

Список літератури

1. Варфоломеев С.Д. Биосенсоры // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 1. – С. 45-49.
 2. Ермолаева Т.Н. Пьезокварцевые биосенсоры для анализа объектов окружающей среды, пищевых продуктов и для клинической диагностики / Т.Н. Ермолаева, Е.Н. Калмыкова // Рос. хим. ж. – 2008. – Т. 52, № 2. – С. 17-29.
 3. Медянцева Э.П. Амперометрические L-цистеиндисульфидразные биосенсоры на основе модифицированных графитовых печатных электродов для определения антидепрессантов / Э.П. Медянцева, Д.В. Брусницин // Учен. зап. Казан. ун-та. – 2013. – Т. 115, кн. 2. – С. 51-65.
 4. Петрухин О.М. Сенсоры в аналитической химии / О.М. Петрухин, О.О. Максименко // Рос. хим. ж. – 2008. – Т. 52, № 2. – С. 3-6.
 5. Grieshaber D. Electrochemical biosensors-Sensor principles and architectures // Sensors. – 2008. – Vol. 8, N 3. – P. 1400-1458.
 6. Fritz J. Cantilever biosensors // Analyst. – 2008. – Vol. 133, N 7. – P. 855-863.
 7. Shao Y. Graphene based electrochemical sensors and biosensors: a review // Electroanalysis. – 2010. – Vol. 22, N 10. – P. 1027-1036.
 8. Преснова Г.В. Электрохимические биосенсоры на основе пероксидазы хрена / Г.В. Преснова, М.Ю. Рубцова // Рос. хим. ж. – 2008. – Т. 52, № 2. – С. 60-65.
 9. Yogeswaran U. A review on the electrochemical sensors and biosensors composed of nanowires as sensing material // Sensors. – 2008. – Vol. 8, N 1. – P. 290-313.
 10. Пономарева О.Н. Бактериальные биосенсоры для экологического мониторинга углеводородов нефти // Известия Тульского гос. ун-та. – 2010. – Вып. 2. – С. 273-280.
 11. Wang J. Electrochemical glucose biosensors // Chemical reviews. – 2008. – Vol. 108, N 2. – P. 814-825.
- Рукопис подано до редакції 16.02.14
УДК 658.011.56

В.А. КОНДРАТЕЦ, канд. техн. наук., проф., А.Н. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц.
Кировоградский национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПУЛЬПЫ В УЛИТКОВОМ ПИТАТЕЛЕ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ПЕСКОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВУХСПИРАЛЬНОГО КЛАССИФИКАТОРА

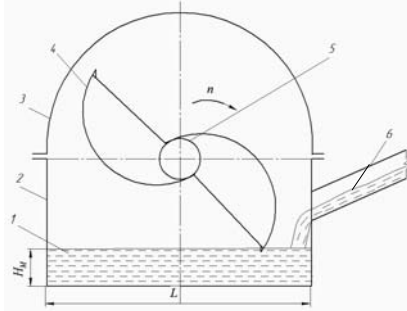
Установлено, что изменение уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя представляет собой стационарный случайный процесс, интенсивность которого различна по его ширине и возрастает с уменьшением уровня. Длительность участков с неизменным значением уровня пульпы сокращается с его уменьшением. Они не являются строго фиксированными по длине реализации, которая равна 1,56 с.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Две третьих рудного сырья черной металлургии Украины составляют продукты обогащения. Значительная часть из них измельчается в циклах с двухспиральным классификатором, пески которого перерабатывает шаровая мельница, несущая основную нагрузку. Из-за отсутствия средств автоматической стабилизации разжижения пульпы в мельнице, она работает с неполной отдачей, перерасходуя электрическую энергию, шары и футеровку, снижая производительность по готовому продукту. Это не соответствует основным положениям Государственной научно-технической программы «Ресурсосберегающие технологии нового поколения в горнометаллургическом комплексе». Учитывая это, тема статьи, которая посвящена решению задач автоматизации разжижения пульпы в мельницах при измельчении песков механического двухспирального классификатора, является актуальной. Материалы данной публикации получены при выполнении научно-исследовательской темы «Система компьютерной идентификации соотношения твердое/жидкое при измельчении песков классификатора» (государственный регистрационный номер 0107U005470).

