

УДК 622.742

ГРНТИ 52.45.15

DOI 10.24412/2409-3203-2021-27-38-41

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛАССИФИКАЦИИ НЕФТЯНОГО КОКСА

Федарович Евгений Геннадьевич

инженер кафедры процессов и аппаратов химических производств

Кулевец Полина Сергеевна

инженер кафедры процессов и аппаратов химических производств

Левданский Александр Эдуардович

д.т.н., заведующий кафедрой процессов и аппаратов химических производств

Белорусский государственный технологический университет

Республика Беларусь, г. Минск

Аннотация: В данной статье рассмотрен процесс классификации нефтяного кокса, а также факторы, влияющие на эффективность классификации его в барабанном грохоте. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния дисперсного состава исходного материала и его влажности на эффективность разделения по фракциям. Приводятся результаты 3D моделирования процесса классификации, при котором изучалось влияние конструкции отверстий сит просеивающей поверхности на эффективность грохочения. В заключении перечислены пути интенсификации процесса классификации нефтяного кокса в барабанном грохоте.

Ключевые слова: механическая классификация, эффективность разделения, нефтяной кокс, барабанный грохот, просеивающая поверхность.

DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS OF THE CLASSIFICATION OF PETROLEUM COKE

Fedarovich Evgeny Gennadievich

engineer of the Department of Processes and Apparatus for Chemical Production

Kuliavets Polina Sergeevna

engineer of the Department of Processes and Apparatus for Chemical Production

Levdanskiy Alexander Eduardovich

doctor of technical sciences, head of the Department of Processes and Apparatus for Chemical
Production

Belorussian State Technological University

Belarus, Minsk

Abstract: This article discusses the process of classification of petroleum coke, as well as factors affecting the efficiency of its classification in a drum screen. The results of experimental studies of the influence of the dispersed composition of the starting material and its moisture content on the efficiency of separation into fractions are presented. The results of 3D modeling of the classification process are given, in which the influence of the design of the openings of the sieves of the sieving surface on the screening efficiency was studied. In conclusion, the ways of intensification of the process of classification of petroleum coke in a drum screen are listed.

Keywords: mechanical classification, separation efficiency, petroleum coke, drum screen, screening surface.

Механическая классификация – разделение материала на классы по крупности путем просеивания его через поверхности с отверстиями (сита) [1].

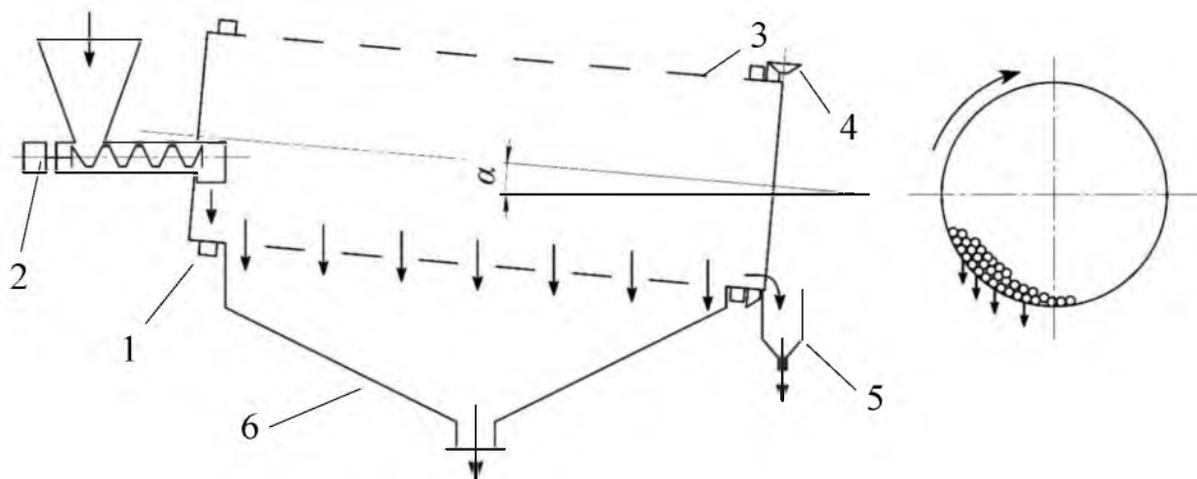
При перемещении частиц материала по перфорированной поверхности часть материала проходит через отверстия в ней. Этот продукт называют подрешетным продуктом или нижним классом. Часть материала, которая в результате классификации не прошла через сито, называют надрешетным продуктом или верхним классом [1–3].

