



УДК 658.011.56

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ РАЗЖИЖЕНИЯ ПУЛЬПЫ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ, ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕЙ ПЕСКИ ДВУХСПИРАЛЬНОГО КЛАССИФИКАТОРА**© В.А. Кондратец<sup>1</sup>

Кировоградский национальный технический университет,  
25006, Украина, г. Кировоград, пр. Университетский, 8.

Рассматривается система идентификации разжижения пульпы в шаровой мельнице, измельчающей пески двухспирального классификатора и построенной на базе измерения уровня и избыточного давления пульпы в донной части улиткового питателя общим гидростатическим преобразователем. Относительная погрешность идентификации составляет 2,71%. Автоматическая система идентификации разжижения пульпы может быть реализована на стандартных средствах микропроцессорной техники. Ее использование позволяет минимизировать расход электрической энергии, футеровки, шаров и увеличить производительность процесса измельчения.

Ил. 5. Библиогр. 5 назв.

*Ключевые слова:* твердое/жидкое; алгоритм; уровень; избыточное давление пульпы.

**AUTOMATIC SYSTEM FOR PULP DILUTION IDENTIFICATION IN A BALL MILL GRINDING SANDS OF A DOUBLE-SPIRAL CLASSIFIER**

V.A. Kondratets

Kirovograd National Technical University,  
8 Universitetsky pr., Kirovograd, 25006, Ukraine.

The article deals with the system of pulp dilution identification in a ball mill that grinds sands of a double-spiral classifier. The system is based on measuring the level and pulp excess pressure in the bottom part of a single-spiral feeder by a hydrostatic converter. Percentage identification error is 2.71%. The automatic system of pulp dilution identification can be implemented by standard tools of microprocessor equipment. Its use will minimize the consumption of electric power, lining, balls and will increase grinding output.

5 figures. 5 sources.

*Key words:* solid / liquid; algorithm; level; pulp excess pressure.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Обогащение бедных железных руд в современных условиях становится основным средством обеспечения сырьем черной металлургии. Наиболее затратным в этих технологических процессах является измельчение исходных руд перед обогащением. На него расходуется порядка 50% энергетических затрат предприятия. Ввиду этого повышение эффективности измельчения руд в странах со значительной долей черной металлургии относят к приоритетным направлениям развития науки и техники. Особенно актуальной эта задача является при измельчении руд повышенной крепости, которые измельчают по схеме: стержневая мельница в открытом цикле, питающая механический двухспиральный классификатор, и шаровая мельница, работающая с ним в замкнутом цикле. В этой технологической схеме шаровая мельница несет основную нагрузку. В то же время такой важнейший технологический параметр, как разжижение пульпы в шаровой мельнице не контролируется и не поддерживается на заданном в конкретных технологических условиях уровне, что ведет к значительному перерасходу электрической энергии, шаров, футеровки и недополучению полезного продукта.

**Анализ исследований и публикаций.** Существующие системы автоматического управления разжижением пульпы в замкнутых циклах измельчения не подходят к данной технологической схеме. Предложенное единственное средство стабилизации разжижения пульпы в такой шаровой мельнице [4] вследствие сложных технологических условий и определенного его несовершенства также невозможно эффективно использовать на практике. Одной из причин этого является возможная забивка устройства посторонними предметами – скрапом, щепками, фильтровальной тканью и т.д. Применение дополнительных мер по улавливанию посторонних предметов сильно усложняет устройство, делает его громоздким и материалоемким. Из-за отсутствия средств автоматического контроля данный параметр не поддерживается на необходимом уровне в конкретных технологических условиях, что приводит к перерасходу электрической энергии, шаров и футеровки, а также к потерям продуктивности. Все это значительно повышает себестоимость концентрата и снижает эффективность обогащения руд. В связи с этим тема данной работы является актуальной, а задача требует решения, поскольку открывает перспективы оптимизации условий работы шаров, передвижения пульпы вдоль барабана, расхода электроэнергии и, в конечном итоге, значительного повышения эффективности обогащения.

