Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы

1997 жылдан бастап шығады

ВЕСТНИК Торайгыров университета

Энергетическая серия

Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№3 (2026)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО
о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж
выдано
Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность
публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

---

https://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/2710-3420

Бас редакторы – главный редактор
Талипов О. М.
доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора — Калтаев А.Г., *доктор PhD*
Ответственный секретарь — Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	*д.т.н., профессор*
Никифоров А. С.,	*д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н.,	*д.т.н., профессор*
Алиферов А. И.,	*д.т.н., профессор (Российская Федерация)*
Кошеков К. Т.,	*д.т.н., профессор*
Приходько Е. В.,	*к.т.н., профессор*
Кислов А. П.,	*к.т.н., доцент*
Нефтисов А. В.,	*доктор PhD*
Шерьязов С. К.	т.ғ.д., *профессор (Российская Федерация)*
Искакова З. С.	*технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

МРНТИ 44.31.31

https://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/114-130

Г. Ә. Әкімбек[1], *М. А. Каримолданова[2], Б. К. Алияров[3], Г. У. Калкабаева[4]

[1]Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Республика Казахстан, г. Астана;
[2,3]Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы;
[4]ALT Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, Республика Казахстан, г. Алматы.
[1]ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7773-6479
[2]ORCID: https://orcid.org/0009-0009-6762-7901
[3]ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8612-6779
[4]ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8311-5660
*e-mail: m.karimoldanova@aues.kz

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

В рамках данного исследования проводится анализ и оптимизация конструкции шаровой барабанной мельницы, применяемой на угольных электростанциях РК. Угольная энергетика Казахстана в значительной мере опирается на шаровые барабанные мельницы (ШБМ) для тонкого помола угля перед его сжиганием на тепловых электростанциях.

В статье представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований по повышению энергоэффективности шаровых барабанных мельниц (ШБМ) за счет оптимизации конструкции удержателей шаров. Были выявлены ключевые недостатки существующих конструкций: быстрый износ футеровки из-за интенсивного скольжения и ударов шаров, неравномерное измельчение угля, преобладание энергоёмкого истирания над ударным способом и длительное время загрузки-разгрузки материала. Рассмотрены недостатки существующих конструкций и предложены конструктивные решения, позволяющие снизить энергозатраты, увеличить производительность, сократить время загрузки/выгрузки и продлить срок службы футеровки.

Предложена новая конструкция невентилируемой универсальной мельницы. В ней предусмотрены три изогнутых держателя шаров, расположенных на равном расстоянии, люк по всей длине барабана с автоматическим ситом и задвижкой, а также классификатор под барабаном с магнитными уловителями. Такое решение позволяет поднимать шары на оптимальную высоту, существенно снижать скольжение и повышать эффективность ударного измельчения.

Экспериментальный ситовой анализ трёх марок казахстанского угля (Шубаркол, Каражыра и Экибастуз) подтвердил различия в измельчаемости материалов и позволил количественно оценить влияние высоты падения и диаметра шара на гранулометрический состав продукта.

Ключевые слова: шаровая мельница, энергопотребление, износостойкость футеровки, теплоэнергетика, износ, уголь, измельчение.

Введение

В Казахстане энергетический сектор традиционно базируется на угле, и угольные электростанции занимают значительную долю в структуре потребления энергии. В настоящее время 69 % всей электроэнергии в Казахстане вырабатывается на угольных станциях, общая установленная мощность которых приближается к 24 тыс. ГВт, при этом доступная мощность составляет почти 19 тыс. ГВт [1; 2].

В угольной энергетике измельчение дробленного угля до размеров, пригодных для факельного сжигания на угольных ТЭС (100 мкм и менее), достигается с применением трех основных типов мельниц:

– молотковые мельницы, в которых измельчение поступающего угля производится преимущественно (около 90 процентов) ударами, так называемых бил, изготавливаемых из специального металла с повышенной стойкостью к абразивному износу. Измельчение угля в этих типах мельниц происходит также истиранием (с существенно меньшей интенсивностью) в пространстве между соседними билами и между билами и корпусом мельницы;

– валковые мельницы, в которых измельчение угля производится раздавливанием (более 95 процентов) и истиранием в пространстве между валками и ограничителем перемещения угля, устанавливаемого на краю размольного стола;

– шаровые барабанные мельницы, в которых измельчение угля производится ударами шаров, падающих из верхней части барабана на

слой угля и шаров в нижней части барабана и частично - истиранием между шарами, находящимися в нижней части барабана и между шарами и поверхностью барабана.

