

3) в мельницю загрузається шарова загрузка оптимального ситового состава по отношению к измельчаемому материалу. По мере износа шаровой загрузки и снижения производительности мельницы, шаровая загрузка полностью заменяется новой, а старая сортируется и используется для составления новой загрузки.

### Список литературы

1. **Клешнин А.А.** Исследование процесса фильтрования угольных шламов различного гранулометрического состава. Дис... канд. техн. наук. – Донецк, ДПИ. – 148 с.
2. **Перов В.А., Бранд В.Ю.** Измельчение руд. – М.: Металлургиздат. – 1950. – 220 с.
3. **Вахромеев И.И.** Некоторые вопросы геометрии фильтрации // Горный журнал. – Изд. ВУЗов. – 1960. – №11.
4. **Боришанский В.М.** Сопротивление при движении воздуха через слой шаров / Сб. Вопросы аэродинамики и теплопередачи в котельно-топливном процессе. – М.: Госэнергоиздат. – 1958. – С.232–238.
5. **Левинсон Л.Б., Прейгерзон Г.И.** Дробление и грохочение полезных ископаемых. – М.: Гостоптехиздат. – 1940. – 772 с.
6. **Андреев С.Е., Товаров В.В., Перов В.А.** Закономерности измельчения и исчисления характеристики гранулометрического состава. – М.: Металлургиздат. – 1959. – 437 с.
7. **Разумов К.А.** Рационарированное питание мельниц шарами // Горный журнал. – 1947. – №3. – С. 31–36.
8. **Олевский В.А.** Найвыгоднейший размер шаров для шаровых мельниц // Горный журнал. – 1948. – № 1. – С. 30–34.
9. **Дубровин Б.Н.** К вопросу о выборе дробящих тел для шаровой мельницы // Цветные металлы. – 1948. – №1. – С.10–24.
10. **Сиденко П.М.** Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия. – 1968. – 377 с.

© Полулях А.Д., Булава Ю.И., Шевченко Л.Г., Гуртовая Г.Е., 2005

*Надійшла до редколегії 15.04.2005 р.  
Рекомендовано до публікації*

УДК 622.7

**А.М. БЕРЛИН**, канд. техн. наук  
**В.Ф. ЧУМАК**  
**С.Н. ХОДОС**

### РАЗДЕЛЕНИЕ ТРУДНОГРОХОТИМЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПО КРУПНОСТИ СУХИМ СПОСОБОМ

Многие отрасли промышленности, перерабатывающие полезные

ископаемые, испытывают потребность в эффективных полезных средствах для разделения по крупности сырья, трудноподдающегося грохочению сухим способом из-за повышенной влажности, клейкости и т.п.

Не составляет исключения и углеобогащительная отрасль.

В технологическом процессе обогащительных фабрик немаловажную роль играют операции отсева мелких классов из рядового угля и подготовки машинных классов перед обогащением.

Поступающий на переработку уголь имеет повышенное содержание влаги, мелких классов и породных компонентов, нередко склонных к размоканию. При этих условиях уголь практически теряет сыпучесть, комкуется, мельчайшие породные и угольные зерна налипают на поверхность сита, закупоривая его ячейки. Эффективность разделения на грохотах резко падает, что приводит к нарушению режима работы обогащительных аппаратов и водно-шламового хозяйства, повышается зольность концентрата, увеличиваются потери горючих фракций с отходами.

Для улучшения отсева влажных материалов необходимо преодолеть поверхностные силы сцепления частиц друг с другом и с ситом, значительно увеличив силы разделения на грохотах интенсификацией колебательного режима. Но тогда резко возрастают динамические нагрузки на несущие узлы конструкции грохота, снижая их прочность и эксплуатационную надежность. Поэтому серийные вибрационные машины малопригодны для грохочения материалов повышенной влажности.

Институтами "УкрНИИУглеобогащение" и "Гипромашуглеобогащение" еще в советский период был создан специальный грохот, в котором в интенсивном колебательном режиме работает лишь эластичное упругое сито, изготовленное из полимерного материала, стойкого к знакопеременным динамическим нагрузкам и абразивному истиранию.

Принцип действия этого грохота основан на том, что участки его эластичного сита в процессе работы подвергаются чередующимся деформациям растяжения и изгиба, попеременно переходя из натянутого состояния в состояние провисания. При этом упругодеформируемое сито сообщает зернам грохотимого материала ускорения до 40g, что на порядок выше, чем на серийных грохотах типа ГИЛ и ГИСТ. Активное воздействие на материал способствует интенсивному разрыхлению его слоя, очистке ячеек сита, разрушению слипшихся комков, что позволяет получить высокие технологические показатели процесса разделения по крупности трудногрохотимого сырья.