На практике, одни из наиболее распространенных машин для механической классификации сыпучих материалов являются барабанные грохоты.

К главным достоинствам барабанных грохотов относят: простота конструкции, тихоходность и уравновешенность, что позволяет устанавливать их на верхних этажах сортировочных заводов. Недостатками являются: громоздкость; малая удельная производительность и низкая эффективность (особенно при грохочении мелкого материала) [4].

В настоящем исследовании изучалось влияние свойств материала на эффективность грохочения, а также изменения конструктивных параметров просеивающей поверхности с целью определения оптимальных параметров работы барабанного грохота для достижения максимально возможного качества разделения сырья.

Экспериментальная установка для исследования процесса классификации нефтяного кокса (рисунок 1) состоит из перфорированного вращающегося (диаметр отверстий 7,7 мм) барабана 3 диаметром 0,5 м и длиной 1 м, опорного устройства 1 и приводного механизма 4. Подлежащий фракционированию материал, поступающий через шнековый питатель 2, при вращении барабана силой трения увлекается на некоторую высоту и затем сползает вниз. Так как барабан устанавливается с небольшим наклоном (α) в сторону приемного бункера 5, частицы, при движении вниз одновременно подаются к выходному концу барабана. При движении и происходит разделение материала по крупности. Нижняя фракция, пройдя через отверстия сита, собирается в бункере 6, а крупная (верхняя) поступает в бункер 5.



1 – опорная рама; 2 – шнековый питатель; 3 – барабан
1 – опорная рама; 2 – шнековый питатель; 3 – барабан; 4 – приводной механизм; 5 – бункер крупной фракции; 6 – бункер мелкой фракции

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для исследования процесса классификации в барабанном грохоте

Механической классификации подвергался нефтяной кокс, образующийся на ОАО «Нафтан».

Ранее [5], при исследовании процесса классификации на экспериментальной установке, были выбраны оптимальные параметры процесса грохочения, а именно, угол наклона барабана $7,5^\circ$ и частота вращения барабана $0,42 \text{ с}^{-1}$. При данных параметрах

обеспечивается максимальная вероятность прохождения частиц через отверстия сита, что было подтверждено теоретически и экспериментально.

Следующим этапом исследований, является изучение дисперсного состава исходного материала на эффективность грохочения. Для этого, в исходном материале, содержание мелкой фракции (менее 7,7 мм) изменялось в интервале от 10 до 90 % с шагом в 10 %, при оптимальных параметрах работы грохота указанных выше. Полученная сырьевая смесь в количестве 1 кг подвергалась рассеиванию на барабанном грохоте.

Полноту разделения нефтяного кокса на фракции определяли при помощи расчета эффективности грохочения по формуле 1 [6].

$$E = \frac{\beta - \theta}{\beta \cdot (100 - \theta)} \cdot 10^4 \quad (1)$$

где β – содержание мелкой фракции в исходном материале, %; θ – содержание мелкой фракции в конечном надрешетном продукте, %.

Для исследования процесса классификации в барабанном грохоте исходный материал состоял из двух фракций: крупная фракция (надрешетный продукт) – размер частиц больше 7,7 мм; мелкая фракция (подрешетный продукт) – размер частиц – 0–7,7 мм. Кажущейся плотность материала составляла 1200 кг/м³. Коэффициент трения нефтяного кокса определялся экспериментально методом предельного угла и составил 0,55 относительно металлической поверхности. Влажность материала составляла 1,52 %.

На рисунке 2 представлена графическая зависимость эффективности грохочения при различном содержании мелкой фракции в исходном материале.