Количество ТЭС, на которых установлены шаровые барабанные мельницы, существенно преобладают над числом ТЭС с молотковыми мельницами [3; 4].

Несмотря на широкое применение ШБМ, существуют проблемы, связанные с высоким износом футеровки и неравномерным распределением измельченного материала, что снижает общую производительность и увеличивает эксплуатационные расходы. В связи с этим исследование факторов, влияющих на режимы работы мельниц, а также разработка методов повышения их энергоэффективности представляют собой актуальную научно-практическую задачу.

Материалы и методы

Проведён анализ патентов на шаровые мельницы [5; 6; 7], который показал, что наличие сложных многоузловых механизмов затрудняет обслуживание, футеровка подвержена быстрому износу из-за интенсивных ударов шаров; время выгрузки материала ограничивает производительность, измельчение часто неравномерное из-за особенностей геометрии барабана. Известно, что измельчение угля в ШБМ (в идеальном случае) производится преимущественно за счет удара шаров, падающих с наивысшей точки периметра барабана, (находится на угле 180 градусов относительно нижней точки барабана). Для подъема шаров к этой точке, в ШБМ предусматриваются устройств, называемые удержателями шаров. В некоторых конструкциях удержатели представляют собой прямоугольник с высотой, близкой к значению двух диаметров используемых шаров. Опыты на модели шаровой барабанной мельницы показали, что шары из такого удержателя начинают высыпаться при углах поворота барабана на 40-50 градусов и соответственно, с уменьшенной кинетической энергией. Скатывающиеся шары несколько истирают поверхность барабана. Кроме того, при этой конструкции удержателя, вместе с шарами поднимается часть угля, которая будет измельчаться с существенно меньшей интенсивностью. В других конструкциях ШБМ для исключения абразивного износа (при скольжении угля и шаров по поверхности корпуса барабана) на внутреннюю сторону барабана устанавливаются броневые плиты, которые по своей геометрической форме образуют «волнообразные» удержатели шаров. Опыты на модели показали, что из этой конструкции удержателя шары высыпаются практически полностью при углах менее 40 градусов. Это означает, что основная масса шаров и измельчаемого угля будет

двигаться за счет скольжения по поверхности барабана. В результате, вместо эффективного измельчения ударами падающих шаров, уголь преимущественно измельчается энергоемким истиранием между шарами и между поверхностью барабана и шарами. В связи с этим предлагаем более совершенную конструкцию [8].

Для достижения технического результата установка представляет собой невентилируемую универсальную мельницу, предназначенную для измельчения твердых частиц средней фракции, включающее корпус барабана, который закреплен на двух подшипниковых опорах, люк для загрузки и выгрузки, держатели, шары, электродвигатель для вращения, который для улучшение процесса измельчения ввод твердых частиц и шаров осуществляется через разрез по всей длине барабана, а устройство ввода-вывода соединено с ситом с целью удержания шаров и крупных частиц внутри барабана во время процесса разгрузки. Также новизной такой конструкции является то, что под барабаном установлен классификатор для отбора нужной фракции. Кроме того, на внутреннем корпусе барабана закреплены три держателя с особенной конфигурацией, расположенные на равном расстоянии друг от друга. Головка держателя имеет изогнутую форму, предотвращая выпадение шаров, делая эту мельницу более эффективной, безопасной и экономически выгодной.

Устройство состоит из корпуса барабана 1, изготовленного из чугуна или стали, который опирается на подшипники 8. Внутри барабана предусмотрено броня 7 резиновыми плитами для защиты и улучшения износостойкости и уменьшения шума. Шары 5, предназначенные для измельчения материала, также изготовлены из тех же материалов (сталь или чугун) (рисунок 1) [9].

