

Используя статический коэффициент потерь ψ_i стало возможным определить динамические коэффициенты поглощения энергии колебаний v_i для упругих канатных систем снижения нагрузок оборудования.

Список литературы

1. Динник А.Н. Статьи по горному делу. – Углетехиздат, 1957.
2. Смоляков С.Л. Упругие свойства канатов. http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/Mashbud/2010_5/10sslecr.pdf (Статья надійшла до редакції 6 травня 2010 р).
3. Савельев И.В. Курс общей физики / И.В.Савельев. – М.: Наука, 1987. - Т.І. – 432 с.

Рукопись поступила в редакцию 11.03.14

УДК 622.785: 669.213.3

Ю.С. РУДЬ, доктор техн. наук, проф., В.Г. КУЧЕР, канд. техн. наук,
В.Ю. БЕЛОНОЖКО, ст. преподаватель, Криворожский национальный университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА НА КОНВЕЙЕРНЫХ МАШИНАХ

Тепловые параметры процесса зажигания шихты, при производстве агломерата на конвейерных машинах, оказывают существенное влияние на весь ход процесса спекания. Использование существующих конструкций горнов не позволяет обеспечить передачу в верхние слои шихты необходимого количества тепла в силу целого ряда причин.

В работе поставлена задача обеспечения технической возможности уменьшения дефицита тепла в верхних слоях шихты, загруженной на колосниковую решетку агломерационной машины, путем увеличения возможности подачи тепла без дополнительного нагрева всей массы шихты.

Авторами данной статьи предложено оригинальное решение проблемы повышения интенсивности зажигания шихты за счет увеличения площади поверхности зажигаемой шихты, находящейся под горном. Это решение состоит в том, что поверхность шихты придают волнообразную форму. Придание поверхности шихты волнообразной формы позволяет увеличить количество тепла, подаваемого на единицу поверхности, и уменьшить влияние зоны переувлажнения шихты в процессе спекания за счет опережения зоны горения в местах впадин по отношению к соседнему участку шихты, расположенному по высоте под гребнем волнообразной поверхности.

Для реализации предложенного способа спекания агломерационной шихты в производственных условиях авторами разработаны устройства для загрузки шихты на агломерационную машину. Применение этих устройств обеспечивает профильную внешнюю поверхность с выступами и впадинами, что приводит к росту производительности агломерационных машин без увеличения вакуума и снижения качества агломерата.

Ключевые слова: агломерационная конвейерная машина, шихта, поверхность шихты, волнообразная форма поверхности, зажигание шихты, интенсивность зажигания, производительность.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Для обеспечения высоких технико-экономических показателей агломерационных конвейерных машин железорудную шихту, подаваемую на машину, подогревают до 50-65 °С. Подогрев шихты осуществляется за счет использования в технологическом процессе горячего возврата, пара или продуктов горения, температура которых не превышает 500 °С, а в отдельных случаях - газа. Подогретая шихта загружается на колосниковую решетку агломерационной машины и подается в зажигательный горн, где производится нагрев верхней поверхности шихты до температуры воспламенения коксика.

Длина горна должна обеспечивать необходимое время нагрева поверхности слоя до температуры воспламенения топлива и устойчивого его горения. Тепло, которое выделяется при горении коксовой мелочи, расходуется в зоне горения на восстановление и окисление оксидов железа, разложение карбонатов, частичное плавление шихты, в результате чего происходит образование спека агломерата. Избыточное тепло из зоны горения выносится в нижележащие слои шихты, подогревая их. Слой шихты продукты горения покидают с температурой 60-80 °С.