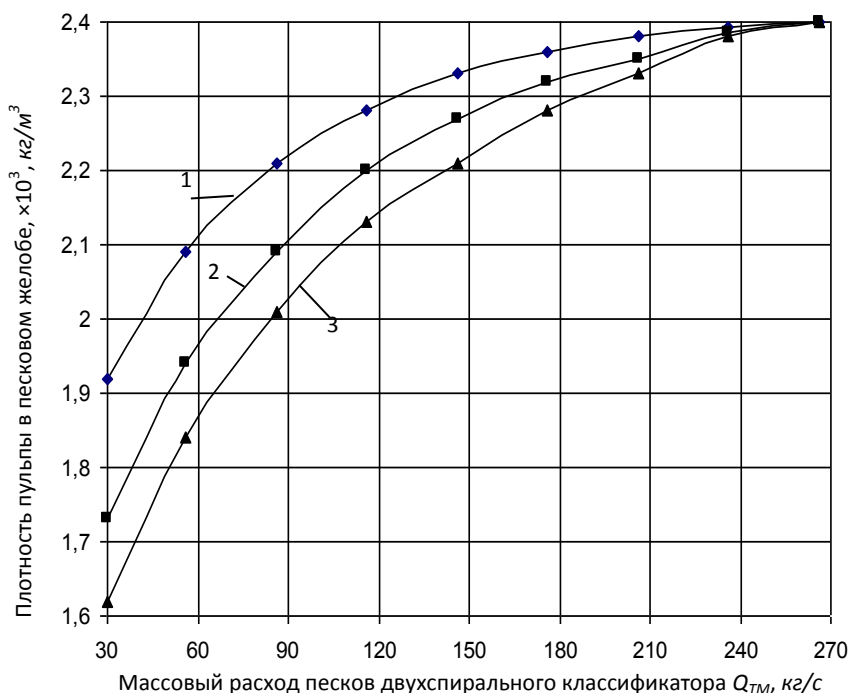
**Цель исследований.** Целью исследований является разработка автоматической системы идентификации с

<sup>1</sup>Кондратец Василий Александрович, кандидат технических наук, профессор кафедры автоматизации производственных процессов, тел.: (38097) 9219264, e-mail: matsuyan@mail.ru

Kondratets Vasily, Candidate of technical sciences, Professor of the Department of Automation of Industrial Processes, tel.: 380979219264, e-mail: matsuyan@mail.ru

необходимой точностью разжижения пульпы на входе шаровой мельницы, измельчающей пески двухспирального классификатора, на базе создаваемых алгоритмов, условий и приборного обеспечения.

**Изложение материала и результаты.** Особенностью рассматриваемой технологической схемы измельчения является то, что разгрузка стержневой мельницы проходит предварительную классификацию и образованный песковый продукт, транспортируемый первой спиралью, является исходным питанием шаровой мельницы, работающей в замкнутом цикле с классификатором по второй спирали. При этом в песковом желобе двухспирального классификатора образуется двойной песковый поток. Практика показывает, что в нем расход песков может находиться в пределах 30...240 кг/с, что значительно больше по сравнению со схемой измельчения, где шаровая мельница работает в замкнутом цикле с односпиральным классификатором. Ввиду этого проводилось математическое моделирование разжижения пульпы в песковом желобе классификатора при подаче в него неизменного расхода воды, изменении расхода песков и плотности твердого. Результаты математического моделирования приведены на рис.1. Плотность твердого при моделировании принимала возможные граничные и средние значения – 3100, 3300 и 3500 кг/м<sup>3</sup>. При наибольшем расходе песков (240 кг/с) при различных возможных плотностях твердого и гранично возможной плотности пульпы в песковом желобе (2400 кг/м<sup>3</sup>) определялись неизменные значения расходов воды в песковый желоб классификатора, которые соответственно составили 9,9; 17,9; 25,0 кг/с. Из рис. 1 следует, что с уменьшением расхода песков плотность пульпы сильно понижается. Наибольшее снижение плотности происходит при наибольшей плотности твердого. Наиболее благоприятная зависимость будет при наименьшей плотности твердого 3100 кг/м<sup>3</sup>, однако и при этом плотность пульпы в песковом желобе в широком диапазоне изменения расхода песков ниже необходимой плотности пульпы в шаровой мельнице. С увеличением плотности твердого показатели становятся еще более худшими. Поэтому подход неизменной подачи воды в песковый желоб классификатора в данном случае для управления процессом применить нельзя. Значительные диапазоны изменения высоты пескового потока и плотности пульпы в нем не позволяют измерять объемный расход материала в песковом желобе классификатора средствами, предложенными для замкнутого цикла измельчения. Ввиду этого разработанными для замкнутых циклов измельчения алгоритмическими и приборными средствами решить задачу идентификации разжижения пульпы в шаровой мельнице, измельчающей пески двухспирального классификатора, невозможно. Необходимо разрабатывать новый подход.