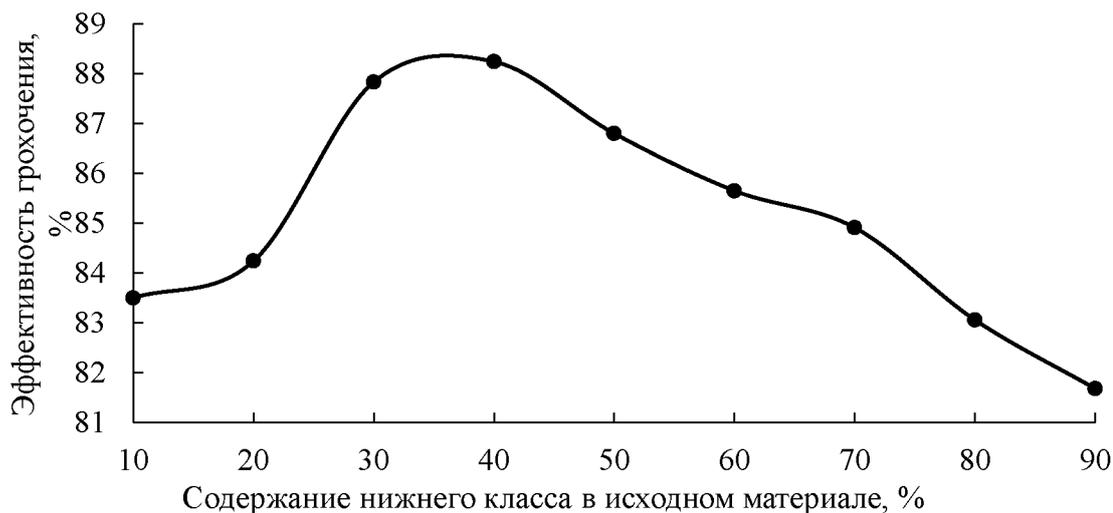


Рисунок 2 – Графическая зависимость эффективности грохочения при различном содержании мелкой фракции в исходном продукте

Из графической зависимости, представленной на рисунке 2 видно, что эффективность грохочения в барабанном грохоте, с ростом в исходном материале мелкой фракции, возрастает до определенного значения, дальнейшее увеличение количества надрешетного продукта в исходном сырье приводит к снижению эффективности классификации. Максимальное значение эффективности грохочения достигается при $\beta = 40\%$ – $E = 88,24\%$, а минимальные значения при $\beta = 10\%$ – $E = 83,50\%$ и $\beta = 90\%$ – $E = 81,68\%$.

На данной кривой (рисунок 2) можно выделить три участка, 1 – $\beta = 10-40\%$, 2 – $\beta = 40-90\%$:

1 – процесс грохочения сопровождается явлением сегрегации, т.е. разделение материала по крупности. В результате верхний слой состоит из крупных частиц, а мелкая фракция проходит сквозь толщину слоя материала и движется к просеивающей поверхности [7]. При высоком содержании верхнего класса в исходном материале (70–

90 %), крупные частицы образуют «толстый» слой (высота слоя частиц больше удвоенного диаметра отверстий) в котором частицы активно взаимодействуют друг с другом в следствии чего, процесс прохождения мелкой фракции к просеивающей поверхности затрудняется;

2 – снижение количества крупной фракции до 60 % приводит к повышению эффективности грохочения за счет уменьшения высоты слоя материала, состоящего из крупных частиц. В результате, мелкая фракция с легкостью достигает просеивающей поверхности грохота;

3 – дальнейшее увеличение мелкой фракции в исходном материале приводит к повышенному содержанию в массе «трудных» зерен, размер которых больше трех четвертей диаметра отверстий сит (5,8–7,7 мм) [8]. Данные частицы с трудом проходят через отверстия сита в результате чего задерживаются на его поверхности затрудняя перемещение более мелких зерен к отверстиям сита.

Далее определялось влияние влажности подаваемого материала на эффективность классификации в барабанном грохоте. В качестве исходного материала была выбрана масса, состоящая из 40 % мелкой фракции. Влажность нефтяного кокса изменялась от 1,52 до 35 %. Исходный материал равномерно увлажняли водой, постепенно, так, чтобы частицы не слипались. После увлажнения материал тщательно перемешивали и выдерживали в течении 10–30 мин. С увеличением влажности материала, время выдерживания увеличивалось. Далее, увлажненный материал поступал в загрузочное устройство барабанного грохота, после чего производилась классификация при оптимальных параметрах, выбранных ранее. После классификации определялась эффективность грохочения.

