. - № 22. - P. 196-201.

11 Öksüzoğlu, B. An experimental study on the ultra-fine grinding of gypsum ore in a dry ball mill / Öksüzoğlu, B., Uçurum, M. // Powder Technology. - 2016. - Vol. 291. - P. 186-190.

12 Deniz, V. Influence of interstitial filling on breakage kinetics of gypsum in ball mill / V. Deniz // Advanced Powder Technology. - 2011. - Vol. 22. - № 4. - P. 512-517.

13 Epstein, B. Logarithmico-normal distribution in breakage of solids / Epstein, B. // Industrial & Engineering Chemistry. - 1948. - Vol. 40. - № 12. - P. 2289-2291.

14 Herbst, J.A. The zero order production of fine sizes in comminution and its implications in simulation / Herbst, J.A., Fuerstenau, D.W. // Transactions of AIME. - 1968. - № 241. - P. 538-549.

15 Chenje, T.W. Relationship between microstructure, hardness, impact toughness and wear performance of selected grinding media for mineral ore milling operations / Chenje, T.W., Simbi, D.J., Navara, E. // Materials & design. - 2004. - Vol. 25. - № 1. - P. 11-18.

16 Ipek, H. Effect of grinding media shapes on breakage parameters / Ipek, H. // Particle & Particle Systems Characterization. - 2007. - Vol. 24. - № 3. - P. 229-235.

17 Kiangi, K.K. Particle filling and size effects on the ball load behaviour and power in a dry pilot mill: Experimental study / Kiangi, K.K., Moys, M.H. // Powder Technology. - 2008. - Vol. 187. - № 1. - P. 79-87.

18 Jankovic, A. The shape of product size distributions in stirred mills / Jankovic, A., Sinclair, S // Minerals engineering. - 2006. - Vol. 19. - № 15. - P. 1528-1536.

19 Nomura, S. Dispersion properties for residence time distributions in tumbling ball mills / Nomura, S. // Powder technology. - 2012. - Vol. 222. - P. 37-51.

20 Electric field effect in atomically thin carbon films /. Novoselov, K.S [and ect] // Science. - 2004. - Vol. 306. - P. 666-669.

21 Two-dimensional phonon transport in supported graphene / Seol, J.H. [and ect] // Science. - 2010. - Vol. 328. - P. 213-216.

22 Thermal conductivity of isotopically modified graphene / Chen, S. [and ect] // Nature materials. - 2012. - Vol. 11. - P. 203-207.

- 23 Two-dimensional atomic crystals Novoselov, K.S. [and ect] // Proceedings of the National Academy of Sciences. - 2005. - Vol. 102. - P. 10451-10453.
- 24 Substrate-free gas-phase synthesis of graphene sheets / Dato, A. [and ect] // Nano letters. - 2008. - Vol. 8. - № 7. - P. 2012-2016.
- 25 Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes / Kim, K.S. [and ect] // Nature. - 2009. - Vol. 457. - № 7230. - P. 706-710.
- 26 Production of graphene layer by liquid-phase exfoliation with low sonication power and sonication time from synthesized expanded graphite / Güler, Ö. [and ect] // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. - 2016. - Vol. 24. - № 2. - P. 123-127.
- 27 Güler Ö. Production of graphene–boron nitride hybrid nanosheets by liquid-phase exfoliation / Güler, Ö., Güler, S.H. // Optik. - 2016. - Vol. 127. - № 11. - P. 4630-4634.
- 28 High-yield production of graphene by liquid-phase exfoliation of graphite / Hernandez, Y. [and ect] // Nature nanotechnology. - 2008. - Vol. 3. - № 9. - P. 563-568.
- 29 Ultrathin epitaxial graphite: 2D electron gas properties and a route toward graphene-based nanoelectronics / Berger, C. [and ect] // The Journal of Physical Chemistry B. - 2004. - Vol. 108. - № 52. - P. 19912-19916.
- 30 Graphene layers from thermal oxidation of exfoliated graphite plates / Osváth, Z [and ect] // Carbon. - 2007. - Vol. 45. - № 15. - P. 3022-3026.
- 31 Güler, S.H. The production of graphene nano layers by using milling-exfoliation hybrid process / Güler, S.H., Güler, Ö., Evin, E. // Accepted. - 2016. - № 30. - P. 34-39.

ТҮЙІН

Бұл мақалада жүргізілген зерттеу жұмыстарының нәтижелері бойынша ғылыми мақалаларға шолу жасалды. Айналмалы барабанда себілмелі материалдардың қозғалысы Барабанның айналу жылдамдығының, барабанды ұнтақтау шарларымен толтыру коэффициентінің, шарлардың өлшемдерінің, барабанды материалмен толтыру коэффициентінің, ұнтақтау шарлары мен материал бөлшектерінің гранулометриялық құрамының және ұнтақтау уақытының ұнтақтау қарқындылығына және дайын материалдың гранулометриялық құрамына әсері зерттелді.

Барабанды диірмендерде графендік құрылымды алуға арналған авторлардың жұмыстары зерттелді. Майдағы графенді нанопластикалардың концентрациясын анықтаудың жаңа тәсілі ұсынылып, теориялық негізделді, есептік концентрацияның нақты мәннен ауытқуы 10%-дан аспайтыны эксперимент жүзінде орнатылды. Были изучены работы ученых посвященные получению графеновых структур в барабанных мельницах. Предложен и теоретически обоснован новый способ определения концентрации графеновых нанопластинок в масле, экспериментально установлено, что отклонения расчетных концентраций от реальных значений не превышают 10%. Барабан диірменінің негізгі режимдік және құрылымдық параметрлерінің өзгеру диапозондарының теориялық және эксперименттік негіздемесі келтірілген және оның құрғақ графен пластинкалары бойынша өнімділігін есептеу үшін тәуелділік алынған, оның негізінде графен бар концентраттарды алу үшін барабан диірмендерін есептеу әдістемесі жасалған. Сонымен қатар, теория диірменнің ұзындығы мен диаметрінің өнімділікке ғана емес, ұнтақтау сапасына да айтарлықтай әсерін болжаған.

ӨОЖ 622.276.58:622.276.344
FTAXP 52.47.27

DOI 10.56339/2305-9397-2023-1-3-191-202

Тажибасев Д. К., техника ғылымдарының кандидаты, негізгі автор, <https://orcid.org/0000-0002-6303-5644>

Ұлттық Ғылым академиясының геомеханика және жер қойнауын игеру институты, Бишкек қ., Медерова к., 98,720011, Қырғызстан, dantaji@mail.ru

Джусупкалиева Р. И., техника ғылымдарының магистрі, <https://orcid.org/0000-0001-8916-0008>

«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ,

Жәңгір хан көшесі, 51, Орал қ., 090009, Қазақстан, rozaid2@mail.ru

Амангелдиев Ә. Қ., магистрант, <https://orcid.org/0000-0002-5277-1881>