**Рис. 1. Зависимость плотности песков в песковом желобе двухспирального классификатора от их расхода при неизменной подаче воды и различных плотностях твердого: 1 – 3100, 2 – 3300, 3 – 3500 кг/м<sup>3</sup>**

В данном цикле измельчения шаровая мельница загружается с помощью улиткового питателя. При работе улиткового питателя пульпа аккумулируется в его приемном устройстве, где в зависимости от ее расхода устанавливается определенный уровень смеси твердого и жидкого. Для приемного устройства улиткового питателя возможно записать зависимость [5]:



$$K_{m/ж} = \frac{\delta_m \cdot (P_u - \delta_g g H_c)}{\delta_g \cdot (\delta_m g H_c - P_u)}, \quad (1)$$

где  $K_{т/ж}$  – соотношение масс твердого к жидкому в пульпе;  $\delta_m, \delta_g$  – соответственно плотность твердого и воды;  $P_u$  – избыточное давление пульпы в донной части;  $H_c$  – уровень пульпы (жидкой среды) в приемном устройстве;  $g$  – ускорение земного тяготения.

Полученная зависимость позволяет реализовать подход идентификации соотношения твердое/жидкое в приемном устройстве улиткового питателя. Для идентификации соотношения твердое/жидкое необходимо измерить уровень пульпы  $H_c$  и избыточное давление  $P_u$  в донной части приемного устройства улиткового питателя. В зависимости (1) уровень пульпы  $H_c$  может изменяться от 0 до 0,5 м, а избыточное давление  $P_u = \delta_n g H_c$ , где  $\delta_n$  – плотность пульпы может изменяться в основном в пределах 2250...2450 кг/м<sup>3</sup>. Расчеты показали, что при принятых значениях параметров относительная чувствительность соотношения твердое/жидкое к изменению уровня и давления пульпы в приемном устройстве высокая, одинаковая и противоположная по знаку. Учитывая, что относительные чувствительности высоки, определять эти параметры при идентификации соотношения твердое/жидкое необходимо достаточно точно. В то же время в алгоритме (1) возможно использовать эффект одинаковых и различных по знаку чувствительностей соотношения твердое/жидкое к уровню пульпы и ее давлению в приемном устройстве улиткового питателя. Моделированием процесса установлено, что погрешность определения  $K_{т/ж}$  отсутствует и практически не зависит от погрешности определения  $H_c$  и  $P_u$ . Данное условие возможно реализовать, если уровень пульпы и давление, создаваемое ею, измерять одним преобразователем. Исследованиями также установлено, что изменения плотности твердого  $\delta_m$  не являются преградой в реализации предложенного алгоритма идентификации соотношения твердое/жидкое [1].

Под действием входящего пескового потока и захватных органов колебания уровня пульпы в приемном устройстве улиткового питателя осуществляются со значительной частотой – 1,7...3,3 Гц. Это требует быстродействующих средств определения как уровня, так и давления пульпы. Кроме того, эти средства должны осуществлять измерения указанных параметров в одной точке. Анализ показал, что для измерения и уровня, и давления пульпы при идентификации соотношения твердое/жидкое в приемном устройстве улиткового питателя лучше всего подходит манометрическая трубка с открытым нижним концом, т.е. открытый гидростатический преобразователь. Он реализует условие измерения уровня и давления среды в одной точке и в одно и то же мгновение времени. Однако, учитывая его недостатки, возникла необходимость в его усовершенствовании.

Прежде всего, была получена его математическая модель, которая имеет вид

$$P_n = \frac{[P_{ан} - \delta_n g (H_n - H_c)] + \sqrt{[\delta_n g (H_n - H_c) - P_{ан}]^2 + 4P_a H_n \delta_n g}}{2}, \quad (2)$$

где  $P_n$  – давление в гидростатическом преобразователе;  $P_{ан}$  – атмосферное давление воздуха в момент измерения;  $P_a$  – атмосферное давление воздуха в момент заполнения преобразователя пульпы;  $\delta_n$  – плотность пульпы;  $H_n$  – высота гидростатического преобразователя, принята равной 0,6 м.

Как видно из (2), давление в преобразователе  $P_n$  является функцией уровня измеряемой среды  $H_c$  и плотности пульпы  $\delta_n$ . Выходной сигнал преобразователя не зависит от площади его поперечного сечения, а сам он предусматривает определение полного давления  $P_{ан} + \delta_n g H_c$ . Избыточное давление для (1) можно определять как разность  $P_u = P_n - P_{ан}$ . Выполнив несложные преобразования и положив  $P_{ex} = P_{ан} + \delta_n g H_c$ , зависимость (2) возможно подать в виде

$$P_n = \frac{1}{2} \cdot \left[ P_{ex} - \delta_n g H_n + \sqrt{(P_{ex} - \delta_n g H_n)^2 + 4P_a H_n \delta_n g} \right], \quad (3)$$

где  $P_{ex}$  – давление измеряемой среды на входе преобразователя.