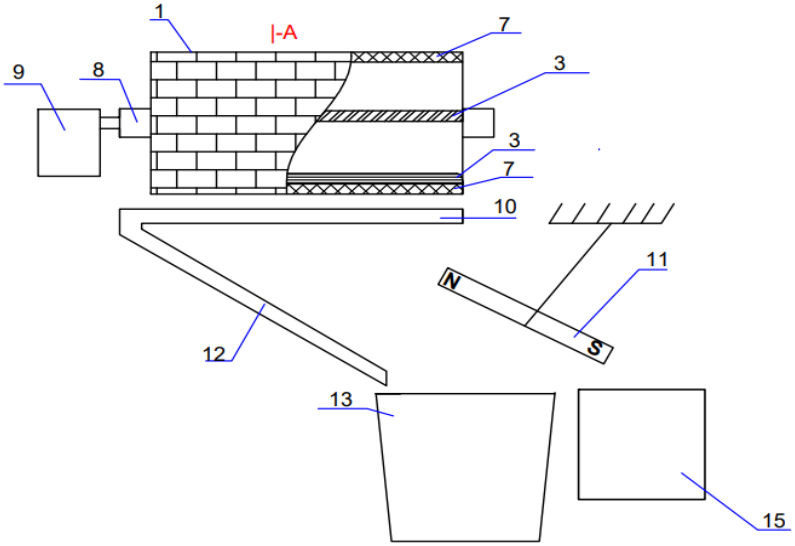
Люк 2, используемый для загрузки и выгрузки материала, жестко соединен с ситом 4, создавая единое устройство. Эффективность процессов управления обеспечивается удобством работы задвижки 14, которая осуществляет открывание и закрывание не только люка, но и сита 4. При поступлении твердых частиц в мельницу сито 4 автоматически открывается вместе с люком 2, обеспечивая плавный поток частиц внутрь мельницы. При выгрузке твердых частиц сито 4 остается в устье мельницы, где оно задерживает крупные частицы. Отличительной особенностью данного подхода является то, что футеровка мельницы проходит через отверстия сита. Это предотвращает износ сита и обеспечивает более эффективное управление процессом измельчения.

Люк 2, для сокращения времени ввода твердых частиц и шаров, автоматически раскрывается вдоль всего барабана, что значительно ускоряет процессы загрузки и выгрузки материала.

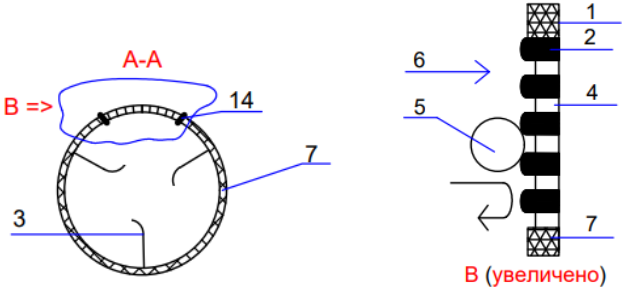
Футеровка (броня) 7 каждого ряда имеет отверстия на внешней стороне. К этой футеровке жестко присоединены три держателя 3, расположенные на равном расстоянии друг от друга. Каждый держатель 3 обладает особенной конфигурацией: головка держателя имеет изогнутую форму. Такая конструкция обеспечивает эффективное разделение шаров от твердых частиц в процессе работы устройства для точного удара. Кроме того, эти держатели 3 выполняют важную функцию защиты шаров 5, предотвращая их износ при взаимодействии друг с другом.

Для загрузки твердых частиц 6 и шаров 5 автоматически открываются и люк, и сито с использованием задвижки 14. После загрузки люк 2 закрывается. Барабан вращается с помощью двух соединенных подшипников 8 и электродвигателя 9. По завершении процесса для разгрузки открывается только люк 2, а через сито 4 происходит выход мелких частиц, сохраняя крупные частицы и шары 5 внутри барабана для последующей обработки.

Находящийся ниже барабана классификатор 10 представляет собой важный этап обработки материала. После того как твердые частицы измельчаются до нужного размера, он направляется на классификатор 10 для последующей сортировки. Здесь происходит просеивание частиц, и те частицы, которые соответствуют требуемому стандарту, проходят через пластину 12 и направляются в бункер 13 для временного хранения. Тем временем частицы, не соответствующие заданным параметрам, возвращаются в барабан для повторной обработки. Для извлечения металлических частиц в участке между пластиной и бункером установлены магнитные уловители 11, которые эффективно захватывают и временно хранят уловленные металлические элементы в емкости 15. Готовый материал, прошедший все этапы обработки и классификации, направляется в бункер 13, где хранится в ожидании последующего использования [10].



а)



б) в)

Рисунок 1 – Невентилируемая шаровая барабанная мельница

Результаты и обсуждение

Влияние веса (размера) шаров. Из школьной геометрии известно, что объем шара по его диаметру определяется по формуле

$$V = (4/3)\pi R^{3}. \quad (1)$$

где R – радиус шара.

