

---

---

УДК 622.724 : 621.928.22

**Морус В.Л.**, канд. техн. наук, ст.науч. сотр.  
**Земляной Е.Ф.**, канд. техн. наук, ст.науч. сотр.  
**Овчаренко Д.К.**  
(ИГТМ НАН Украины)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УГОЛЬНОГО  
КОНЦЕНТРАТА НА ДУГОВОМ ГРОХОТЕ ТИПА « ПЕРЕКАТ »**

**Морус В.Л.**, канд. техн. наук, ст.науч. співр.  
**Земляний Е.Ф.**, канд. техн. наук, ст.науч. співр.  
**Овчаренко Д.К.**  
(ИГТМ НАН України)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЮВАННЯ ВУГЛЬНОГО  
КОНЦЕНТРАТУ НА ДУГОВОМУ ГРОХОТІ ТИПУ « ПЕРЕКАТ »**

**Morus V.L.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher  
**Zemlyanoy Ye.F.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher  
**Ovcharenko D.K.**  
(IGTM NAS of Ukraine)

**RESEARCH OF PROCESS OF COAL CONCENTRATE DEWATERING  
IN THE SIEVEBEND SCREEN OF “PEREKAT” TYPE**

**Аннотация.** Целью исследований является установление закономерностей отделения влаги на различных конфигурациях просеивающих поверхностей сит динамически активных ленточных (СДАЛ) и обоснование рациональных конструктивных и технологических параметров новых средств обезвоживания, использующих гравитационные и центробежные силы.

Для выполнения намеченной программы был создан и смонтирован на стенде специальный дуговой грохот типа « перекаат », оснащенный эффективными щелевыми ситами типа СДАЛ, характеризующимися высокой износостойкостью и отсутствием забиваемости ячеек.

Приведены результаты эксперимента, в ходе которого оценивалась возможность высококачественного отделения жидкой фазы из пульпоподобной смеси с использованием эластичных просеивающих элементов СДАЛ.

На основании выполненных экспериментальных исследований обоснованы конструктивные и технологические параметры, которые влияют на процесс отделения жидких фаз от пульпоподобных смесей. Технологические исследования выполнялись на дуговом грохоте типа «перекаат» на лабораторном стенде с непрерывным движением материала. В качестве просеивающих поверхностей использовались резиновые динамично активные ленточные сита СДАС.

**Ключевые слова:** обезвоживание угольного концентрата, динамически активные резиновые сита, грохот

В современном обогащительном производстве происходит постоянное развитие и совершенствование всех технологических процессов и оборудования, которое выполняется с целью обеспечения высокой эффективности работы всех звеньев технологической цепочки, получения продуктов обогащения отличного качества и

низкого уровня затрат. Важное место в обогащительном процессе занимает операция обезвоживания концентрата и получения конечной продукции, не требующей дополнительной сушки и больших затрат энергии.

В настоящее время операция обезвоживания присутствует практически во всех технологических схемах мокрого обогащения углей. Целью ее, кроме удаления основной массы воды, содержащейся в перерабатываемых угольных концентратах и породе, является также отделение суспензий, отмывание утяжелителей, обесшламливание конечных и промежуточных продуктов обогащения. Все это совершенно обоснованно приравнивает операцию обезвоживания к числу основных технологических процессов.

Анализ схем цепи аппаратов современных углеобогащительных фабрик также свидетельствует о том, что операции обезвоживания и обесшламливания являются важнейшими для обеспечения качественной работы основного обогащительного оборудования, а также выпуска концентратов со строго регламентированным содержанием влаги. Эти операции осуществляются преимущественно [1-4] методами грохочения или фильтрования на просеивающих поверхностях. Анализ технологических показателей оборудования, которое наиболее широко используется в настоящее время для обезвоживания и обесшламливания, показывает, что оно находится на качественно низком уровне, который не позволяет эффективно решать проблемы сокращения материальных и энергетических затрат производства. Это определяет безусловную актуальность и важность исследований по созданию новых способов и средств отделения жидких фаз из пульпообразных смесей.

В настоящий период в мировой практике для обезвоживания углей и шламов используются разнообразные методы и средства. Это, прежде всего, новые технологии, новое оборудование и материалы просеивающих поверхностей. Анализ исследований последних лет [5-7] показал, что основное внимание уделено совершенствованию методов центробежной фильтрации, масляной грануляции, прессования и флокуляции, применению поверхностно-активных реагентов.