Анализ показал, что в соответствии с (2) и (3) зависимость избыточного давления преобразователя линейно зависит от уровня среды и ее полного давления при различных наименьших плотностях пульпы. Изменения плотности пульпы будут влиять на результаты измерений. Кроме того, на результаты измерений оказывают влияние и другие факторы. Исследование влияния возмущений на показания открытого снизу гидростатического преобразователя выполнено в работе [2]. Установлено, что при изменении температуры окружающей среды дополнительная погрешность измерения уровня может возрасти до 2%, объема воздуха в преобразователе – до 4%, атмосферного давления – до 17%, плотности пульпы – до 39%. Это не позволяет непосредственно использовать открытый гидростатический преобразователь для определения уровня и давления пульпы в приемном устройстве улиткового питателя без достижения полной или частичной инвариантности до их действия. В процессе теоретических исследований при  $H_n = 0$  установлено, что уровень пульпы возможно определять по зависимости



$$H_c = \frac{P_{nu1}}{P_{nu1} - P_{nu2}} \cdot \Delta H, \quad (4)$$

где  $P_{nu1}$ ,  $P_{nu2}$  – соответственно избыточное давление воздуха в основном и дополнительном, смещенном по вертикали относительно основного на  $\Delta H$ , гидростатическом преобразователе.

Определенное по (4) значение уровня пульпы не зависит от ее плотности и других факторов. Однако при  $H_n \neq 0$  будет вноситься погрешность. При  $H_n=0,6$  м,  $\Delta H=0,05$  м относительная погрешность измерения уровня пульпы при изменении ее плотности в рассматриваемых пределах не будет превышать 0,75...0,8%. Оба преобразователя должны иметь одинаковые конструктивные параметры, лишь их необходимо сместить по высоте на  $\Delta H=0,05$  м.

В процессе теоретических исследований получен алгоритм для определения избыточного давления пульпы в донной части приемного устройства улиткового питателя:

$$P_{nu} = \frac{P_{nu1} (P_{nu1} + P_{an})}{P_{nu1} + P_{an} - \frac{H_n}{\Delta H} (P_{nu1} - P_{nu2})}. \quad (5)$$

Алгоритм (5) имеет механизм компенсации влияния изменения атмосферного давления на результат определения избыточного давления пульпы. Зависимость (5) является линейной и обеспечивает высокую точность определения давления пульпы по показаниям основного и дополнительного преобразователей. Необходимую точность определения избыточного давления пульпы возможно еще гарантировать использованием высокоточных вторичных преобразователей давления газа в электрический сигнал.

Влияние других факторов на результат измерения уровня и давления пульпы гидростатическими преобразователями устраняется периодическим их выводом и возвратом в измеряемую среду.

Первичные гидростатические преобразователи, реализующие предложенные алгоритмы, конструктивно выполнены в виде системы, представленной на рис.2. На неподвижной основе установлены конечный выключатель нижнего положения преобразователей 4, ходовой винт 5, привод 6, блок автоматического управления приводом 8, конечный выключатель верхнего положения преобразователей 9. Основа с перечисленными элементами, закрытыми кожухом, монтируется в верхней части ниши приемного устройства улиткового питателя. Неподвижно вне улиткового питателя на амортизаторах монтируется блок вторичных преобразователей давления 7. Первичные гидростатические преобразователи 1 (основной) и 10 (дополнительный), шток преобразователей 2, импульсные трубки 3 выполнены с возможностью перемещения в вертикальной плоскости. Дополнительный первичный преобразователь 10 относительно основного 1 смещен вверх на величину  $\Delta H=0,05$  м. Оба они неподвижно зафиксированы на штоке 2. Внутренний диаметр и высота первичных гидростатических преобразователей 1 и 10 соответственно составляют 0,098 м и 0,6 м.