На рис. 1 схематично изображена конструкция грохота, реализующая этот принцип действия. Грохот представляет собой двухмассную колеблющуюся систему, включающую короб 1 и связанную с ним посредством жестких шарнирных подвесок 2, раму 3 с инерционным возбудителем колебаний 4.

## Підготовчі процеси збагачення

Боковины короба и рамы жестко соединены поперечными связью-балками с помощью высокопрочных болтов. Секции эластичного сита 5 закреплены на конечных балках короба 6 и балках рамы 7, которые расположены в одной плоскости и служат ситам опорами.

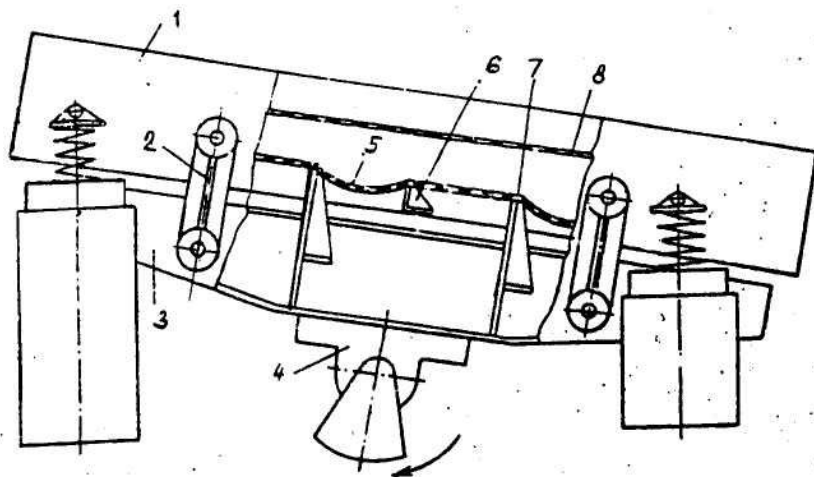


Рис. 1. Грохот с упругодеформируемой просеивающей поверхностью

При работе грохота рама под действием вынуждающей силы вибровозбудителя совершает относительно короба маятниковые колебания перпендикулярно шарнирным подвескам. Участки эластичного сита, расположенные между поперечными связью-балками короба и рамы, подвергаются упругим циклическим деформациям: то провисают, то натягиваются. В момент, когда вектор вынуждающей силы вибровозбудителя направлен вдоль оси подвесок, коробу вместе с рамой в этом направлении сообщаются близкие к линейным колебания, что обеспечивает работоспособность верхнего сита 8.

Результаты промышленных испытаний и последующая эксплуатация этих грохотов в условиях обогатительных фабрик, перерабатывающие энергетические угли и антрациты, подтвердили, что эластичное упругодеформируемое сито практически не подвержено залипанию влажным материалом. Грохоты удовлетворительно отсеивали из рядовых углей мелкие классы при нагрузках по исходному питанию от 90 до 300 т/ч и содержании рабочей влаги в отсеиваемом классе от 6,5 до 10%. При граничной крупности разделения 6 мм извлечение класса 0–6 мм в подрешетный продукт составляло 60–90%. при этом величина извлечения класса 0–3 мм достигала 80–97%.

Такие технологические показатели не в состоянии обеспечить ни одно из многих технических средств, используемых в углеобогатительной отрасли на операции сухого подготовительного грохочения.

Всего было внедрено около 15 машин, которые успешно

експлуатувались на углеобогатительных фабриках пока осуществлялась поставка запасных эластичных сит, изготовляемых из марки резины, специально разработанной для этой цели институтом резиновой промышленности НИИРП (г.Москва).

К материалам, из которых производят упругодеформируемые сита, предъявляются особо высокие требования. Если на обычных вибрационных грохотах материал сита влияет, в основном, на срок службы просеивающей поверхности, то на грохотах с упругодеформируемым ситом от его материала зависят и технологические показатели процесса грохочения.

Упругодеформируемые сита во время работы подвергаются абразивному воздействию грохотимого угля и многократным деформациям изгиба и растяжения. За период эксплуатации сита число циклов деформаций около  $10^8$ . Поэтому сита должны быть изготовлены из материала стойкого как к абразивному износу, так и к усталостному разрушению.