Тепловые параметры процесса зажигания шихты, при производстве агломерата на конвейерных машинах, оказывают существенное влияние на весь ход процесса спекания. Использование существующих конструкций горнов не позволяет обеспечить передачу в верхние слои шихты необходимого количества тепла в силу целого ряда причин. Образовавшийся дефицит тепла должен покрываться за счет дополнительных источников. Это сказывается на производительности агломерационной машины, прочности агломерата, расходе топлива и экономических показателях работы.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Проблеме создания теории и практики зажигания и спекания шихты на агломерационных машинах посвящено ряд работ. В работе [1] Абрамовым В.С. отмечается, что при агломерации железных руд высокие температуры в слое шихты достигаются в результате горения твердого топлива, а также регенерации тепла вышележащих слоев агломерата. В верхних слоях шихты процессы регенерации отсутствуют и поэтому наблюдается значительный дефицит тепла. Авторы работы [2] отмечают, что этот дефицит должен покрываться за счет тепла зажигания шихты. Рациональная организация процесса зажигания шихты существенно влияет на протекание процесса спекания и на качество агломерата. Потребность в тепле зажигания рассчитывают исходя из затрат тепла на 1 т агломерата [3]. Автор работы [4] потребность в тепле зажигания предлагает рассчитывать исходя из затрат тепла на единицу площади поверхности 1 м^2 агломерата. В работах С.Т. Ростовцева, С.М. Меерова [5] рассмотрен комплекс вопросов о технологии производства агломерата, в т.ч. вопросы расчета требуемого количества тепла зажигания шихты.

Цель и задачи исследования. В работе поставлена задача обеспечения технической возможности уменьшения дефицита тепла в верхних слоях шихты, загруженной на колосниковую решетку агломерационной машины, путем увеличения возможности подачи тепла без дополнительного нагрева всей массы шихты.

Изложение материала и результаты. При спекании агломерата по высоте слоя шихты, загруженной на колосниковую решетку агломерационной машины, формируется три зоны, характеризующие тепловую работу процесса. В первой, верхней зоне теплообмена - от поверхности слоя до зоны горения, воздух, просасываемый через агломерируемый слой, подогревается за счет тепла горячего агломерата и окисления магнетита, причем, чем ниже опускается зона горения, тем выше температура подогрева воздуха и тем выше температуры в зоне горения.

Вторая зона - собственно зона горения. Здесь происходит горение твердого топлива, восстановление оксидов железа, разложение карбонатов, плавление шихты и образование агломерата. Высота зоны горения около 30 мм, ее величина зависит в основном от скорости спекания и размеров частиц твердого топлива. Продукты горения топлива, вобравшие в себя компоненты взаимодействия газовой фазы с оксидами железа и CO_2 карбонатов, попадают в нижнюю ступень теплообмена. По мере выгорания топлива зона горения перемещается сверху вниз, при этом высота верхней зоны теплообмена увеличивается, а нижней зоны - уменьшается и достигает нуля, когда зона горения достигает колосниковой решетки. В этой зоне подогревается нижележащий слой шихты.

Третья, нижняя зона теплообмена - от зоны горения до колосниковой решетки, в которой идут физические процессы нагревания шихты. В этой зоне для удаления влаги требуется значительное количество тепла - до 2500 кДж/кг влаги. В результате испарения влаги температура газового потока падает до $60\text{-}80^\circ\text{C}$, а отходящие газы насыщаются влагой. Относительно высокое содержание водяных паров в просасываемом газе приводит к тому, что водяной пар, попадая в зону влажной шихты, частично конденсируется, увеличивая влагосодержание до переувлажнения этой зоны.

По мере перемещения зоны горения вниз к колосниковой решетке, объем слоя, соответствующий верхней ступени теплообмена увеличивается. Это сопровождается ростом температуры подогрева воздуха, и, как следствие, температуры в зоне горения. Покидающие зону горения продукты горения с более высокой температурой обеспечивают более высокий нагрев слоя шихты, приходящегося на нижнюю ступень теплообмена. Более горячий воздух по мере перемещения его вниз улучшает тепловой баланс зоны горения. На состояние теплового баланса этой зоны в благоприятно влияет также более подогретая шихта, когда зона горения переместится вниз. Такое сочетание процессов теплообмена по высоте слоя спекаемой шихты объясняет особенность теплового состояния слоя, когда максимальные температуры в слое увеличиваются по мере приближения зоны горения к колосниковой решетке.

Количество тепла, подаваемого на единицу площади поверхности шихты, загруженной на колосниковую решетку агломерационной машины и проходящей под зажигающим горном, называется интенсивностью зажигания I и определяется по формуле, кДж/ $\text{м}^2 \cdot \text{м}$

$$I = \frac{q}{\tau} = \frac{q}{l_2} v = \frac{Q_{\text{зж}}}{60S}, \quad (1)$$

где q - удельный расход тепла, кДж/м^2 , t - продолжительность процесса зажигания, мин., l_2 - длина горна агломерационной машины, $Q_{\text{заж}}$ - количество тепла, требуемого для зажигания шихты, S - площадь зеркала горна агломерационной машины или площадь поверхности зажигаемой шихты.