Анализ исследований и публикаций. В автоматизацию измельчения руд значительный вклад сделали работы ученых: Азаряна А.А., Барского Л.М., Бунька В.А., Воронова В.А., Гринмана И.Г., Качана Ю.Г., Козина В.З., Кочуры Е.В., Марюты А.Н., Моркуна В.С., Назаренка М.В., Поркуян О.В., Процута В.С., Тихонова О.Н., Тропа А.Е., Хорольского В.П., Ватсона Д., Гилберта Д., Линча Л. и др. Однако их работы в основном посвящены автоматизации мельниц с циркулирующей нагрузкой, которые невозможно адаптировать к условиям измельчения песковой нагрузки. Предложенное средство [1], как было установлено, может забиваться

посторонними предметами, которые попадают в технологический поток. Авторами данной публикации предложен алгоритмический подход идентификации соотношения твердое/жидкое в улитковом питателе [2], который позволяет решить задачу обеспечения необходимого разжижения пульпы в шаровой мельнице, однако это связано с учетом динамики жидкой среды, которую в такой постановке никто не исследовал.

Постановка задания. Целью данной работы является исследование динамики пульпы в улитковом питателе при измельчении песков механического двухспирального классификатора с обоснованием условий идентификации их разжижения.



1 – пульпа, 2 – приемное устройство, 3 – кожух, 4 – улитки, 5 – пустотелый вал, 6 – песковый поток
Рис. 1 Схематическое изображение улиткового питателя

Изложение материала и результаты. Современные улитковые питатели обычно имеют два захватных элемента. Схематическое изображение такого улиткового питателя подано на рис. 1.

В приемном устройстве 2 в установившемся режиме работы накапливается жидкий материал (пульпа) 1 с определенным уровнем H_M . Если бы обороты n мельницы (пустотелого вала 5) были очень маленькими, а пульпа не расслаивалась, то уровень H_M поддерживался бы на определенном неизменном значении, поскольку захватные эле-

менты 4 отбирают за единицу времени столько материала, сколько его поступает с песковым потоком 6. При другом расходе в песковом потоке 6 в приемном устройстве 2 будет новое установившееся значение уровня H_M . Процессы взаимодействия захватных элементов улиткового питателя и пульпы повторяются. Это идеализированный режим работы улиткового питателя. В реальных условиях пустотелый вал 5 присоединен к загрузочному торцу шаровой мельницы и вращается вместе с ней. С другой стороны, скорость движения захватных элементов улиткового питателя должна быть такой, чтобы пульпа 1 в приемном устройстве 2 не расслаивалась. В реальных условиях работы захватные элементы улитки 4 движутся с достаточно большой скоростью. При этом, захватный элемент, входя в пульпу, создает штучную волну, вершины которой имеют тенденцию быть короткими и острыми, а подошвы – длинными и пологими. Еще одной особенностью данной волны есть то, что в ней не создается задняя вершина, а лишь передняя в момент выхода захватного элемента с пульпы. Кривая свободной поверхности такой волны имеет вид дуги окружности радиусом, который равен расстоянию от оси вращения до кромки захватного элемента, которое в современных улитковых питателях составляет 3 м. Непрерывные волны в приемном устройстве не создаются учитывая то, что после выхода из пульпы первого захватного элемента второй в это же мгновение не входит. Таким образом действует только одна волна, которая потом разрушается. Днище приемного устройства существенно влияет на формирование волны. В частности, практически весь объем пульпы, которая находится в проекции ширины захватного элемента, движется вперед вместе с волной. Волна продвигается со скоростью пульпы, которая движется вместе с ней. Это продолжается до мгновения, пока волна не достигнет преграды – стенки, установленной в конце приемного устройства [3].

Известно, что в случае волн, которые движутся непрерывно, вершины перемещаются более быстро, чем подошвы. На мелких участках крутизна переднего склона возрастает, а заднего – уменьшается. Когда вершина волны догоняет подошву, возникает прибой. Передний склон принимает отвесное положение и вершина волны падает к подошве, которая находится спереди. При этом возле переднего склона волны создается воздушный карман. Под действием большой энергии волны он сильно сжимается. Сжатый воздух выбрасывает брызги и частично растворяется в жидкой среде [3]. Учитывая то, что предыдущей волны в улитковом питателе не существует, прибой в нем возникнуть не может. Поэтому при работе улиткового питателя воздух в пульпу практически не попадает. Активное перемещение пульпы способствует поддержанию ее однородного состояния.