Из этой формулы видно, что уменьшение диаметра шара, даже до 0.9 от исходного размера, уменьшает его вес на 27 % от веса шара с исходным

размером. Уменьшение размера до 0.8 от исходного размера снижает вес шара почти на 50 % и соответственно уменьшение размера шара до 0.5, делает его вес совсем незначительным – 0.125 от исходного веса шара. С другой стороны, уменьшение размера шара уменьшает поверхность его воздействия на измельчаемый слой угля (в первой степени).

Очевидно, что при уменьшении диаметра шара уменьшается поверхность взаимодействия шара со слоем угля. В результате удельный вес шара, определяемый на единицу поверхности контакта шара с частицей угля определяется по формуле

$$\frac{V}{S} = \frac{(4/3)\pi R^3}{4\pi r^2}, \quad (2)$$

своего рода «приведенный» вес, увеличивается пропорционально первой степени уменьшения диаметра шара (можно предположить, что взаимодействует половина поверхности шара). Следует отметить, что именно сила этого взаимодействия определяет интенсивность измельчения.

Наряду с ударом об слой угля, шары ударяют также по шарам, расположенными в нижней части барабана вместе с углем. Вероятность удара шаром об шар (в нижней части барабана), при равном количестве этих шаров, снижается по мере уменьшения его размера. Частицы измельчаемого угля в верхней части слоя значительно деформируют воздействие шаров на нижную часть слоя. Однако удар шаров об шары оказывает заметно меньшее отрицательное влияние т.к. упругость столкновения между шарами практически полная.

В шаровой мельнице вместе с процессом измельчения ударом шаров происходит измельчение истиранием между шарами и между шарами и с поверхностью барабана. Этот процесс зависит от площади поверхности шаров и соответственно интенсивность измельчения уменьшается при уменьшении размера шара в квадратичной зависимости.

В результате уменьшенные веса шара (в связи с уменьшением его размера) несколько снижает интенсивность процесса измельчения в шаровой барабанной мельнице.

Опыты на прозрачной модели.

Для оценки эффективности устройства была изготовлена прозрачная модель барабана шаровой барабанной мельницы ШБМ ТЭЦ-3 АлЭС (тип Ш-10) в масштабе 1:5. Конструкция модели предусматривала разделение внутреннего объёма на две идентичные секции:

Первая оснащена традиционными устройствами для удержания шаров, выполненными в виде волнообразной поверхности футеровки.

Вторая секция оборудована удерживающим устройством оригинальной конструкции, предложенной в рамках данного исследования.

В ходе эксперимента проводились наблюдения за траекторией движения шаров и их взаимодействием с измельчаемым материалом. Для фиксации результатов использовалась видеосъёмка с последующим покадровым анализом. Отдельное внимание уделялось времени нахождения шаров в зоне активного измельчения, высоте их подъёма и характеру ударов по материалу.

Проведение эксперимента на прозрачной модели позволило наглядно продемонстрировать различия в поведении шаров при использовании различных конструкций удерживающих устройств, а также количественно оценить их влияние на эффективность измельчения (рисунок 2).



Рисунок 2 – Прозрачная модель ШБМ

Опыты на установке – емкость с угольными частицами

Разместить в емкости угольные частицы:

1.10 раз бросать с равной высоты шар (с заданным размером) на угольные частицы и провести ситовой анализ объема угольных частиц

2.10 раз бросать с разной (3) высоты шар с заданным размером на угольные частицы и провести ситовой анализ объема угольных частиц

3.10 раз бросать с разной высоты шар с другим (3) размером на угольные частицы и провести ситовой анализ объема угольных частиц

В каждом эксперименте ситовой анализ выполнялся по стандартной методике, включающей последовательное просеивание образца через набор сит с уменьшающимися размерами ячеек, определение массовой доли каждой фракции и построение кривых распределения по крупности (рисунок 3, 4).