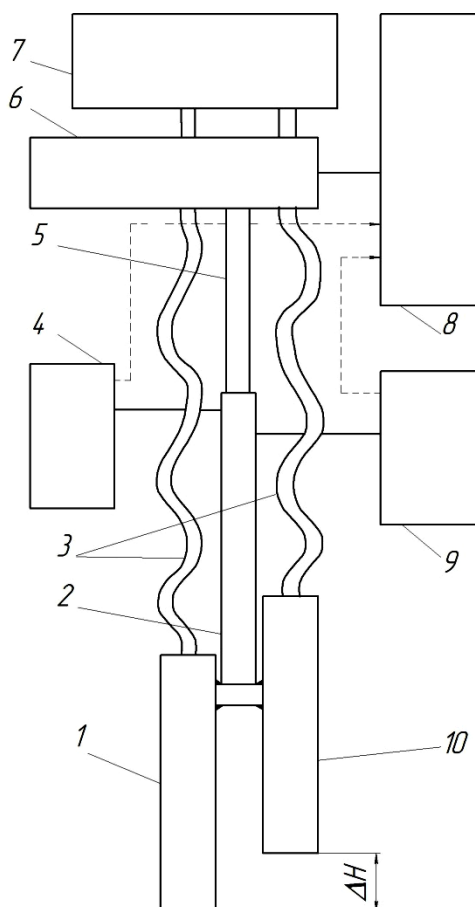
В системе управления первичными гидростатическими преобразователями (рис. 2) реализовано комбинированное управление в функции времени и функции пути. Управление приводом 6 в функции времени сводится к поднятию преобразователей 1 и 10 в верхнее положение над пульпой и соединению их с атмосферой в течение 60 с и опусканию их в крайнее нижнее положение, соответствующее рабочему, на 7200 с. После этого цикл повторяется. В качестве привода 6 служит исполнительный механизм с электродвигателем. Управление в функции пути осуществляется с помощью конечных выключателей, которые фиксируют граничные положения первичных гидростатических преобразователей 1 и 10. С учетом особенностей системы управления разработаны специальные конструкции конечных выключателей и управляющего устройства. Управляющее устройство содержит реле времени на большие выдержки ВК-10 и реле со сравнительно небольшими выдержками (60 с) типа ВЛ-68. Управляющее устройство запускается в работу нажатием на кнопку «Пуск» и далее работает в автоматическом режиме. Его работу можно остановить в какой-либо момент времени нажатием на кнопку «Стоп». Кнопки ручного управления предоставляют возможность работать без автоматического цикла и устанавливать первичные преобразователи в произвольном промежуточном положении.

Верхнее положение первичных гидростатических преобразователей 1 и 10 (рис. 2) не требует высокой точности установки, однако усилия при переключении желательны развивать небольшие. Поэтому конечный выключатель верхнего положения преобразователей выполнен на базе геркона, который залит во влагонепроницаемый модуль. На подвижном штоке преобразователей размещен постоянный магнит.

Требования к конечному выключателю, который соответствует нижнему (рабочему) положению первичных преобразователей, более жесткие, поскольку неточность их установки приводит к погрешности измерения параметров. Это требование повышенной надежности, невлияния агрессивного действия окружающей среды, а также сильной вибрации и ударов, редких профилактических осмотров, малой инерционности, большого срока службы, бесконтактной передачи сигнала. Как показал анализ, для этих условий наиболее подходит датчик положения, использующий эффект Холла. Преобразователь Холла, по которому протекает ток, установлен в воздушном промежутке разомкнутого магнитопровода из магнитомягкого материала, составленного из двух частей Г-образной формы. Магнитопровод вместе с преобразователем Холла залиты компаундом. Таким образом, со-

здана счетная головка, установленная в соответствующей точке, на неподвижной основе. На подвижном штоке преобразователей, появление определенной точки которого необходимо зафиксировать, установлен постоянный магнит.

При перемещении постоянного магнита на расстояние  $B$  от счетной головки в преобразователе Холла возникает напряжение. Кривая зависимости напряжения Холла при прохождении постоянного магнита имеет вид положительной и отрицательной полуволны с большой крутизной при прохождении через нулевое положение. Это позволяет фиксировать положение первичных гидростатических преобразователей с большой точностью –  $\pm 1,0$  мм и меньше.



**Рис. 2. Система управления первичными гидростатическими преобразователями давления пульпы в приемном устройстве улиткового питателя: 1 – основной преобразователь; 2 – шток преобразователей; 3 – импульсные трубки; 4 – конечный выключатель нижнего положения преобразователей; 5 – ходовой винт; 6 – привод; 7 – блок вторичных преобразователей давления; 8 – блок автоматического управления приводом; 9 – конечный выключатель верхнего положения преобразователей; 10 – дополнительный преобразователь**

В качестве вторичного использован преобразователь измерительный избыточного давления САФФИР-22М-ДИ2120 с диапазоном измерения  $0 \dots 10$  кПа. Он имеет границы допустимой основной приведенной погрешности  $\pm 0,5\%$  и предельное допустимое рабочее избыточное давление  $75$  кПа. Рабочей средой для него является воздух. Он преобразует давление воздуха в первичном устройстве в унифицированный сигнал постоянного тока  $0 \dots 5$  мА или  $0-20$  мА. Материал, который контактирует с измерительной средой, – титан ВТ9 и сплав 12Х18Н10Т.