Создаются новые конструкции центрифуг и флотационных машин, применяются ленточные вакуум-фильтры, барабанные фильтры, трубчатые фильтры высокого давления. Совершенствуются направления по созданию вибрационных и дуговых грохотов с эластичными просеивающими элементами и фильтрующими металлическими и полиамидными сетками. Последнее направление выгодно отличается простотой, доступностью и дешевизной по сравнению с вышперечисленными методами.

Особая роль в создании новых, эффективных средств обезвоживания и обесшламливания принадлежит эластичным просеивающим поверхностям, приходящим на смену металлическим проволочным плетеным сеткам и шпальтовым ситам.

Разработкой конструкций новых резиновых сит динамически активных ленточных (СДАЛ), специально предназначенных для операций по обезвоживанию угольных концентратов занимается «Лаборатория проблем техники и технологии опережающего обогащения минерального сырья» Института геотехнической механики им. Н.С.Полякова НАН Украины. Здесь выполняются исследовательские работы по созданию, освоению производства и широкому внедрению технологиче-

ски высокоэффективных и долговечных просеивающих поверхностей грохотов различного предназначения, а также новых способов и средств их применения, обеспечивающих существенное повышение технико-экономических показателей. Одним из направлений таких работ является создание просеивающих поверхностей для тонкого грохочения и обезвоживания и обесшламливания углей.

Исследования процесса отделения жидких фаз из пульпообразных смесей проводились в лаборатории на стенде с системой циркуляционного движения материала. Целью исследований являлось установление закономерностей отделения влаги на различных конфигурациях просеивающих поверхностей СДАЛ и обоснование рациональных конструктивных и технологических параметров новых средств обезвоживания, использующих гравитационные и центробежные силы.

Для выполнения намеченной программы был создан и смонтирован на стенде специальный дуговой грохот типа «Пережат», оснащенный эффективными щелевыми ситами типа СДАЛ, характеризующимися высокой износостойкостью и отсутствием забиваемости ячеек. Основная идея, заложенная в грохоте такой конструкции, заключалась в том, чтобы создать такие условия движения жидкости в пористой среде ( фильтрацию ), при которых процесс отделения жидкой фазы от твердой протекал бы наиболее эффективно.

В противовес обычной наклонной поверхности конструкции решета грохота требовалось придать такую конфигурацию, при которой, взвешенные в потоке частицы, находились бы не только под действием силы тяжести, но и под действием центробежной силы, т.е. увеличить силу прижатия пульпы к решетку.

Таким образом, на частицу с массой  $m$  действует сила, равная

$$F = m g \sin \alpha + F_{цб} = m g \sin \alpha + m V^2 / R,$$

где  $\alpha$  – центральный угол наклонной плоскости,  $V$  – скорость движения частицы,  $R$  – радиус кривизны просеивающей поверхности.

Выполненные расчеты показали, что простая наклонная поверхность не может иметь произвольный центральный угол, так как при малом угле частицы материала залегают, а при большом – проскакивают. Эти два предельных варианта неприемлемы. При центральном угле, равном  $45^\circ$ , составляющая силы тяжести, направленная к решетку, равна  $0,7 g$ , а при радиусе, равном  $0,7$  м, эта составляющая равна уже  $3-4 g$ . Таким образом, резко возрастает центробежная сила, прижимающая пульпообразный поток к решетку, и процесс обезвоживания интенсифицируется.

При создании конструкции дугового грохота с малым радиусом кривизны и большой центробежной силой возникает противоречие, заключающееся в том, что малый радиус кривизны автоматически обуславливает сокращение просеивающей поверхности. Центробежная сила возрастает, а длина ( путь грохочения ) уменьшается. Поэтому для увеличения пути грохочения приходится делать каскад криволинейных поверхностей, сдваивая или страивая дугообразные просеивающие поверхности. В рамках одной ступени процесс продвижения пульпообразного материала идет с определенным замедлением и изменением направления движения пульпы. Для разгона массы материала и создания центробежного эффекта необхо-

димо иметь переходный участок. Поэтому создан наклонный желоб, распределяющий пульпообразный поток равномерно по ширине дугового грохота.

На рисунке 1 представлены зоны, которые проходит материал, достигая разгрузочного порога.