Рисунок 3 – Труба (емкость),
используемые угольные частицы



Рисунок 4 – Лабораторные весы и сита

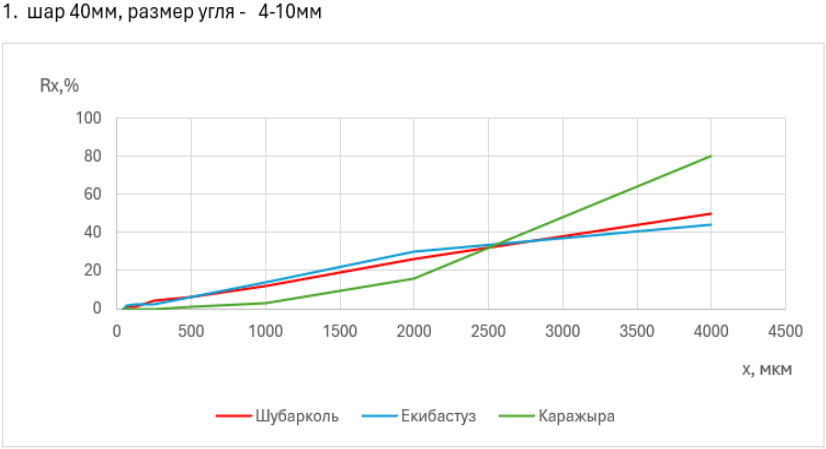
В результате определим влияния высоты падения шаров (влияние очевидное– мы устанавливаем количественную зависимость), влияния размера шара (влияние очевидное– мы устанавливаем количественную зависимость) (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты ситового анализа

размер Сита	4-10мм						2мм						1мм					
	1		2		3		1		2		3		1		2		3	
мкм	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%	г	%
45	0	0	0	0		0		0		0		0		0		0		0
63	0,5	1	0,8	1,6		0	1	2	0,5	1	1	2		0	1	2		0
125	0,5	1	1	2		0	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
250	2	4	1,2	2,4		0	2	4	1,5	3	0,5	1	3	6	2	4	2	4
500	3	6	3	6	0,5	1	4	8	4	8	1,5	3	10	20	11	22	4	8
1000	6	12	7	14	1,5	3	12	24	16	32	4	8	36	72	35	70	43	86
2000	13	26	15	30	8	16	30	60	27	54	42	84	-		-		-	
4000	25	50	22	44	40	80	-		-		-		-		-		-	

В эксперименте использовался стальной шар диаметром 40 мм, масса угля в образце – 50 г, высота падения –1 м. Каждый образец подвергался 10 ударам шара. Испытания проводились для трёх марок угля:1 – Шубаркол, 2 – Каражыра,3 – Экибастуз.

Результаты ситового анализа представлены в таблице 1 и на рисунке 5.



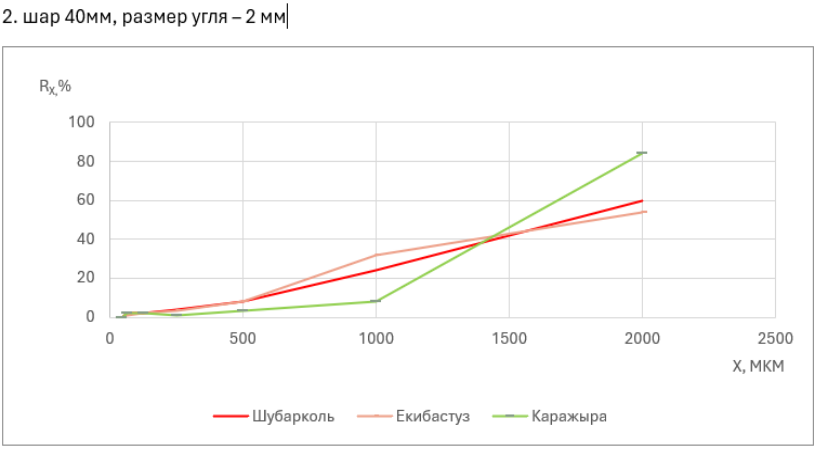


Рисунок 5 – Ситовый анализ различных марок угля.

Сравнение данных показывает, что уголь марки Шубаркол имеет наибольшую долю мелких фракций (<3 мм), что свидетельствует о более эффективном измельчении под воздействием удара шара. Уголь Каражыра и Экибастуз имеют более крупные фракции в остатке, что указывает на их большую прочность или меньшую хрупкость.