Для обеспечения постоянной степени натяжения при длительной эксплуатации упругодеформируемые сита должны обладать минимальным остаточным удлинением и сохранять свои упругие свойства при циклических деформациях.

Быстрое вытягивание полотна сита приводит к резкому снижению воздействия сита на грохотимый материал, что снижает эффективность процесса грохочения. Требуется преждевременный демонтаж и перетягивание просеивающей поверхности. В условиях непрерывной работы обогатительных фабрик это затруднительно и неэкономично.

Физико-механические свойства резины, разработанной институтом НИИРП полностью обеспечивали вышеуказанные требования. Остаточное удлинение этой марки резины около 10%, а относительное удлинение – более 420%, сопротивление разрыву – не менее 1020 Н/см, а показатель по истиранию не превышал  $70 \text{ см}^3/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ .

К сожалению, известные экономические трудности не позволили завершить работу по созданию эффективных упругодеформируемых сит из полимерных материалов и освоить их стабильное серийное производство на Украине.

Вместе с тем углеобогатительные фабрики по-прежнему остро нуждаются в технических средствах, способных сухим способом успешно рассевать угли повышенной влажности.

В настоящее время созрела необходимость в создании грохота с упругодеформируемым ситом нового поколения с учетом накопленного опыта эксплуатации грохотов этого типа, последних разработок и технических предложений (институты "УкрНИИУглеобогащение", "Гипромашуглеобогащение"), а также с использованием достижений в области производства износостойких просеивающих поверхностей из полимерных

матеріалів (ЗАО "АНА-ТЕМС", г. Днепропетровск).

На рис. 2 приведена схема грохота с самосинхронизирующимися вибровозбудителями. Конструкция данного грохота была разработана с целью увеличения площади отсева и создания грохотов с упругодеформируемой просеивающей поверхностью большой единичной мощности.

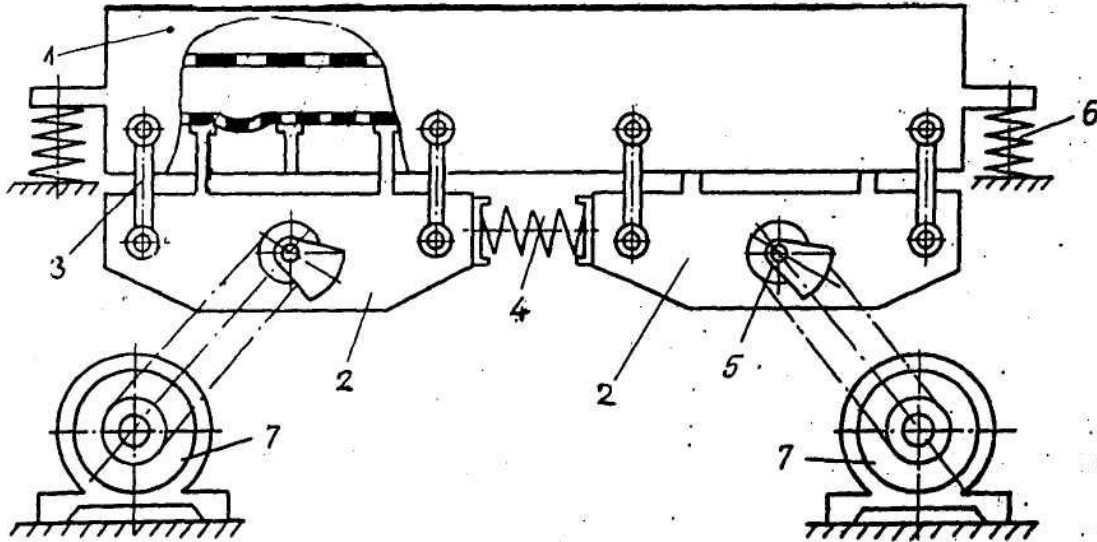


Рис. 2. Схема грохота с самосинхронизирующимися вибровозбудителями

Грохот включает короб 1, две рамы 2, установленные на коробе посредством шарнирных подвесок 3. Рамы 2 соединены между собой упругой связью 4, обеспечивающей самосинхронизацию вибровозбудителей 5. Вся колеблющаяся система расположена на мягких виброизолирующих упругих элементах 6. Грохот приводится в действие с помощью асинхронных двигателей 7.