В верхней части грохота располагается загрузочная разгонно-фильтрующая зона. После прохождения ее в пульпе еще много влаги и достаточное количество энергии ( скорости ) для дальнейшего грохочения на следующем участке, располагающемся непосредственно за первым. Это - зона обезвоживания в поле центробежных сил. Далее, за перегрузочным устройством, следует зона стесненного «бункерного» обезвоживания. После ее прохождения материал попадает в последнюю зону – зону доводки и выгрузки.

В результате интенсивного отбора влаги в средней части второй ступени масса материала приобретает вид лавины и сдвигается под действием силы тяжести вниз, накапливаясь толстым вблизи разгрузочного порога и сползает с него обезвоженная до 20-22 %.

Для того, чтобы поток пульпообразного материала сконцентрировать и обеспечить компактность и минимальный разрыв между первой и второй ступенями грохота, устанавливается отражатель потока, который направляет его к началу второй ступени.

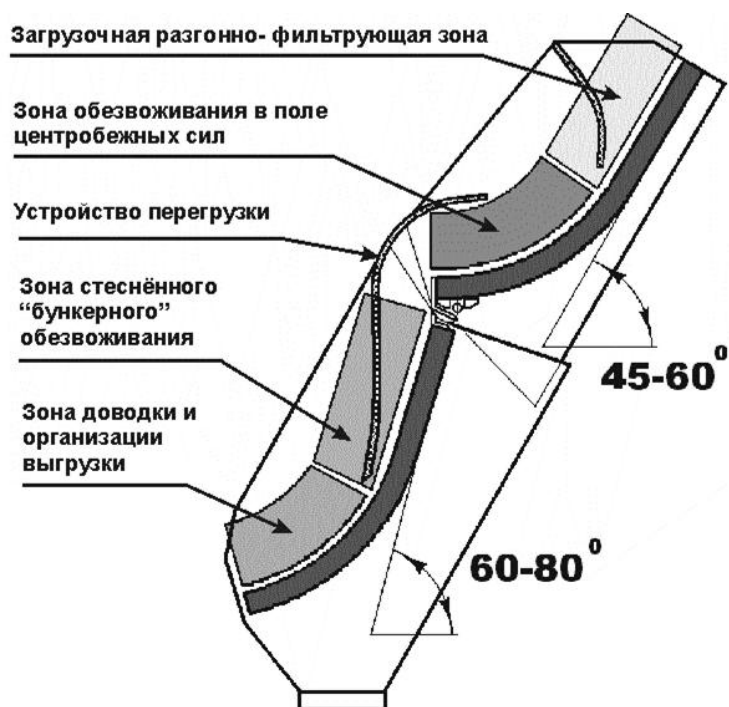


Рис. 1 – Схема продвижения материала по зонам дугового грохота

Как видно из рисунка, грохот состоит из двух шарнирно соединенных ступеней –верхней и нижней. Угол наклона каждой ступени регулировался отдельно. С помощью винтового механизма регулировался и общий угол наклона грохота

Просеивающая поверхность дугового грохота оснащена резиновыми элемента-

ми СДАЛ щелевого типа с размером щели 2 x 13 мм.

Грохот размещался между верхним и нижним баками стенда с непрерывной циркуляцией пульпы с исходным материалом таким образом, чтобы материал попадал в наклонный желоб, распределяющий поток равномерно по ширине просеивающей поверхности. Производилась плавная регулировка производительности грохота по исходному питанию с помощью задвижки.

В процессе эксперимента необходимо было принципиально оценить возможность высококачественного отделения жидкой фазы из пульпообразной смеси с использованием эластичных просеивающих элементов СДАЛ.

Кроме того, задачами исследований являлись оценка влияния углов наклона составных частей дугового грохота и производительности по исходному продукту на качество обезвоживания концентрата.

Экспериментальные исследования проводились в четыре этапа:

а) установление влияния угла наклона верхней ступени на уровень содержания влаги в надрешетном продукте;

б) определение зависимости степени обезвоживания концентрата от угла наклона нижней ступени грохота;

в) определение влияния общего угла наклона системы на процесс обезвоживания;

г) установление зависимости влажности надрешетного продукта от производительности по исходному материалу.

Остановимся на итогах и анализе лабораторных экспериментальных исследований. Следует отметить, что влияние каждого из перечисленных выше параметров определялось при неизменных значениях остальных.