Первичные гидростатические преобразователи соединяются со вторичными с помощью импульсных трубок, создавая акустический канал. На процесс передачи информации в канале влияют объем камеры давления вторичного преобразователя, длина импульсной трубки и ее радиус. В системе диаметр импульсной трубки был принят  $0,018$  м, а длина –  $3,0$  м. Первичные и вторичные преобразователи формируют точную и надежную информацию о избыточном давлении пульпы у донной части приемного устройства, однако результаты измерения могут быть искажены динамикой среды в улитковом питателе.

С учетом того что динамика пульпы в улитковом питателе теоретически точно не описывается, ее исследования проводились экспериментально. Так как по ряду причин такие исследования в промышленных условиях выполнить невозможно, они проводились на физической модели улиткового питателя [3], которая была полной копией промышленного агрегата, имела базовый размер  $300$  мм, значения уровня жидкости  $25$ ,  $21$ ,  $17$  мм. Передняя стенка улиткового питателя выполнена из прозрачного материала с миллиметровой шкалой. В качестве

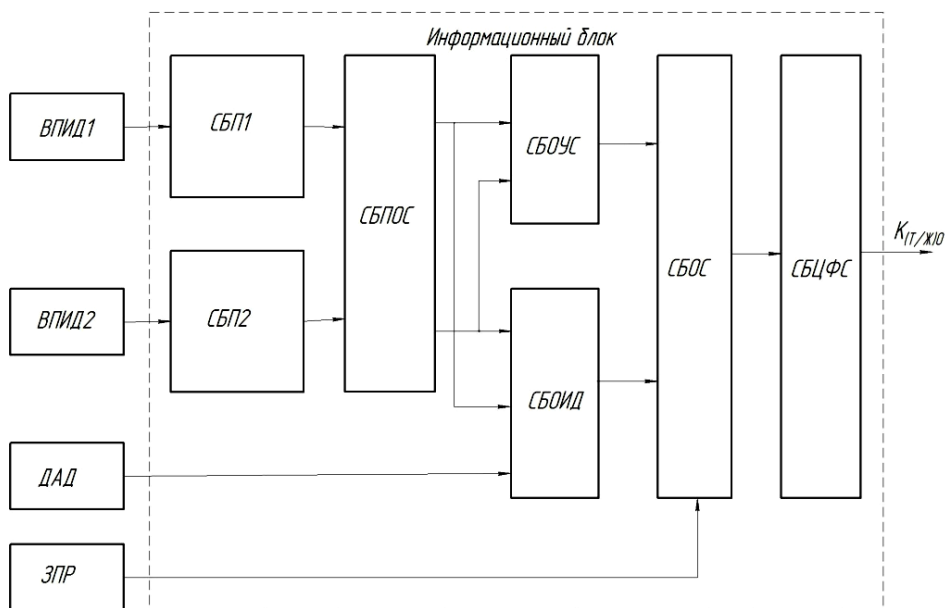


жидкого материала использована подкрашенная вода. Цифровая видеокамера Panasonic NV-GS230 в каждый момент времени фиксировала значения уровня жидкости по всей ширине приемного устройства. Съемка волнового процесса осуществлялась непрерывно, после чего информация переносилась в персональный компьютер с последующей ее обработкой. При обработке можно было наблюдать волновой процесс в динамике, а также фиксировать любое его мгновенное значение в статике. При двух захватных органах полный цикл изменения состояния жидкости осуществлялся за поворот, что отвечает временному промежутку 0...1,56 с. Реализации случайных процессов по ширине приемного устройства отличались между собой. Средними характеристиками обладал случайный процесс, снятый по центру ширины приемного устройства, который рассматривался как основной. Установлено, что интенсивность изменения случайных процессов зависит от установившихся значений уровня жидкости. Интенсивность тем выше, чем меньше среднее значение уровня жидкости. При неизменном начальном уровне жидкости случайные процессы приблизительно повторяются. Независимо от начального значения уровня жидкости все реализации случайных процессов имеют участки неизменного значения, длительность которых имеет тенденцию к увеличению с ростом начального (невозмущенного) значения параметра. Участки неизменного значения случайного процесса не совпадают со средним значением уровня жидкости. Случайные процессы изменения уровня пульпы в улитковом питателе могут служить основой при поиске наилучших условий идентификации соотношения твердое/жидкое в приемном устройстве. Теоретическими исследованиями установлено, что наилучшим является алгоритм цифровой фильтрации – поиск участков неизменного значения уровня пульпы в реализациях случайного процесса. При этом динамика процесса не будет вносить динамической погрешности в измерения технологического параметра.