Принцип действия грохота такой же, как у выше представленного. Чтобы обеспечить синхронное колебание рам, подвешенных на шарнирных подвесках, и исключить галогирование грохота между рамами устанавливается упругая связь, жесткость которой выбирается в пределах

$$\frac{m \cdot \omega^2}{2} > c > \frac{m^2 \cdot \omega^2}{M + 2m}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса каждой рамы;  $M$  – масса грохота;  $\omega$  – общая синхронная угловая скорость вращения валов вибровозбудителей.

Заслуживает внимания техническое предложение по созданию упругодеформируемого сита (рис. 3), имеющее отверстие с разъемным контуром и динамически активными перемычками, обеспечивающими низкое проходное сопротивление зернам материала при их отсеивании и способствующие

интенсификации процесса грохочения.

Отверстия сита 1 образованы сплошными поперечными 2 и чередующимися одна с другой продольными сплошными 3 и прерывистыми 4 перемычками, причем торцы 5 перемычек 4 находятся в контакте между собой при нейтральном расположении опор 6 и 7 (рис. 1) секций сита (рис. 3а).

При сближении опор секции сита провисают (рис. 3б), прерывистые перемычки 4 расчлениаются, образуя щель между торцами. На рис. 3в изображен участок секции сита в момент его растяжения, когда опоры удаляются друг от друга. При этом перемычки 4 также расчлениаются и под воздействием инерционных сил совершают дополнительные колебания.

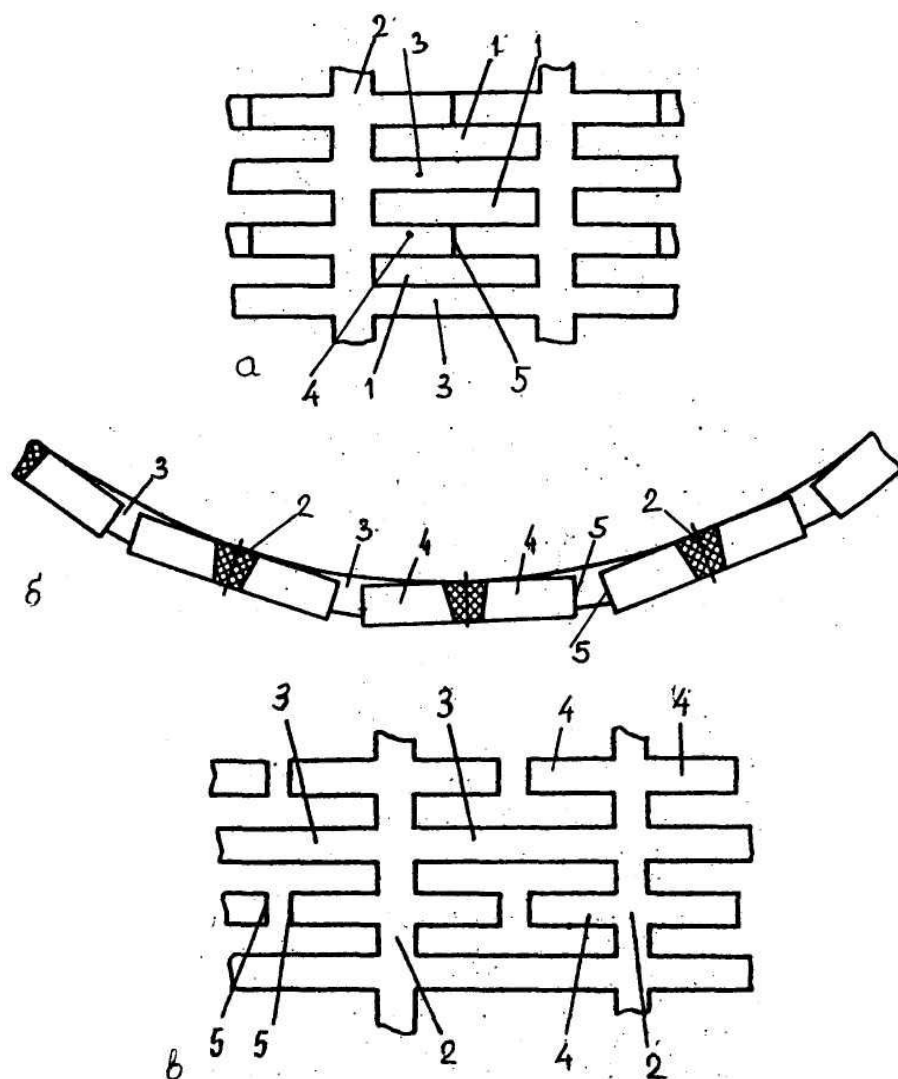


Рис. 3. Сито с отверстиями, имеющими разъемный контур

Применение упругодеформируемого сита такой конструкции позволит не только улучшить технологические показатели процесса грохочения углей повышенной влажности, но и уменьшить граничную крупность разделения до

3–4 мм, что дает реальную возможность снизить напряженность работы водно-шламовой схемы многих обогатительных фабрик и улучшить их качественно-количественные показатели в целом.