На рисунке 2 представлены зависимости влажности концентрата от угла наклона верхней ступени грохота  $W = f(\alpha_v)$ . Из графика следует, что такая зависимость имеет, практически, линейный характер. Так, при уменьшении угла наклона с  $60^\circ$  до  $50^\circ$  (т.е. на 20%), влажность концентрата снижается, примерно, на 20%, а при дальнейшем его уменьшении до  $40^\circ$  влажность снижается еще на 27%. Таким образом, анализ результатов первого этапа экспериментальных исследований показал, что увеличение угла наклона верхней ступени дугового грохота способствует более крутому расположению загрузочной разгонно-фильтрующей зоны. В этом случае увеличивается скорость продвижения пульпообразного материала по этой зоне и, как следствие, к снижению фильтрующего эффекта. Кроме того, поднятие зоны обезвоживания в поле центробежных сил приводит к уменьшению времени нахождения в ней материала и снижает действие центробежной силы. То же касается и сил гравитации. Данные зависимости получены при производительности по исходному материалу  $Q_{исх} = 5$  т/ч (по сухому материалу) и угле наклона нижней ступени, равном  $\alpha_n = 70^\circ$ .

Второй этап экспериментальных исследований касался оценки влияния изменения угла наклона нижней ступени дугового грохота при неизменных параметрах производительности по исходному питанию и угле наклона верхней ступени, которые равнялись, соответственно,  $Q_{исх} = 5$  т/ч и  $\alpha_v = 50^\circ$ . На рисунке 3 показана зависимость влажности надрешетного продукта от изменения угла наклона нижней

ступени.