Реализация предлагаемых решений позволит снизить расход энергии на размол угля в шаровой мельнице на 20-25 процентов, что, с учетом сложившегося на ШБМ ТЭЦ -3 расхода энергии на размол и годового объема сжигаемого угля, может составить более 3 млн кВт часов в год. Если учитывать, что при получении 1 кВтчаса образуется примерно 1 кг CO_2, то АТЭЦ -3, за счет реализации этого решения, может снизить выбросы углекислого газа более чем на 3000 тонн в год. Это равноценно строительству объекта с мощностью более 400 кВт (со стоимостью строительства в 500 тысяч долларов США) без выбросов углекислого газа.

Предложенное устройство обладает простой конструкцией, экономичностью в производстве и не требует значительных материальных затрат. В процессе ремонта ввод твердых частиц и шаров по всей длине барабана значительно более удобно по сравнению с существующими мельницами. Это обусловлено тем, что в настоящее время твердые частицы извлекаются силой рук, что является опасным для здоровья и жизни человека, а также требует значительного времени для восстановления установки. Предложенная конструкция обеспечивает более безопасный и эффективный процесс ремонта.

Также установка представляет собой новизну в сравнении с действующими мельницами, поскольку в ней замена шаров может осуществляться без необходимости полной остановки установки. В отличие от существующих мельниц, где для подобных операций требуется прекращение процесса. Такой подход обеспечивает более непрерывную и эффективную работу, что может значительно повысить производительность и снизить время простоя оборудования.

Наличие держателей способствует точному направлению удерживающего шара прямо в твердую частицу, что защищает стенки мельницы от быстрого износа шаров. Такой подход также обеспечивает эффективную защиту стенок без необходимости использования дорогостоящих металлических материалов для изготовления брони. Такое улучшение делает предложенную установку более эффективной, долговечной и экономически выгодной по сравнению с традиционными мельницами.

В результате невентилируемая универсальная мельница для измельчения частиц средней фракции позволяет повысить производительность мельницы и снизить затраты электроэнергии на процесс.

Выводы

Очевидно, что создание уменьшенной модели ШБМ, в которой с достаточной достоверностью воспроизводится интенсивность измельчения угля практически невозможно. С другой стороны, на моделях создаваемых с соблюдением условий моделирования, можно изучать влияние отдельных параметров ШБМ с достаточной достоверностью. В частности, на прозрачной модели отработана оптимальная конструкция удержателя шаров и угля, которая обеспечивает наилучшие условия взаимодействия падающих шаров и слоя измельчаемого угля.

В ходе исследования рассмотрены основные направления совершенствования конструкции шаровой мельницы, направленные на снижение энергопотребления и повышение эффективности работы оборудования. Оптимизация параметров конструкции и использование износостойких материалов для футеровки позволяют существенно увеличить надежность и долговечность мельницы, что снижает эксплуатационные расходы и простой оборудования. Улучшение технологических процессов измельчения способствует повышению производительности и качеству помола топлива, что напрямую влияет на эффективность работы угольных электростанций. Внедрение предложенных решений будет способствовать повышению энергоэффективности предприятий теплоэнергетики в Казахстане и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Алияров, Б. К., Алиярова, М. Б.** Казахстан: энергетическая безопасность, энергетическая эффективность и устойчивость развития энергетики [Текст] // Алматы : Гылым, 2010. – 277 с.

2 **Левит, Г. Т.** Пылеприготовление на тепловых электростанциях [Текст] // М. : Энергоатомиздат, 1990. – 384 с.

3 **Akimbek, G. A., Aliyarov, B. K., Badaker, V. C., Akimbekova, S. A.** Methodology and experimental setup for the study of relative abrasiveness of bulk solids [Текст] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2022, pp. 14–20

4 **Каримолданова, М. А., Әкімбек, Г. Ә., Алияров, Б. К., Коробков, М. С., Джакипова, К. Т.** Шаровая барабанная мельница для измельчения угля средней фракции [Текст] // Вестник КазАТК. – 2024. – Т. 133, № 4. – https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-468-480

5 Патент JP 3125250 B2. Method for manufacturing crushed sand using wet ball mill and wet ball mill [Текст] // 15.01.2001.

6 Патент CN 205613504 U. Ball mill screening plant [Текст] // 05.10.2016.

7 Патент RU 2035227 C1. Periodically running ball mill [Текст] // 20.05.1995.

8 **Каримолданова, М. А.,Әкімбек, Г. Ә., Алияров, Б. К., Жауыт, А., Кунакова, Г. У.** Силы, действующие при измельчении твердого материала в шаровой барабанной мельнице и их влияние на корпус мельницы [Текст] // Вестник КазАТК. – 2024. – Т. 135, № 6. – https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-135-6-439-449

9 Патент 2024/0392.1. Невентилируемая универсальная мельница для измельчения твердых частиц средней фракции [Текст] // 16.05.2024.