Величина показателя интенсивности зажигания I определяет основные характеристики процесса спекания шихты на агломерационной машине: ее производительности, качество агломерата, его гранулометрический состав, расходе топлива и т.д. Поэтому и теоретики и практики ищут способы повышения этого показателя.

Очевидный способ повышения интенсивности зажигания шихты - обеспечить передачу необходимого количества тепла в верхние слои шихты в то время, когда она находится в зоне горна. Однако возможности такого способа ограничены в первую очередь техническими возможностями конструкции существующих горнов. Обеспечение высоких показателей интенсивности зажигания шихты связано с резкими увеличениями габаритов горна, которые не вписываются в компоновку современной агломерационной машины. Кроме того, при определенных температурных градиентах подачи тепла возможно оплавление поверхности шихты, а, следовательно, снижение газопроницаемости слоя и производительности агломерационной машины

Из анализа формулы (1) можно сделать вывод, что интенсивность зажигания I обратно пропорциональна площади поверхности зажигаемой шихты S , что открывает новые технические возможности влияния на этот показатель.

Авторами данной статьи предложено оригинальное решение задачи повышения интенсивности зажигания шихты без изменения габаритов горна за счет увеличения площади поверхности зажигаемой шихты, находящейся под горном. Это решение приведено в описании способа спекания агломерационной шихты [6]. Сущность способа состоит в том, что, с целью увеличения производительности агломерационной машины, поверхности шихты 2, уложенной на колосниковую решетку 1, придают волнообразную форму 3 с высотой амплитуды 10-20 мм и расстоянием между гребнями волн 50-60 мм (рис. 1).

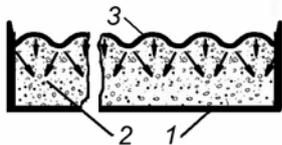


Рис. 1. Модель процесса спекания шихты с волнообразной поверхностью

Придание поверхности шихты волнообразной формы позволяет увеличить количество тепла, подаваемого на единицу площади поверхности, и уменьшить влияние зоны переувлажнения шихты в процессе спекания за счет опережения зоны горения в местах впадин по отношению к соседнему участку шихты, расположенному по высоте под гребнем волнообразной поверхности. В результате повышается прочность агломерата в верхнем слое, интенсифицируется процесс горения и, следовательно, спекания шихты по высоте слоя.

В развитие изобретения [6] авторами предложено техническое решение [7], позволяющее обеспечить снижение мелких фракций агломерата в верхнем слое пирога агломерата и заключающееся в том, что амплитуда волн поддерживается равной 8-12% от средней высоты слоя пирога, а расстояние между гребнями волн составляет 15-20 амплитуд. Указанные параметры слоя шихты, загруженной на колосниковую решетку агломерационной машины, обеспечивает такой угол откоса волн поверхности, который больше угла естественного откоса спекаемых шихт, а также выравнивание фронта горения топлива до момента подхода его к колосниковой решетке. Амплитуду волнообразной поверхности слоя шихты предусмотрено изменять пропорционально высоте слоя.

Экспериментальная проверка предложенного способа спекания агломерационной шихты проведена в лаборатории Ново-Криворожского ГОК'а на аглочаше площадью спекания $0,12 \text{ м}^3$ с разрежением под решеткой 1150 мм вод. ст. Результаты эксперимента, приведенные к средним значениям, показывают, что производительность аглочаша для шихты с волнообразной формой поверхности выше производительности чаши при спекании шихты с плоской поверхностью. Производительность увеличивается с увеличением площади поверхности шихты. Наивысшая производительность при допустимом выходе мелочи показана при амплитуде волн, равной 1,12 от средней высоты слоя пирога и расстоянии между гребнями волн 17 амплитуд.

Для реализации предложенного способа спекания агломерационной шихты в производственных условиях авторами разработано устройство для загрузки шихты на агломерационную машину [8]. Устройство состоит из бункера 1, под которым установлен вращающийся от привода барабан 2, предназначенный для перемещения шихты из бункера 1.

В нижней части устройства установлен загрузочный лоток 3 с пилообразной нижней кромкой в виде зубьев 4. За загрузочным лотком 3 установлен гладильный лист 5, нижняя часть которого снабжена уплотнителями борозд 6, расположенными перпендикулярно его профильной оси.