Сформированная одиночная волна отражается под прямым углом в приемное устройство с большой энергией, совершая движение в обратном направлении, интенсивно перемешивая материал. Идеальная отраженная волна, как бы на нее не влияли оседающая и набегающая с пескового желоба пульпа, имела бы вид полной волны. В такой волне сформировались бы практически одинаковые две вершины. Однако отраженная волна действует в иных условиях. Из-за это-

го она меняет форму и ее следующие вершины будут проявляться сравнительно слабо. Волновые процессы в приемном устройстве улиткового питателя не отличаются неизменностью уровней.

Длина волны, период колебаний и время ее частичного разрушения зависят от уровня пульпы в приемном устройстве. На входе пескового потока и возле стенки, где отражается создана волна, уровень пульпы за цикл не отвечает его среднему значению. Соответствие среднего значения уровня пульпы осредненному по волновым характеристикам значению может быть достигнуто лишь в центральной части приемного устройства улиткового питателя. На состояние пульпы в приемном устройстве улиткового питателя может значительно влиять и песковый поток.

При любых значениях уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя результирующие колебания будут представлены низкочастотной составляющей, на которую наложены более высокочастотные колебания. При сравнительно небольших значениях уровня пульпы ее поверхность в приемном устройстве будет изменяться с самой высокой частотой относительно практически горизонтального среднего значения. При средних значениях уровня пульпы высокочастотная составляющая будет иметь период около 0,45 с с увеличенной амплитудой. Она будет изменяться на фоне низкочастотного колебания с периодом 10 с и определенным значением амплитуды. В случае максимальных значений уровня пульпы песковый поток будет иметь период 12,5 с и наибольшее значение амплитуды. Колебания от улиткового питателя будут иметь наибольшую амплитуду при периоде около 0,6 с. Итак, в приемном устройстве улиткового питателя основными есть колебания уровня пульпы, возбуждаемые захватными элементами. Они осуществляются на фоне среднего значения уровня пульпы или с его плавным увеличением и спадами, которые зависят от амплитуды и периода колебаний результирующего пескового потока.

Выполненные теоретические исследования позволяют сделать представление о движении пульпы в приемном устройстве, однако окончательные выводы сделать невозможно из-за отсутствия строгого математического описания процесса. Ввиду этого дополнительно проводились экспериментальные исследования. Такой эксперимент по ряду причин в промышленных условиях провести невозможно, поэтому его осуществляли на физической модели улиткового питателя.

Физическая модель улиткового питателя показана на рис. 2.

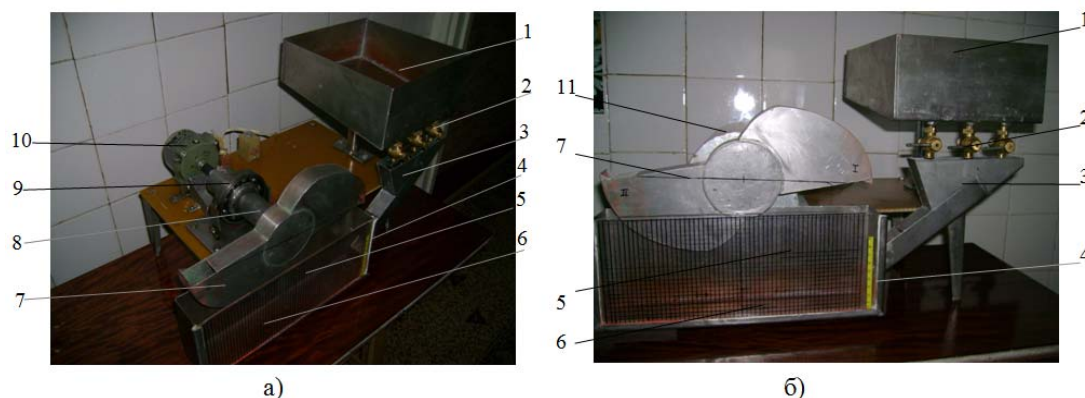


Рис. 2 Физическая модель улиткового питателя без кожуха (а) и в плане относительно улитки (б)
 1 – емкость с жидкостью; 2 – средства регулирования расхода жидкости; 3 – песковый желоб; 4 – приемное устройство; 5 – прозрачная стенка со шкалой; 6 – жидкость; 7 – улитка с двумя захватными элементами; 8 – ось вращения улитки; 9 – шариковый подшипник; 10 – электродвигатель; 11 –