На рисунке 3 представлена графическая зависимость эффективности грохочения от влажности исходного материала.

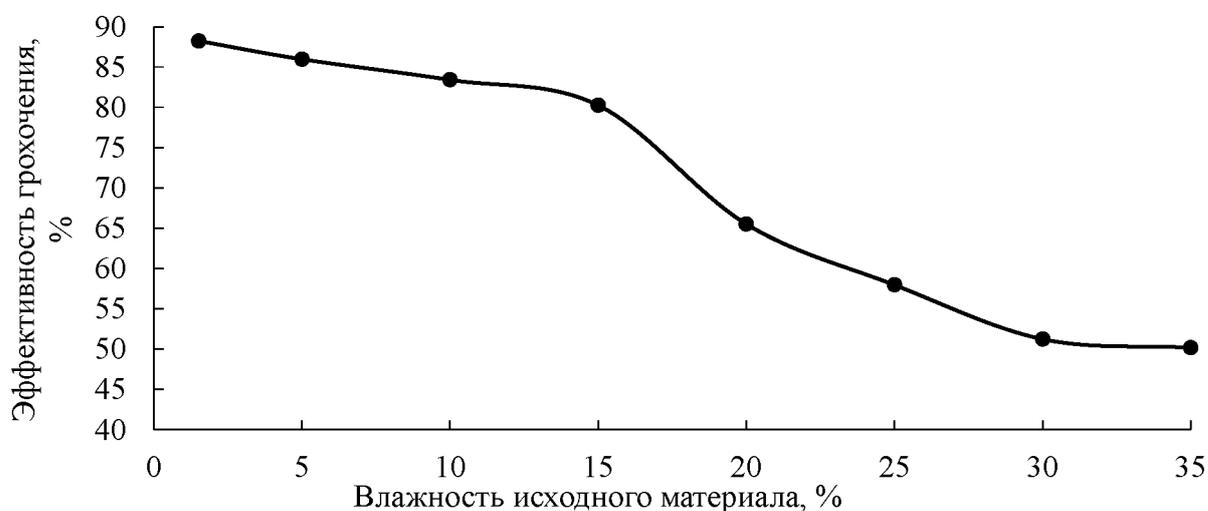


Рисунок 3 – Графическая зависимость эффективности грохочения от влажности исходного материала

Анализируя полученные данные, представленные на рисунке 3, установлено, что с увеличением влажности подаваемого в барабанный грохот материала, эффективность грохочения снижается, при этом, увеличение влажности более 15 % приводит к резкому снижению качества разделения сырья. Так при изменении влажности от 15 до 20 %, эффективность грохочения изменится от 80,26 до 65,52 %.

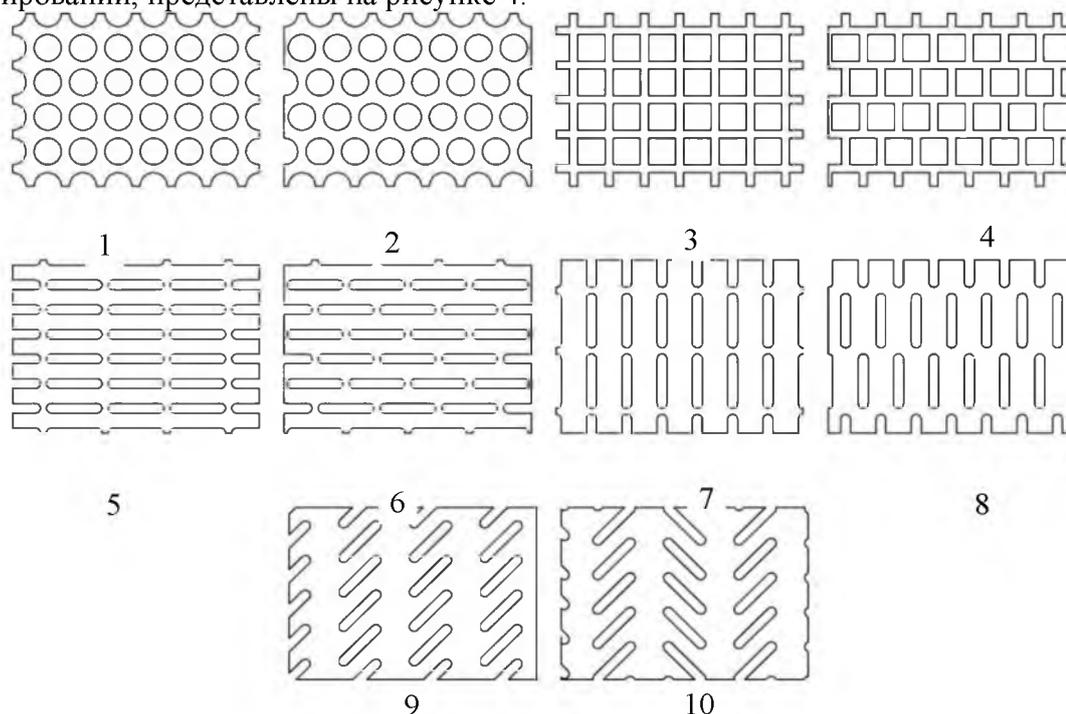
Это объясняется тем, что мелкие частицы, входящие в состав исходного материала, имеют наибольшую внешнюю влажность чем крупные куски в результате их большей удельной поверхности. Внешняя влага приводит к агрегации мелких частиц, налипанию их на крупные частицы и замазыванию отверстий сит вязким материалом. Данное явление