10 **Zixin, Y., Yuxing, P., Zhencai, Z., Zhangfa, Y., Tongqing, L.** Impact Load Behavior between Different Charge and Lifter in a Laboratory-Scale Mill [Text] // Materials. – 2017. – Vol. 10, No. 8. – Art. 882. – https://doi.org/10.3390/ma10080882

REFERENCES

1 **Aliyarov, B. K., Aliyarova, M. B.** Kazahstan: energeticheskaya bezopasnost’, energeticheskaya effektivnost’ i ustojchivost’ razvitiya energetiki [Kazakhstan: energy security, energy efficiency and sustainable energy development] [Text] // Almaty : Gylym, 2010. – 277 p.

2 **Levit, G. T.** Pyleprigotovlenie na teplovyh elektrostanciyah [Pulverized fuel preparation at thermal power plants] [Tekst] // M. : Energoatomizdat, 1990. – 384 p.

3 **Akimbek, G. A., Aliyarov, B. K., Badaker, V. C., Akimbekova, S. A.** Methodology and experimental setup for the study of relative abrasiveness of bulk solids [Text] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2022, pp. 14–20

4 **Karimoldanova, M. A., Әkimbek, G. Ә., Aliyarov, B. K., Korobkov, M. S., Dzhakipova, K. T.** Sharovaya barabannaya mel'nica dlya izmel'cheniya uglya srednej frakcii [Ball drum mill for medium-sized coal grinding] [Text] // Almaty : Vestnik KazATK – 2024. – T. 133, № 4. – https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-468-480

5 Patent JP 3125250 B2. Method for manufacturing crushed sand using wet ball mill and wet ball mill [Tekst] // 15.01.2001.

6 Patent CN 205613504 U. Ball mill screening plant [Tekst] // 05.10.2016.

7 Patent RU 2035227 C1. Periodically running ball mill [Tekst] // 20.05.1995.

8 **Karimoldanova, M. A., Akimbek, G. A., Aliyarov, B. K., Zhauyt , A., Kunakova, G. U.** Sily, dejstvuyushchie pri izmel'chenii tverdogo materiala v sharovoj barabannoj mel'nice i ih vliyanie na korpus mel'nicy [Forces acting during the grinding of solid material in a ball drum mill and their impact on the mill shell] [Tekst] // Vestnik KazATK. – 2024. – T. 135, № 6. – https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-135-6-439-449

9 Patent 2024/0392.1. Neventiliruemaya universal'naya mel'nica dlya izmel'cheniya tverdyh chastic srednej frakcii [Non-ventilated universal mill for grinding medium-sized solid particles] [Tekst] // 16.05.2024.

10 **Zixin, Y., Yuxing, P., Zhencai, Z., Zhangfa, Y., Tongqing, L.** Impact Load Behavior between Different Charge and Lifter in a Laboratory-Scale Mill [Text] // Materials. – 2017. – Vol. 10, No. 8. – Art. 882. – https://doi.org/10.3390/ma10080882

Поступило в редакцию 03.04.26.
Поступило с исправлениями 24.04.26.
Принято в печать 31.08.26.

*Г. Ә. Әкімбек[1], *М. А. Каримолданова[2], Б. К. Алияров[3], Г. У. Қалқабаева[4]*
[1]Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.;
[2,3]Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;
[4]М. Тынышпаев атындағы АЛТ университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

03.04.26 ж. баспаға түсті.
24.04.26 ж. түзетулерімен түсті.
31.08.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН ЖӘНЕ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ШАРЛЫ ДИІРМЕННІҢ ҚҰРЫЛЫМЫН ЖЕТІЛДІРУ

Осы зерттеу аясында Қазақстан Республикасындағы көмір электр станцияларында қолданылатын шарлы барабанды диірменнің конструкциясына талдау жүргізіліп, оны оңтайландыру қарастырылады. Қазақстанның көмір энергетикасы көмірді жылу электр станцияларында жағу алдында ұсақ ұнтақтау үшін негізінен шарлы барабанды диірмендерге (ШБД) сүйенеді.