Секции эластичного упругодеформируемого сита крепятся к поперечным связью-балкам короба и рамы с помощью прижимных планок и болтов, расположенных в зоне контакта с абразивным грохотимым материалом. Головки болтов подвержены коррозии и истиранию, что затрудняет демонтаж секций сит при их замене.

С целью упрощения конструкции системы крепления сит и снижения трудоемкости при эксплуатации грохота разработан безболтовой способ крепления. Безболтовая система крепления приведена на рис. 4. Поперечные кромки смещенных секций сита 1 и 2 отогнуты и размещены в пазах, образованных стенками 3 поперечных связью-балок 4 короба и рамы грохота. Крепление поперечных кромок осуществляется посредством зажимных клиньев 5, вбиваемых между отогнутыми кромками до упоров 6, приваренных к верхнему торцу клиньев 5. Стенки 3 поперечных связью-балок 4 имеют ряд отверстий 7. Клинья 5 прижимают кромки секций сита к стенкам 3, при этом эластичный материал, из которого оно изготовлено, вдавливаясь в отверстия 7, образуя выступы 8, усиливающие эффект крепления секций сита к связью-балкам. При замене секций сита зажимные клинья 5 извлекаются путем захвата специальным приспособлением за упоры 8.

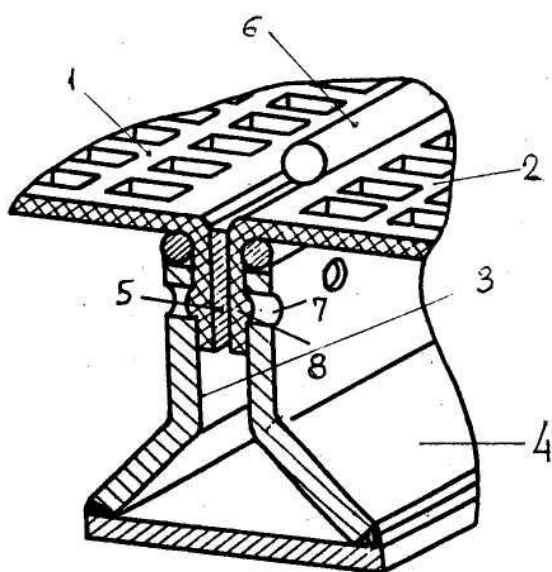


Рис. 4. Безболтовое крепление эластичного упругодеформируемого сита

В последние годы институтом "Гипромашуглеобогащение" достигнут заметный прогресс в области совершенствования инерционных

вибровозбудителів для грохотів. Розробтан новий вибровозбудитель блочної конструкції, відмінною особливістю якого є вибростійкість і механічна надійність, підвищена работоспособність. При цьому він характеризується меншою металоемкістю і трудоемкістю виготовлення порівняно з вибровозбудителями старої конструкції. В блочному вибровозбудителі застосовуються вибростійкі підшипники 303624 АННК5(22324 АСМА W33).

При створенні грохота з еластичнодеформованою просіваючою поверхнею нового покоління в його конструкцію необхідно втілювати вищеописані технічні пропозиції і розробки.

Для визначення і прогнозування показників роботи грохотів з еластичнодеформованим ситом на обогатительних фабриках, переробляючих енергетичні вугілля і антрацити, інститутом "УкрНИИУглеобогашение" розробтана методика технічного розрахунку грохотів цього типу при граничній крупності розділення 6 мм. Для зручності і швидкості визначення технологічних показників грохотів в односитному і двухситному виконанні побудовані номограми. На рис. 5 наведено номограму для двухситного грохота з еластичнодеформованою просіваючою поверхнею. Штриховою і штрих-пунктирною лініями показані ключі для знаходження ефективності процесу грохочення і удельної навантаження по вихідному питанню.