Уплотнители 6 выполнены в виде трехгранных пирамид, которые закреплены меньшей боковой гранью к гладильному листу 5. Профиль нижней кромки загрузочного листа выполнен пилообразным, соответствующим профилю гладильного листа в его профильном сечении.

На рис. 2: 7 – борт агломерационной машины, 8 – шихта, загруженная на колосниковую решетку агломерационной машины. Шихта из бункера 1 поступает на внешнюю поверхность вращающегося от привода барабана 2 и подается на установленный ниже загрузочный лоток 3 с пилообразной нижней кромкой в виде зубьев 4.

Так как наклон загрузочного лотка 3 больше угла естественного откоса загружаемого материала, то шихта перемещается на колосниковую решетку агломерационной машины.

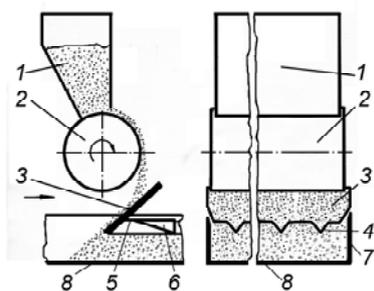


Рис. 2. Схема устройства для загрузки шихты на агломерационную машину

Избыток шихты, образующийся на колосниковой решетке, срезается нижней профилированной кромкой загрузочного лотка 3 вследствие поступательного перемещения машины. При этом внешняя поверхность загруженной на колосниковую решетку шихты повторяет профиль нижней кромкой загрузочного лотка 3, образуя выступы и впадины. Важным является то, что выступы и впадины на внешней поверхности шихты 8

образуются за счет естественного ссыпания частичек шихты с загрузочного лотка 3 без их разрушения и уплотнения. При дальнейшем движении колосниковой решетки агломерационной машины шихта подвергается воздействию гладильного листа 5, нижняя часть которого снабжена уплотнителями борозд 6, расположенными перпендикулярно его профильной оси. Выступы на внешней поверхности шихты 8 дозированно уплотняются плоскими участками гладильного листа 5, а впадины – уплотнителями 6, выполненными в виде трехгранных пирамид и закрепленными меньшей боковой гранью к гладильному листу 5.

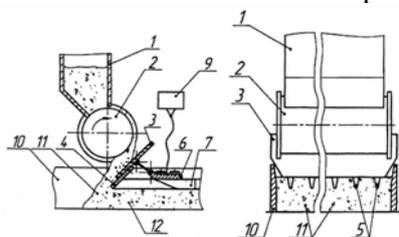


Рис. 3. Устройство для загрузки шихты на агломерационную машину [9]

Применение устройства для загрузки шихты обеспечивает ее профильную внешнюю поверхность с выступами и впадинами, что приводит к росту производительности агломерационных машин без снижения качества агломерата. Рост производительности объясняется следующими факторами.

Во-первых, за счет уменьшения газодинамического сопротивления слоя в местах впадин увеличивается газопроницаемости слоя шихты. Увеличение газопроницаемости слоя приводит к увеличению расхода воздуха и более интенсивному выносу влаги из зоны впадин и из рядом лежащих слоев шихты. Скорость фильтрации воздуха в зоне впадин в среднем на 11,4 % выше, чем в местах с полной высотой слоя. В результате уменьшается вредное действие зоны переувлажнения.

Во-вторых, зона горения коксовой мелочи, обычно перемещающаяся только в вертикальном направлении, в слое, имеющим впадины, перемещается также и в горизонтальных направлениях. Это приводит к увеличению вертикальной скорости спекания.

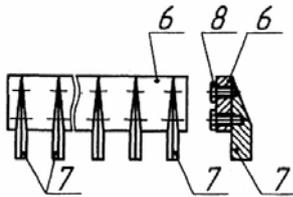
В-третьих, образование впадин приводит к увеличению площади поверхности слоя шихты, что обеспечивает возможность подачи большего количества тепла в верхние слои шихты при зажигании.

Недостатком указанного устройства является то, что в связи с увеличением площади зажигания за счет придания поверхностному слою шихты профильной поверхности, для устранения дефицита тепла в верхних слоях шихты необходимо увеличивать расход газа в горне. Кроме того, пилообразная форма нижней кромке загрузочного лотка затрудняет его конструкцию и снижает надежность работы из-за износа выступающих частей лотка.