препятствует расслоению материала по крупности на поверхности сита и уменьшает рабочую поверхность разделения зерен через отверстия, в результате чего они остаются в надрешетном продукте.

При увеличении влажности от 30 до 35 % эффективность грохочения изменяется незначительно от 51,03 до 50,56 %. В данной области наблюдается переход от сухого грохочения к мокрому. Дальнейшее увеличение влажности приведет к интенсификации процесса классификации за счет повышения подвижности зерен при мокром грохочении.

На следующем этапе исследований, определялось влияние конструкции отверстий сит на качество разделения нефтяного кокса в барабанном грохоте. Для этих целей было произведено 3D моделирование процесса классификации на основании метода дискретных элементов (DEM).

Различные конструкции отверстий сит, которые были использованы при моделировании, представлены на рисунке 4.



- 1 – круглая перфорация с прямыми рядами отверстий; 2 – круглая перфорация со смещенными рядами отверстий; 3 – квадратная перфорация с прямыми рядами отверстий; 4 – квадратная перфорация со смещенными рядами отверстий; 5 – перфорация с продолговатыми отверстиями, расположенными в прямых рядах параллельно оси барабана; 6 – перфорация с продолговатыми отверстиями в смещенных рядах расположенных параллельно оси барабана; 7 – перфорация с продолговатыми отверстиями, расположенными в прямых рядах перпендикулярно оси барабана; 8 – перфорация с продолговатыми отверстиями в смещенных рядах расположенных перпендикулярно оси барабана; 9 – перфорация с продолговатыми отверстиями в рядах расположенных под углом; 10 – перфорация с продолговатыми отверстиями в рядах расположенных под углом относительно друг друга

Рисунок 4 – Конструкции отверстий сит

На первом этапе были построены трехмерные модели барабанного грохота с различными конструкциями просеивающей поверхности.

Далее, на построенных трехмерных моделях была построена регулярная сетка с размером элемента $5 \cdot 10^{-4}$ м.

В качестве измельчаемого материала использовались твердые частицы в виде полиэдров, состоящие из 10 граней с кажущейся плотностью 1200 кг/м^3 и размерами 5 и 9

мм в равных количествах (50 %). Коэффициент трения частицы материала о поверхность барабана грохота составлял 0,55.

Для всех конструкций сит расчеты производились в течении одинакового промежутка времени (1 с) с целью более точного сравнения эффективности классификации различных моделей.

Так как процесс моделирования осуществлялся в ограниченный промежуток времени, определяющим параметром эффективности грохочения выступало количество нижнего класса в подрешетном продукте от общего количество мелкой фракции в исходном материале.

По результатам исследований были построены гистограммы влияния конструкции отверстий сит на содержание нижнего класса в подрешетном продукте (рисунок 5).