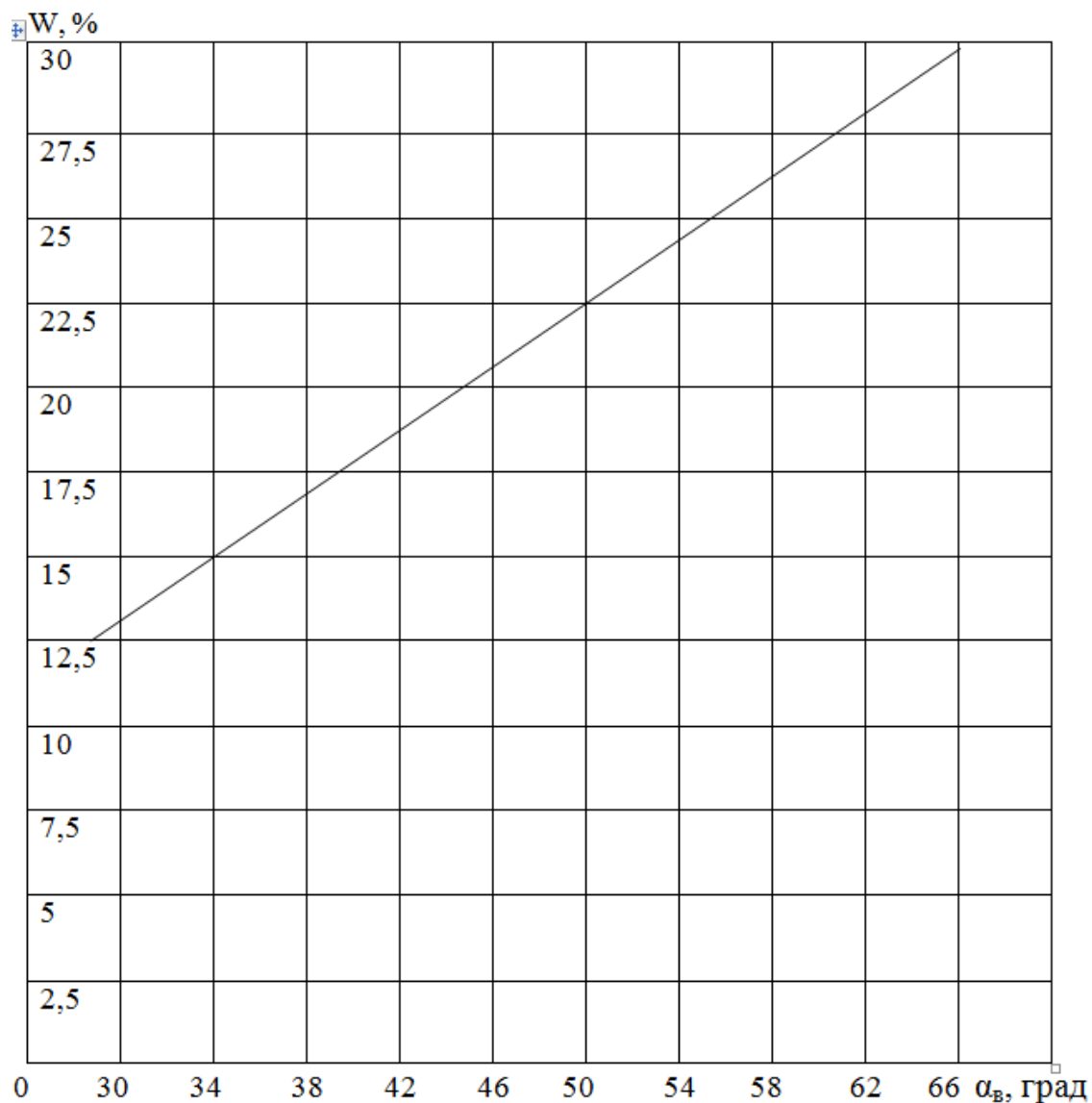


Рис. 2 – Зависимость обезвоживания от угла наклона верхней ступени дугового грохота,  $W = f(\alpha_{в})$

Из графика следует, что, как и в случае с верхней ступенью, увеличение угла наклона приводит к возрастанию влажности конечного продукта. При выбранных начальных параметрах изменение угла  $\alpha_{н}$  от  $54^{\circ}$  до  $80^{\circ}$  дает увеличение влажности с 16 до 34 %.

Ухудшение влагоотделения при увеличении угла наклона нижней ступени дугового грохота связано с тем, что в зоне стесненного («бункерного») обезвоживания пульпообразный материал задерживается на все более короткое время, что не способствует быстрому отделению влаги. Зону доводки и выгрузки материал также покидает быстрее.