Соотношение твердое/жидкое в пульпе улиткового питателя по измеренным избыточным давлениям в первичных гидростатических преобразователях определяется в информационном блоке (рис. 3). Он имеет четыре входа и один выход. Сигналы вторичных преобразователей давления ВПД1 и ВПД2, которые поступают из системы управления первичными гидростатическими преобразователями (рис. 2), являются случайными процессами, плотность руды, которая вводится задатчиком ЗПР, может принимать различные неизменные значения. Датчик атмосферного давления ДАД формирует сигнал, который может медленно изменяться. Работа информационного блока согласована с системой управления первичными гидростатическими преобразователями. Сигналы с ВПД1 и ВПД2 считываются только в нижнем положении первичных гидростатических преобразователей.

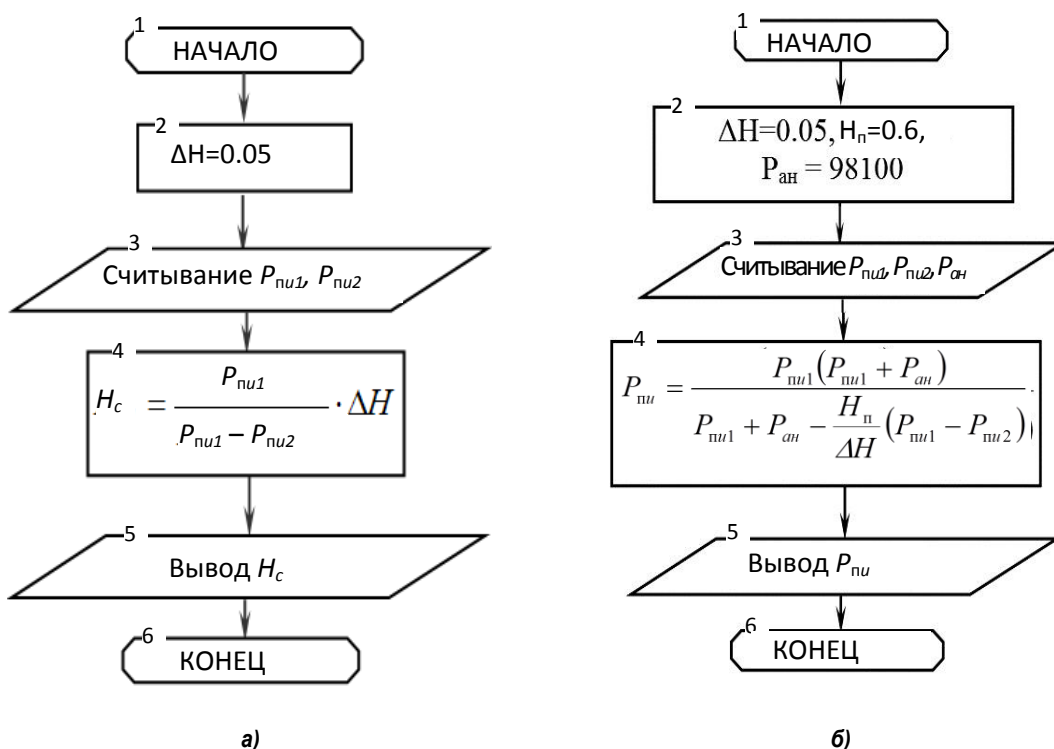
Реализация математических зависимостей для определения уровня (4) и давления (5) пульпы предусматривает нелинейность этих каналов. Ввиду того что в таких каналах условие стационарности не выполняется, описать их с определенным приближением как нелинейные нет возможности. Проблемным здесь является и обеспечение минимума средней квадратичной погрешности входного сигнала. Эти задачи отработаны в теории линейных систем автоматического регулирования, которые находятся под воздействием случайных процессов, и в информационной технике при нескольких случайных процессах на входе. В данном случае обеспечить минимум средней квадратичной ошибки выходных сигналов нет возможности как вследствие нелинейности, так и учитывая невозможность изменять структуру и параметры каналов, которые реализуют полученные аналитические зависимости определения выходных величин. С учетом этого, единым подходом обеспечения необходимой точности определения информации является влияние на характеристики случайных процессов – фильтрация сигналов перед обработкой или поиск участков случайных сигналов с неизменными показаниями давления, где гарантированно обеспечивается точное определение искомой величины. С учетом того что цифровые фильтры имеют ряд преимуществ и эффективно работают до сотен килогерц, для фильтрования сигналов были приняты цифровые фильтры, а в качестве алгоритма фильтрации – определение поточного среднего значения параметра на установленном временном отрезке, который соответствует половине оборота барабана мельницы, т.е. 1,56 с. Так как волновые процессы движения пульпы могут в определенной мере отличаться между собой вследствие различной формы козырьков захватных элементов, различных фаз состояния пульпы в момент вхождения захватного элемента, время интегрирования возможно взять и большим – 3,12, 4,68, 6,24 с и т.д. Цифровые фильтры переводят случайные процессы на их входах в неслучайные функции времени. Ввиду этого на выходе информационного блока будут формироваться неслучайные сигналы, которые могут ступенчато изменяться.