Рисунок 5 – Гистограммы влияния конструкции отверстий сит на количество нижнего класса в подрешетном продукте

Установлено, что при использовании сита с квадратной перфорацией со смещенными рядами отверстий достигается максимальное количество прошедшего нижнего класса в подрешетный продукт – 67 %. Менее эффективным, является использование сита с продолговатыми отверстиями в смещенных рядах, расположенных перпендикулярно оси барабана, данное сито обеспечивает прохождение нижнего класса через отверстия сита 63,4 %. Наименее эффективным, из исследованных конструкций отверстий сит, являются сита с продолговатыми отверстиями в рядах, расположенных под углом относительно друг друга, прохождение нижнего класса через отверстия сита составляет 34 %.

Зависимость эффективности использования сит различных конструкций, в первую очередь связана с формой частиц нефтяного кокса. Так как частицы нефтяного кокса имеют неправильную форму, такие же, как и использовались в процессе моделирования, наиболее эффективными оказались сита квадратной перфорации. Смещение рядов друг относительно друга позволяет увеличить коэффициент живого сечения сетки, тем самым повысить эффективность грохочения. Также, при шахматном расположении отверстий сита, куски материала, перемещающиеся по перемычке между двумя отверстиями одного ряда, свободно проваливаются в отверстия последующего ряда.

Низкая эффективность щелевидных отверстий в первую очередь связана с невозможностью получения точных по размеру зерен подрешетного продукта. Для получения частиц такой же крупности, как и при круглых отверстиях, ширина щелевидных отверстий должна составлять 65–70 % диаметра круглого отверстия, поэтому, в процессе моделирования были использованы стандартные сита размером 5×32

мм (ИСО 3310-2), которые не позволяют частицам более 7,7 мм пройти через отверстия сита [1].

Однако, как видно из полученных при моделировании результатов, эффективность грохочения через сита со щелевидными отверстиями, расположенными перпендикулярно оси барабана, отличается от сит с квадратной перфорацией со смещенными рядами всего на 5,37 %. Это связано с тем, что при перпендикулярном расположении щелевидных отверстий сит относительно оси барабана, частицы, поднимаясь по цилиндрической поверхности грохота, просеиваются через продолговатую рабочую поверхность отверстий, тем самым увеличивается время нахождения частицы на рабочей поверхности отверстия сита.

Таким образом, установлено, что наибольшая эффективность процесса классификации достигается при содержании в исходном материале 40 % мелкой фракции. Следовательно, необходимо использовать комбинированные способы классификации, позволяющие регулировать количество мелкой фракции в исходном материале. Выявлено, что увеличение влажности нефтяного кокса более 15 % приводит к резкому снижению качества разделения. Достижение данной влажности нефтяного кокса, в случае необходимости, возможно при сушке в естественных условиях перед стадией разделения.

На основании исследований влияния конструкции отверстий просеивающей поверхности на качество разделения при помощи моделирования выявлено, что использование сит с квадратной перфорацией в смещенных рядах позволит увеличить эффективность классификации нефтяного кокса по сравнению с традиционно используемыми круглыми отверстиями в смещенных рядах, что связано с неправильной формой частиц.

Список литературы:

1. Перов В.А., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учебное пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – Москва: Недра, 1990. – 301 с.
2. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: учебник для строительных вузов и факультетов. – Москва: Высш. школа, 1971. – 382 с.
3. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учебник для вузов. – Москва: Недра, 1985. – 285 с.
4. Семакина, О. К. Оборудование перерабатывающих производств. Переработка минерального сырья: учебное пособие для магистратуры / О. К. Семакина, Д. А. Горлушко. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 90 с.
5. Федарович Е.Г. Определение оптимальных параметров механической классификации твердых материалов в барабанном грохоте / Е.Г. Федарович, А.А. Ковалева // Молодежь и научно-технический прогресс: сборник докладов XIV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Губкин, 8-9 апреля 2021 г.) / Губкинский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – Губкин, 2021. – С. 107-111.
6. Калекин В.С. Процессы и аппараты химической технологии: Массообменные и механические процессы: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. — 200 с.
7. Кустов, В.В. Обоснование рациональных параметров технологии формирования и разработки техногенных месторождений сыпучих горных пород: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Кустов Владимир Васильевич. – Донецк, 2017. – 21 с.
8. Назимко, Е.И. Конспект лекций по курсу "Подготовительные процессы обогащения" / Е.И.Назимко; ДонНТУ. - Донецк, 2008. – 51 с.