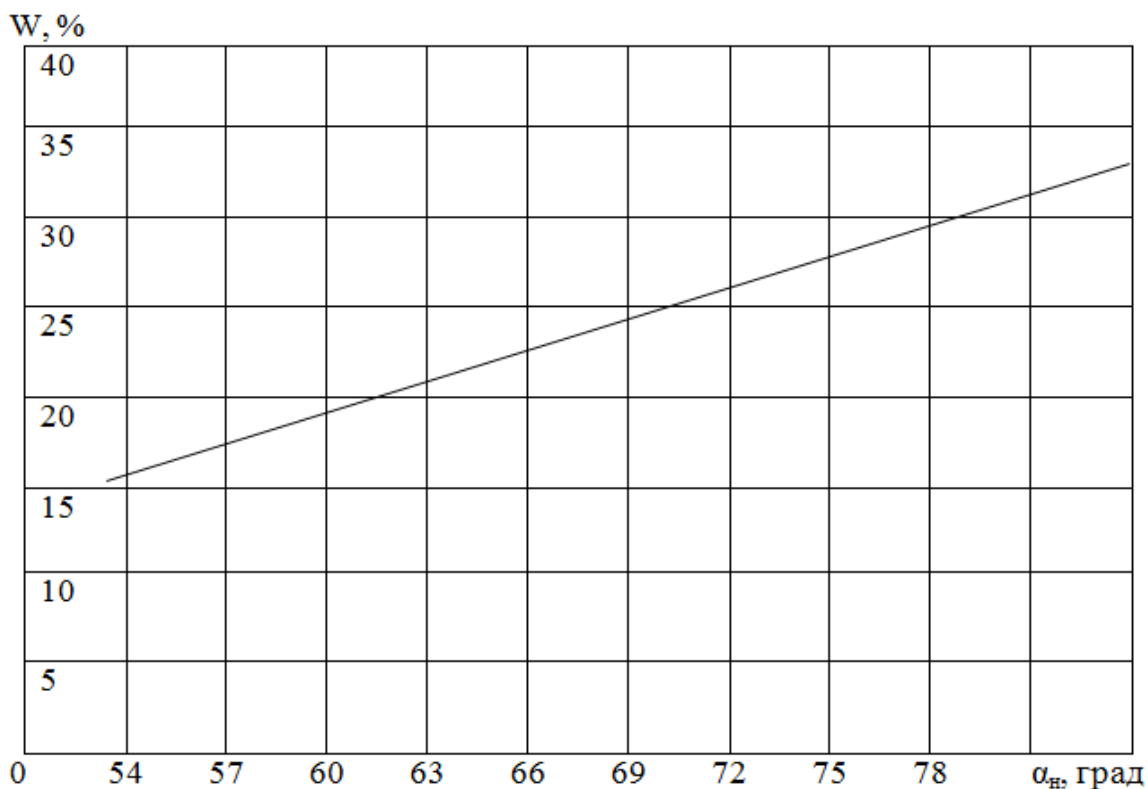


Рис. 3 – Зависимость обезвоживания от угла наклона нижней ступени дугового грохота  $W = f(\alpha_n)$

Проведенная интерполяция показала, что достижение влажности надрешетного, равной 15 %, можно достичь при  $\alpha_n = 70$  % и  $\alpha_b = 34$  % или при  $\alpha_n = 54$  % и  $\alpha_b = 55$  %. Следует отметить, что изменение производительности по исходно-му питанию автоматически приводит и к корректировке указанных углов.

Становится очевидным, что вариантов достижения приемлемого низкого уровня влажности достаточно много. Наклон каждой ступени дугового грохота создает общий его наклон к горизонту, т.е. изменяется конфигурация просеивающей поверхности, а, следовательно, изменяются и условия прохождения материалом зон дугового грохота.

Как отмечалось выше, важную роль в процессе обезвоживания концентрата играет производительность по исходному питанию, т. е. количество пульпообразного материала, подаваемого в грохот в единицу времени. Это основополагающий технологический параметр, который задается изначально и изменяется нечасто. Поэтому следующий этап экспериментов предполагал установление рациональных соотношений уровней влажности в надрешетном продукте с производительностями по исходному продукту. Для этой цели проведены серии отборов проб с изменяющимися  $Q_{исх}$  при неизменных  $\alpha_b$  и  $\alpha_n$ . Обработка данных экспериментов позволила получить зависимости, представленные на рисунке 4.

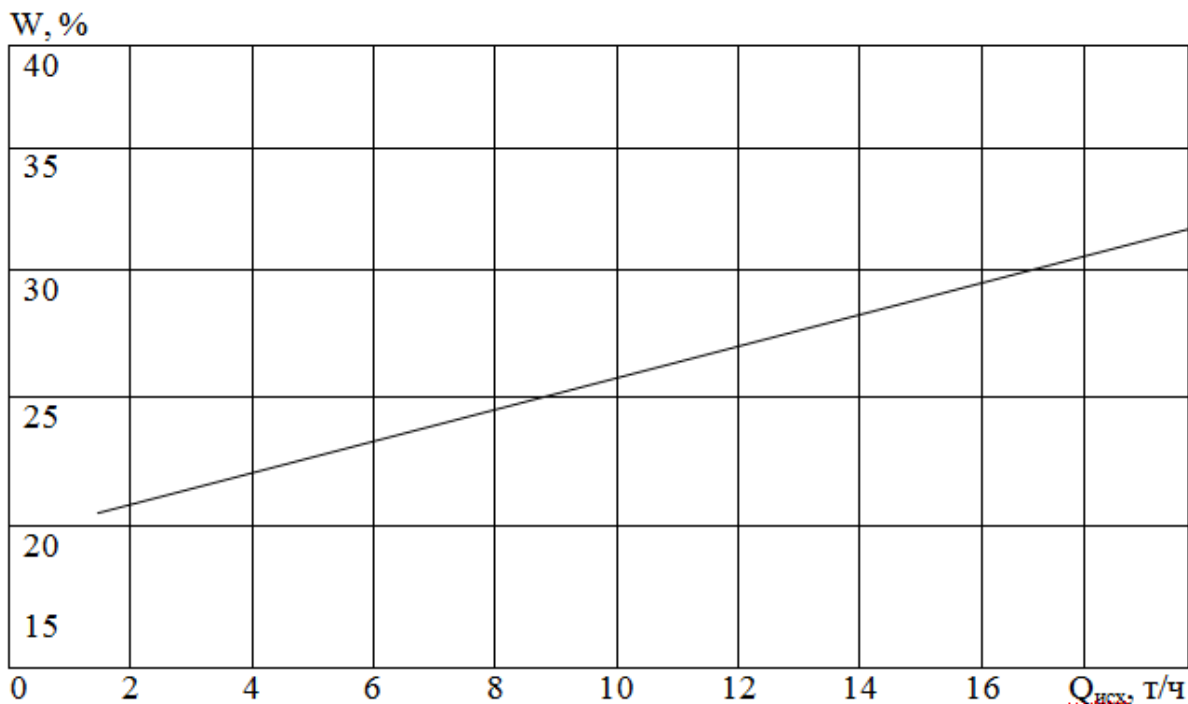


Рис. 4 – Зависимость обезвоживания от производительности по исходному питанию,  $W = f(Q_{исх})$