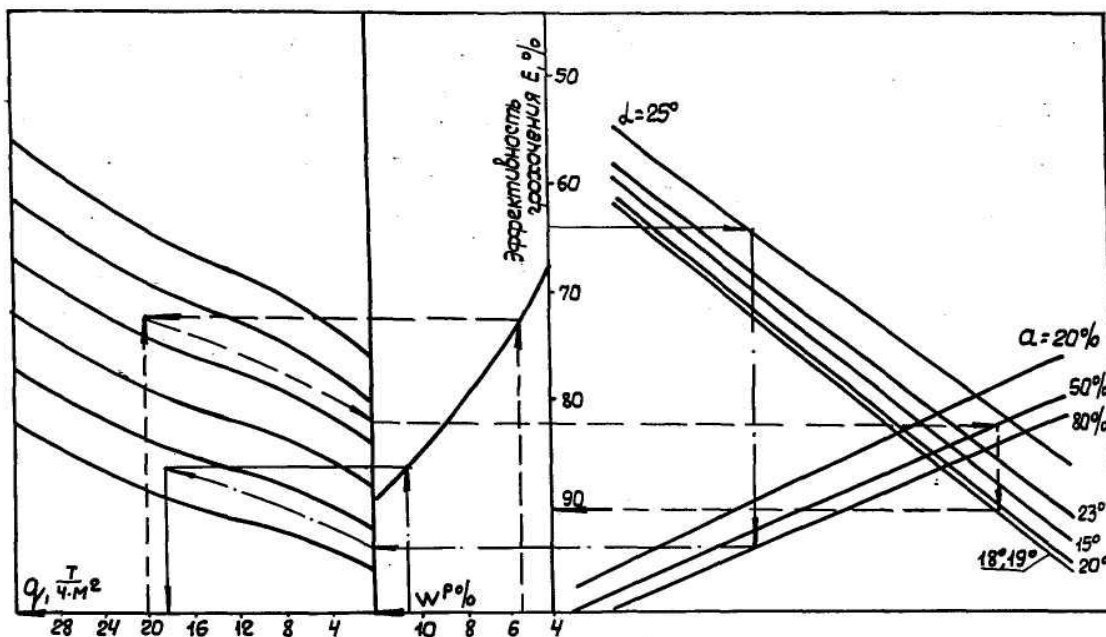


Рис. 5. Номограма для визначення технологічних показників двухситного грохота з еластичнодеформованою просіваючою поверхнею

Производительность односитного грохота рассчитывается по формуле



$$Q_1 = q_1 \cdot F \quad (2)$$

где  $q_1$  – удельная нагрузка по исходному питанию, т/ч·м<sup>2</sup>;  $F$  – площадь сита, м<sup>2</sup>.

Величина  $q_1$  определяется по номограмме для односитного грохота, аналогичной изображенной на рис. 5, или из уравнения

$$q_1 = 70,7 \sqrt{\frac{a^{0,1}(10,8 + 60\alpha - 0,163\alpha^2)}{E_1[1 + 10^{-3}(W^P)^2]} - 1}, \quad (3)$$

где  $E_1$  – требуемая эффективность грохочения, %;  $W^P$  – содержание общей рабочей влаги в отсеваемом классе 0–6 мм. %;  $a$  – содержание класса 0–6 мм в исходном питании, %;  $\alpha$  – угол наклона грохота к горизонту, градус.

Уравнение (3) справедливо при значениях  $a = 20–80\%$ ;  $W^P = 5,5–10,5\%$ ;  $\alpha = 15–25^\circ$ ;  $E_1 = 55–95\%$ .

Верхний предел крупности рядового угля, поступающего на эластичное упругодеформируемое сито, не должен превышать 25 мм. Поэтому верхнее сито обычно имеет отверстие с размерами 25 × 25 мм.

Производительность двухситного грохота определяется по формуле

$$Q_2 = 10^4 \cdot q_2 \cdot F / a_6 \cdot E_6,$$

где  $a_6$  – содержание класса 0–25 мм в исходном питании грохота, %;  $E_6$  – требуемая эффективность грохочения по верхнему ситу, %;  $q_2$  – удельная нагрузка на нижнее сито, т/ч·м<sup>2</sup>.

Величина  $q_2$  определяется по номограмме (рис. 5).

Создание эффективных технических средств для сухого отсева углей повышенной влажности дает реальную возможность радикально усовершенствовать технологическую схему многих углеобогатительных фабрик, улучшить работу обогатительных аппаратов и водно-шламового хозяйства, снизить сбросы хвостов в илонакопители и потери горючей массы угля с отходами.

Не вызывает сомнения экономическая целесообразность использования грохотов с эластичной упругодеформируемой просеивающей поверхностью в других отраслях промышленности, где есть технологическая необходимость в отсеве мелких классов из сырья, которое из-за повышенной влажности трудно поддается разделению по крупности.