Мақалада шарлы барабанды диірмендердің (ШБД) энергия тиімділігін арттыру мақсатында шар ұстағыштардың конструкциясын оңтайландыру бойынша жүргізілген эксперименттік және теориялық зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Қолданыстағы конструкциялардың негізгі кемшіліктері анықталды: шарлардың қарқынды сырғуы мен соққылары салдарынан футеровканың тез тозуы, көмірдің біркелкі ұсақталмауы, соққылы әдіске қарағанда энергияны көп қажет ететін үйкеліс арқылы ұнтақтаудың басым болуы, сондай-ақ материалды тиеу және түсіру уақытының ұзақтығы.

Қолданыстағы конструкциялардың кемшіліктері қарастырылып, энергия шығындарын азайтуға, өнімділікті арттыруға, тиеу/түсіру уақытын қысқартуға және футеровканың қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік беретін конструктивтік шешімдер ұсынылған.

Желдетілмейтін әмбебап диірменнің жаңа конструкциясы ұсынылды. Онда бірдей арақашықтықта орналасқан үш иілген шар ұстағыш, барабанның бүкіл ұзындығы бойымен автоматты елеуіш пен ысырмасы бар люк, сондай-ақ барабан астында магниттік ұстағыштары бар классификатор қарастырылған. Бұл шешім шарларды оңтайлы биіктікке көтеруге, сырғуды айтарлықтай азайтуға және соққылы ұсақтаудың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қазақстанның үш түрлі көмір маркасы (Шұбаркөл, Қаражыра және Екібастұз) бойынша жүргізілген эксперименттік елеуіштік талдау материалдардың ұсақталу қабілетіндегі айырмашылықтарды

растады және шардың құлау биіктігі мен диаметрінің өнімнің гранулометриялық құрамына әсерін сандық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік берді.

Кілтті сөздер: шарлы диірмен, энергия тұтыну, қаптаманың тозуға төзімділігі, жылу энергетикасы, тозу, көмір, ұнтақтау.

*G. A. Akimbek[1], *M. A. Karimoldanova[2], B. K. Aliyarov[3], G. U. Kalkabaeva[4]*
[1]L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Astana;
[2,3]G. Daukeyev Almaty University of Power
Engineering and Telecommunications,
Republic of Kazakhstan, Almaty;
[4] Mukhamedzhan Tynyshpaev ALT University,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Received 03.04.26.
Received in revised form 24.04.26.
Accepted for publication 31.08.26.

IMPROVEMENT OF BALL MILL DESIGN TO ENHANCE ENERGY EFFICIENCY AND WEAR RESISTANCE

This study focuses on the analysis and optimization of the design of a ball drum mill used at coal-fired power plants in the Republic of Kazakhstan. The coal-based energy sector of Kazakhstan largely relies on ball drum mills (BDMs) for the fine grinding of coal prior to its combustion at thermal power plants.

The paper presents the results of experimental and theoretical studies aimed at improving the energy efficiency of ball drum mills (BDMs) through the optimization of ball holder design. Key drawbacks of existing designs were identified, including rapid liner wear caused by intensive sliding and impacts of the balls, non-uniform coal grinding, the predominance of energy-intensive attrition over impact grinding, and prolonged material loading and unloading times.

The shortcomings of existing designs are analyzed, and engineering solutions are proposed to reduce energy consumption, increase productivity, shorten loading/unloading time, and extend the service life of the liner.

A new design of a non-ventilated universal mill is proposed. It incorporates three curved ball holders arranged at equal distances,

a full-length drum hatch equipped with an automatic sieve and gate, as well as a classifier with magnetic separators located beneath the drum. This design enables lifting the balls to an optimal height, significantly reducing sliding, and enhancing the efficiency of impact grinding.

An experimental sieve analysis of three Kazakh coal grades (Shubarkol, Karazhyra, and Ekibastuz) confirmed differences in grindability and allowed for a quantitative assessment of the influence of ball drop height and diameter on the particle size distribution of the product.

Keywords: ball mill, energy consumption, lining wear resistance, thermal power engineering, wear, coal, grinding.

Теруге 07.09.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2026 ж. қол қойылды.
Электронды баспа
19,0 Mb RAM
Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: Шукитова А. Б.
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Тапсырыс № 4601

Сдано в набор 07.09.2026 г. Подписано в печать 30.09.2026 г.
Электронное издание
19,0 Mb RAM
Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: Шукитова А. Б.
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Заказ № 4601

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
E-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik-energy.tou.edu.kz