Она является полной копией промышленного агрегата – имеет базовый размер $L=300$ мм, осуществляет 0,275 об/с, максимальное значение уровня жидкости – 25 мм (500 мм). Физическая модель отображает основные функциональные элементы улиткового питателя в соответствии с чертежами с уменьшением в 20 раз. Для обеспечения установившегося потока жидкости физическая модель дополнялась резервуаром с несколькими источниками неизменного расхода, которые возможно включать в различных сочетаниях. Жидкость, поданная питателем, направлялась в отдельный сборник. Передняя стенка приемного устройства выполнена с прозрачного материала. На ней нанесена миллиметровая шкала, которая позволяет точно фиксировать значения уровня. В качестве жидкой среды использована вода, которая подкрашивается

акварельной краской. Учитывая, что волновой процесс в улитковом питателе имеет достаточно сложный характер, исследования осуществлялись с помощью цифровой видеокамеры Panasonic NV-GS230. Она в каждое мгновение фиксировала значения уровня жидкости по всей ширине приемного устройства. Съемка волнового процесса осуществлялась непрерывно, а после информация переносилась в персональный компьютер с последующей обработкой материала. В процессе обработки можно было наблюдать волновой процесс в динамике, а также фиксировать в статике любое его мгновенное положение.

На первом этапе экспериментальных исследований установлено, что при работе улиткового питателя уровень жидкости в приемном устройстве интенсивно меняется. Наибольшие изменения уровня осуществляются возле стенки приемного устройства по ходу перемещения захватного элемента, а наименьшие – на входе потока. Осредненными свойствами владеет средняя зона улиткового питателя левее и правее от его оси, которая отвечала на физической модели ± 40 мм. Исследования показали, что более интенсивные изменения происходят в левой ее части, т.е. в направлении движения захватного элемента.

При выходе захватного элемента с жидкости она сильно возмущается. Возмущения тем большие, чем меньше среднее значение уровня. После возмущения при выходе захватного элемента с жидкой среды пульпа совершает движения в режиме свободных колебаний. При вхождении следующего захватного элемента в жидкость она еще находится в возмущенном состоянии. Возмущенное состояние проявляется больше при малых начальных средних уровнях жидкости. Интенсивность этих колебаний не одинакова по ширине приемного устройства.

В целом движения имеют случайный характер, однако они отличаются закономерностью, которая вызвана периодичностью взаимодействия захватного элемента с жидкостью. Эта закономерность обеспечивает стационарность случайному процессу.

Идентифицировать состояние жидкого материала возможно по одному, двум, системно спланированной сети показаний уровня, каждое из которых будет случайным процессом, владеющим стационарностью. Учитывая то, что интенсивность изменения уровня жидкости левее и правее от вертикали, которая проходит через ось вращения пустотелого вала, разна, проводились исследования случайного процесса изменения уровня в точках, которые отвечают середине приемного устройства улиткового питателя, левее и правее от нее на 40 мм. В процессе исследований установлено, что случайные процессы отличаются однородностью. Левее от середины приемного устройства случайные процессы отличаются наибольшей интенсивностью. Посередине улиткового питателя интенсивность изменения уровня несколько уменьшается. Правее от середины приемного устройства изменения уровня жидкости значительно меньше сравнительно с другими точками контроля. Кроме того, с данных исследований видно, что интенсивность случайного процесса зависит не только от точки контроля, а и от начального установившегося значения уровня пульпы. При уменьшении установившегося значения уровня жидкости интенсивность случайных процессов возрастает.

С результатов выполненных исследований вытекает, что параметры жидкости наиболее просто было бы контролировать правее от средней точки приемного устройства улиткового питателя. Здесь много значений случайного процесса отвечают математическому ожиданию – установившемуся среднему значению уровня жидкости.

Однако при меньших значениях уровня жидкости случайный процесс по характеру совпадает с другими.

Это означает, что при контроле правее средней точки приемного устройства улиткового питателя, выделенные преимущества касаются только больших значений уровня жидкости.