Линейный характер увеличения влажности при возрастании производительности по исходному сохранился и в этом случае, что вполне соответствует описанным выше причинам. Выбрав необходимую производительность, и, уменьшив углы наклона криволинейных ступеней грохота, нетрудно получить режим, обеспечивающий получение концентрата с низким содержанием влаги.

Эффективному отделению влаги в немалой степени способствует использование резиновых СДАЛ щелевого типа в качестве просеивающих элементов. Трапециевидная форма ячеек (в вертикальной плоскости) способствует быстрому удалению шлама и воды, а незабиваемость ячеек – сохранению пористости среды. Кроме того, кольцевые элементы СДАЛ обладают значительной степенью износостойкости, что позволяет эксплуатировать их без замены в течение нескольких лет.

Анализируя результаты проведенных исследований, необходимо отметить, что именно технологические параметры процесса обезвоживания задают системе варьирования конструктивными параметрами определенный смысл, благодаря которому и находятся их рациональные сочетания. В результате этого и достигается максимальная эффективность процесса удаления влаги из пульпообразной смеси.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейлин, М.И. Теоретические основы обезвоживания углей / М.И, Бейлин. – М.: Недра, 1969. – 237 с.
2. Бедрань, Н.Г. Обезвоживание углей: Учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. / Н.Г. Бедрань.- М.: Недра, 1988.– 206 с.
3. Фридман, С.Э. Обезвоживание продуктов обогащения / С.Э. Фридман. – М.: Недра, 1988, - 239 с.
4. Чуянов, Г.Г. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды: Учебник для ву-



зов / Г.Г. Чуянов. – М.: Недра, 1987.- 260 с.

5. Гарковенко, Е.Е. Особенности обезвоживания тонких труднофильтруемых осадков / Е.Е. Гарковенко // Труды НГУ, Днепропетровск. – 2003. – Т. 1, №17. – С. 88-93.

6. Разработка и создание полноразмерных экспериментальных образцов оборудования для лабораторных исследований. Наладка систем изменения конструктивных параметров оборудования и стенда: Отчет о НИР ( промежуточный ) // Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова НАН Украины; Рук. В.Л.Морус, - № ГР 0104U002501, - Днепропетровск, 2004. –22 с, Ил. 1.

7. Исследование и установление закономерностей разделения твердых и жидких фаз с пульпообразных смесей на различных конфигурациях просеивающих поверхностей из эластомеров, действующих в стесненных условиях в поле гравитационных и центробежных сил: Отчет о НИР ( промежуточный ) // Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова НАН Украины; Рук. В.Л.Морус, - № ГР 0104U002501, - Днепропетровск, 2006. –25 с., Ил. 4, 2 табл.

#### REFERENCES

1. Beylin, M.I. (1969), *Teoreticheskie osnovy obezvozhvaniya ugley* [Theoretical Foundations of coal dewatering], Nedra, Moscow, Russia.

2. Bedran, N.G. (1988), *Obezvozhvanie ugley* [Coal dewatering], Nedra, Moscow, Russia.

3. Fridman S.E. (1988), *Oezvozhvanie produktov obogashcheniya* [Dehydration of separation products], Nedra, Moscow, Russia.

4. Chuyanov, G.G. (1987), *Obezvozhvanie, pileulavlivanie i okhrana okruzhayushchey sredy* [Dehydration, dust control, and environmental protection], Nedra, Moscow, Russia.

5. Garkovenko, Ye.Ye. (2003), “Features dewatering of delicate difficult filtering sediments” , *Trudy Natsionalnogo gornogo univedsiteta*, no.17, vol.1, pp.88-93.

6. Morus, V.L. ect (2004), “Design and creation of a full-size test specimens for laboratory testing equipment. Setting up the system changes the design parameters and equipment stand: Research report (interim)”, Institute of Geotechnical Mechanics N.S.Polyakov National Academy of Sciences of Ukraine; Dnepropetrovsk, Ukraine.