Для дальнейшего повышения эффективности спекания агломерата проведена модернизация известного загрузочного устройства [8] путем использования уплотнителей шихты в каче-

стве электродов, между которыми в слое шихты пропускается электрический ток. Это устройство [9] содержит загрузочный бункер 1, под которым установлен барабанный питатель шихты 2 и загрузочный лоток 3 (рис. 3).

Рис. 4. Устройство загрузочного лотка 3



В нижней рабочей части лотка 3 крепится планка 4 с пилообразными выступами 5 и с возможностью их перемещения вдоль плоскости лотка. К загрузочному лотку 4 шарнирно закрепляется уплотняющий лист 6, который выполнен из изоляционного материала. К нижней нерабочей части лист 6 с помощью крепежных болтов крепится четное количество цельнометаллических уплотнителей-электродов 7. Крепежные болты 8 одновременно является клеммами для подключения уплотнителей 7 к источнику регулируемого тока 9. Цифрами 10 обозначена агломерационная машина, 11 - слой шихты, загруженный на агломерационную машину, 12 - профильные углубления в верхнем слое шихты.

Шихта из загрузочного бункера 1 поступает на внешнюю поверхность барабанного питателя 2 и перемещается на загрузочный лоток 3. По наклонному загрузочному лотку 3 шихта самотеком поступает на колосниковую решетку агломерационной машины 10. Избыток шихты, который образуется при загрузке, срезается нижней кромкой загрузочного лотка 3 вследствие поступательного движения агломерационной машины 10.

За счет пилообразных выступов 5 планки 4, закрепленной на задней нерабочей части загрузочного лотка 3, на поверхности шихты, загруженной на машину, создаются продольные впадины 12 заданной конфигурации.

Конфигурация продольных впадин 12 соответствует конфигурации выступов 5 планки 4, которая, в свою очередь, отвечает конфигурации нижней части гладильного листа 6 в его поперечном сечении.

Гладильный лист 6 закреплен к загрузочному лотку 3 шарнирно, поэтому при поступательном движении агломерационной машины 10 уплотнители 7 занимают устойчивое положение во впадинах 12 и уплотняют их нижнюю часть и боковые стенки.

В то же время, между каждой соседней парой уплотнителей 7, подключенных к источнику регулируемого тока 9 с помощью болтов 8, проходит электрический ток, величина которого обеспечивает подогрев до заданной температуры шихты, находящейся между уплотнителями 7.

Величина тока зависит от расстояния между уплотнителями 7, их геометрических размеров, состава и влажности шихты, а также скорости движения агломерационной машины 10. В каждом конкретном случае величина тока определяется экспериментально и, при необходимости, может регулироваться в зависимости от требуемой температуры нагрева шихты.

Подогрев верхнего слоя шихты электрическим током до момента ее входа в зону действия горновых газов позволяет снизить себестоимость товарного продукта за счет уменьшения расхода энергоносителей.

Выводы. Применяемые в промышленности методы компенсации нехватки тепла в верхних слоях шихты основаны на различных методах подогрева всей массы шихты до ее загрузки на колосниковую решетку агломерационной машины.

При этом решение задачи устранения дефицита тепла в верхних слоях шихты сопровождается таким негативным явлением, как избыток тепла в нижних слоях, возникающем за счет регенерации тепла горения топлива шихты.

В результате наблюдается перерасход топлива, снижение качества агломерата нижних слоев.

Авторами предложено оригинальное решения проблемы повышения интенсивности зажигания шихты без изменения габаритов горна за счет увеличения площади поверхности зажигаемой шихты, находящейся под горном.

Для реализации предложенного способа спекания агломерационной шихты в производственных условиях авторами разработано устройство для загрузки шихты на агломерационную машину.

Список литературы

1. **Абрамов, В.С.** Автоматический контроль и регулирование основных параметров процесса спекания / [Текст] // **В.С. Абрамов** // Технологические параметры для комплексной автоматизации металлургического производства. – №29. – М.: Металлургиздат, 1963.