Учитывая это, при контроле параметров жидкости в приемном устройстве улиткового питателя целесообразно избрать его среднюю точку, где случайный процесс имеет среднюю интенсивность и наиболее полно характеризует состояние жидкой среды.

При двух захватных элементах полный цикл изменения состояния жидкости осуществляется за поворот.

Поэтому рассматривались реализации случайного процесса в пределах времени, отвечающему половине оборота улиткового питателя.

Такой отрезок времени составлял в экспериментах $0 \dots 1,56$ с.

Реализации случайных процессов изменения уровня пульпы в середине приемного устройства длительностью 1,56 с при принятых установившихся значениях показателя приведены на рис.3.

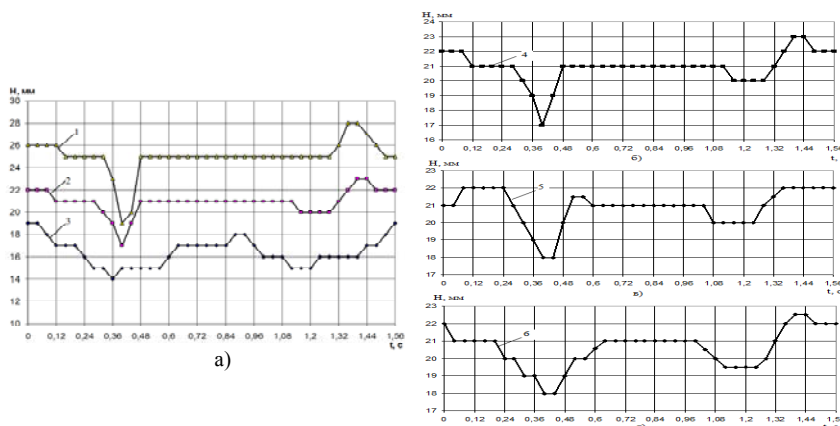


Рис.3 Реализации случайных процессов изменения уровня жидкости в приемном устройстве по оси вращения улиткового питателя за половину

длительности этих участков сокращаются. Если установившиеся значения уровня 17 мм и меньше, такие участки становятся более короткими, составляя 0,04...0,2 с. Участки неизменного значения уровня жидкости (рис.3, б-г) не являются строго фиксированными по длине реализации, особенно это актуально для небольших уровней пульпы.

Выводы и направления дальнейших исследований. Изменения уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя является стационарным случайным процессом, который отличается интенсивностью в различных точках по ширине технологического агрегата.

Интенсивность случайного процесса возрастает при снижении установившегося уровня пульпы.

Параметры технологического процесса наиболее целесообразно контролировать в средней точке по ширине приемного устройства.

Полную информацию об изменении параметров жидкости в приемном устройстве несет реализация, которая отвечает половине оборота улиткового питателя. Случайный процесс имеет участки неизменных значений уровня пульпы, которые пригодны для идентификации соотношения твердое/жидкое.

Длительности таких участков сокращаются с уменьшением установившегося значения уровня пульпы. Кроме того, участки неизменных значений уровня не являются строго фиксированными по длине реализации, что необходимо учитывать при идентификации разжижения пульпы.

Проведенные исследования открывают перспективу обоснования способа поиска точки с неизменным значением уровня пульпы на реализации случайного процесса и выбора типа преобразователей, а также разработки средств идентификации технологических параметров непосредственно в приемном устройстве улиткового питателя.

Список литературы

1. А.с. 388790 СССР, МКИ В 03 б 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / **Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, В.И. Новохатько, Н.И. Кучма, Т.И. Гуленко** (СССР). – 1420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.
2. Декларационный пат. 7741 Украина, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / **Кондратець В.О., Мацуй А.М.**; заявник та патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т. - №20041007979; заявл. 01.10.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл.№7.
3. **Триккер Р.** Бор, прибой, волнения и корабельные волны / **Триккер Р.**; пер. с англ. Г.Е. Левитиной; под ред. К.Д. Тиرون.- Л.: Гидрометеорологическое изд., 1969.- 287 с.

С реализаций случайных процессов (рис.3, а) видно, что интенсивность изменения уровня пульпы зависит от установившихся его значений.

При наибольшем значении уровня жидкости (зависимость 1) значительные участки процесса соответствуют установившемуся значению.

При уменьшении уровня (кривые 2 и 3)