7. Morus, V.L. ect (2006), “Investigation establishment of laws and separation of solid and liquid phases of mixtures of pulps with different configurations on the surfaces of the elastomers Screening operating in confined spaces in the gravitational and centrifugal forces: Research report (interim), Institute of Geotechnical Mechanics N.S.Polyakov National Academy of Sciences of Ukraine; Dnepropetrovsk, Ukraine.

---

#### Об авторах

**Морус Владимир Леонидович**, кандидат технических наук, директор СКТБ Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины, заведующий лабораторией Проблем техники и технологии опережающего обогащения минерального сырья отдела Проблем разработки месторождений на больших глубинах (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [igtmanu@yandex.ru](mailto:igtmanu@yandex.ru).

**Земляной Евгений Федорович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в лаборатории Проблем техники и технологии опережающего обогащения минерального сырья отдела Проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [igtmanu@yandex.ru](mailto:igtmanu@yandex.ru).

**Овчаренко Дмитрий Константинович**, младший научный сотрудник в лаборатории Проблем техники и технологии опережающего обогащения минерального сырья отдела Проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [igtmanu@yandex.ru](mailto:igtmanu@yandex.ru).

#### About the authors

**Morus Vladimir Leonidovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Head of Laboratory of Advanced Equipment and Technology of Mineral Processing, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [igtmanu@yandex.ru](mailto:igtmanu@yandex.ru).

**Zemlyanoy Yevgeniy Fedorovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Laboratory of Problems of Equipment and Technology of Advancing Enrichment of Mineral Raw Materials under the Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [igtmanu@yandex.ru](mailto:igtmanu@yandex.ru).

nu@yandex.ru.

*Ovcharenko Dmitriy Konstantinovich*, Junior Researcher in Laboratory of Problems of Equipment and Technology of Advancing Enrichment of Mineral Raw Materials under the Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtmanu@yandex.ru.

**Анотація.** Метою досліджень було встановлення закономірностей відділення вологи на різних конфігураціях просіювальних поверхонь сит динамічно активних стрічкових (СДАС) та обґрунтування раціональних конструктивних і технологічних параметрів нових засобів зневоднення, що використовують гравітаційні і відцентрові сили.

Для виконання наміченої програми був створений і змонтований на стенді спеціальний дуговий грохот типу «Перека́т», оснащений ефективними щілинними ситами типу СДАС, що характеризуються високою зносостійкістю і відсутністю забивання осередків.

Наведено результати експерименту, в ході якого оцінювалася можливість високоякісного відділення рідкої фази з пульпоподібної суміші з використанням еластичних просіювальних елементів СДАС.

На підставі виконання експериментальних досліджень обґрунтовані конструктивні і технологічні параметри, які впливають на процес відділення рідких фаз від пульпоподібних сумішей. Технологічні дослідження виконувались на дуговому грохоті типу «Перека́т» на лабораторному стенді з безперервним рухом матеріалу. У якості просіювальних поверхонь використовувались гумові динамічно активні стрічкові сита СДАС.

**Ключові слова:** зневоднення вугільного концентрату, динамічно активні гумові сита, грохот.

**Abstract.** Purpose of these researches is to establish regularities of moisture separation in various by configuration screening surfaces of dynamically active band screens (DABS) and to specify rational and technological parameters for dewatering facilities which use gravitational and centrifugal forces.

To realize the planned program, a special sievabend screen was created and mounted on the test bench. The screen was equipped with effective slotted sieves of the DABS type, which were characterized by high wear resistance and absence of the cell clogging. The authors present results of their experiments in the course of which they estimated potential of the DABS elastic screening elements to provide highly effective liquid phase separation from the pulp-like mixture.

On the base of these experimental researches, constructive and technological parameters were specified, which can impact on the process of liquid phase separation from the pulp-like mixtures. In the course of the researches, the sievabend screen of the “Perekat” (“Roll”) type installed on the test bench was used at constant feeding of the material. The rubber dynamically active band screens DABS were used as screening surfaces.

**Keywords:** dehydration of coal concentrate, dynamically active rubber screens, screen

*Статья поступила в редакцию 16.04.2013  
Рекомендовано к публикации д.т.н., проф. В.И. Дырдой*