2. Астахов, А.Г. Справочник агломератчика [Текст] / А.Г. Астахов, В.И. Мачковский, А.И. Никитин, Н.В. Федоровский. – Киев: Техніка, 1964.
3. Вегман, Е.Ф. Процесс агломерации [Текст] / Е.Ф. Вегман. – М.: Metallurgy, 1963.
4. Сигов, А.А. О роли регенерации тепла и зажигания в агломерационном процессе [Текст] / А.А. Сигов // Известия вузов. Черная металлургия. – №2. - 1959.
5. Ростовцев, С.Т. Зажигание в процессе спекания Криворожских железных руд [Текст] / С.Т. Ростовцев, С.М. Мееров // Теория и практика металлургии. – №3 (79), 1936.
6. Кучер, В.Г. Способ спекания агломерационной шихты СССР, [Текст] / В.Г. Кучер, Ю.С. Рудь // Авторское свидетельство №258328. – М., 1966.
7. Кучер, В.Г. Способ спекания агломерационной шихты СССР, [Текст] / В.Г. Кучер, Ю.С. Рудь // Авторское свидетельство №336345. – М., 1970.
8. Рудь, Ю.С. Способ спекания агломерационной шихты СССР, [Текст] / Ю.С. Рудь, В.Г. Кучер, А.З. Крижевский, Е.Я. Стольберг // Авторское свидетельство СССР, №948208. – М., 1970.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.14
УДК 552.12:622

Ю.С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., И.С. РАДЧЕНКО, канд. физ.-мат. наук, доц.,
В.Ю. БЕЛОНОЖКО, ст. преподаватель, С.Ю. ОЛЕЙНИК, преподаватель
Криворожский национальный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

Эффективность бурения горных пород пневматическими перфораторами зависит от их физико-механических свойств: прочности, пористости, твердости, абразивности.

Проблеме исследования физико-механических свойств горных пород посвящены работы Ржевского В.В., Новика Г.Я., Барона Л.И., Глатмана Л.Б. и других ученых. В их работах рассмотрен комплекс вопросов о физических свойствах горных пород и физических явлениях, происходящих в них при воздействии различных полей. Однако в этих работах не ставилась задача определения физико-механических свойств горных пород на основе предыдущих теоретических исследований. В работе поставлена задача разработать метод определения физико-механических свойств горных пород на основе модели кристаллического строения вещества.

Определены постоянные упругой жесткости, объемного модуля упругости и сжимаемости кристаллов. Принято во внимание, что реальные кристаллы горной породы состоят из дискретных частиц – атомов. Для случая исследования упругих свойств кристаллов породы их можно считать однородной непрерывной средой. Данное приближение в физике твердого тела называют континуальным приближением. В таком приближении используется закон Гука и второй закон Ньютона. Вычисление предела прочности кристалла.

Определена величина сил связи в ионных кристаллах. Порядок величины сил связи можно найти, исходя из предположения, что ионы взаимодействуют согласно закону Кулона.

Ключевые слова: горная порода, физико-механические свойства, модель кристалла, упругая жесткость, объемный модуль упругости, объемный модуль сжимаемости.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Физико-механические свойства горных пород, как твердого тела, непосредственно связаны с их структурой, молекулярными силами сцепления. Структура породы характеризуется распределением зерен и цемента кристаллов по размерам, условиям их срастания и взаимного расположения. Эффективность бурения горных пород пневматическими перфораторами зависит от их физико-механических свойств - способности породы сопротивляться внешней нагрузке; пористости - наличия в породе пространства, не заполненного твердым веществом; твердости - способности горной породы сопротивляться проникновению в нее другого более жесткого твердого тела; абразивности - способности породы изнашивать разрушающий ее инструмент в процессе трения.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Проблеме исследования физико-механических свойств горных пород посвящено ряд исследований. В работе [1] рассмотрен комплекс вопросов о физических свойствах горных пород и физических явлениях, происходящих в них. Дана классификация физических свойств пород, методов их определения и основных факторов, обуславливающих эти свойства. В работе [2] горные породы подразделяют по видам деформаций и вызвавшими их напряжениями на: упругие - их основные показатели модуль Юнга, коэффициент Пуассона и др., пластические - их основные показатели модуль полной деформации, коэффициент пластичности и др., прочностные - их основные показатели пределы прочности при сжатии, растяжении и др. Важными являются горнотехнологические параметры горных пород такие как крепость, твердость, буримость, взрываемость, дробимость.