Информационный блок (рис. 3) имеет субблоки памяти СБП1 и СБП2, в которые поочередно заносится текущая информация с вторичных преобразователей ВПД1 и ВПД2 через 0,04 с за каждый цикл 1,56 с. Субблок предварительной обработки сигналов СБПОС на основании информации в СБП1 и СБП2 осуществляет поиск участков случайного процесса с неизменными уровнями сигналов ВПД1 и ВПД2, запоминает их и находит среднее значение параметра  $P_{ну1}$  основного первичного преобразователя. Для найденного значения  $P_{ну1}$  определяют соответствующее значение  $P_{ну2}$ . Определенные неизменные пары значений  $P_{ну1}$  и  $P_{ну2}$  совместно с текущим значением атмосферного давления (ДАД) используют для нахождения соответствующих неизменяемых значений уровня  $H_c$  и избыточного давления  $P_u$  субблоками определения уровня среды СБОУС и определения избыточного давления среды СБОИД. По полученным парам  $H_c$  и  $P_u$  с использованием сигнала задатчика плотности руды ЗПР в субблоке определения соотношения СБОС получают неизменяемое соотношение  $K_{т/ж}$ . Получаемые результаты в субблоке цифрового фильтрования сигналов соотношения СБЦФС формируют осредненное значение соотношения твердое/жидкое  $K_{(т/ж)о}$ .



**Рис. 3. Функциональная схема информационного блока системы идентификации соотношения твердое/жидкое в приемном устройстве улиткового питателя**

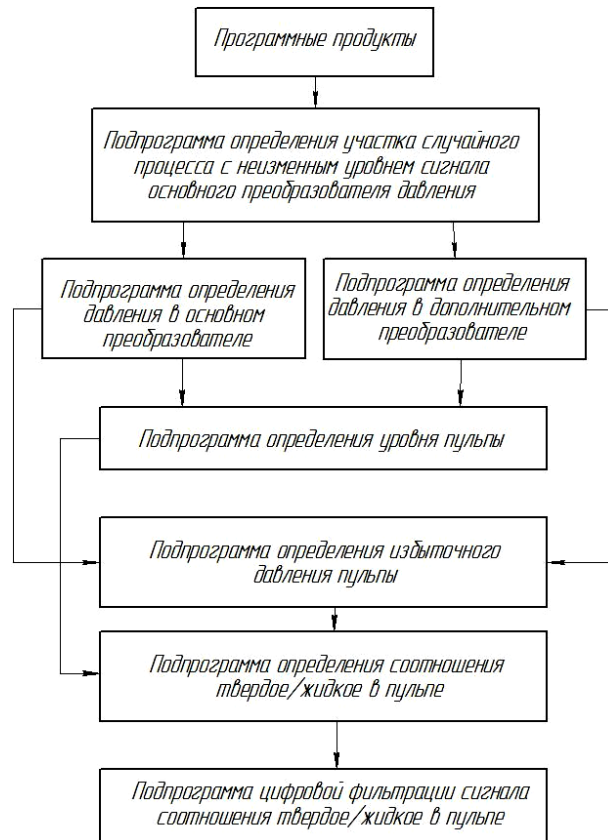
В качестве примера на рис. 4 приведены алгоритмические схемы определения уровня и избыточного давления пульпы в приемном устройстве улиткового питателя.



**Рис. 4. Алгоритмические схемы определения уровня (а) и избыточного давления (б) пульпы в приемном устройстве улиткового питателя**

Точность идентификации соотношения твердое/жидкое, кроме того, в значительной мере определяется разрядностью аналогово-цифрового преобразования. Анализ показал, что 12-разрядные АЦП не создают ощутимых погрешностей при измерении параметра. Точность получения технологического параметра также зависит от разрядности вычислительных средств. Информационный блок реализован на микроконтроллере MSP430F1611PM, который удовлетворяет предъявленным требованиям.

Реализация информационного блока потребовала специального программного обеспечения. Структура программного обеспечения информационного блока показана на рис. 5.



**Рис. 5. Программное обеспечение информационного блока системы идентификации соотношения твердое/жидкое в приемном устройстве улиткового питателя**

Исследования разработанной аппаратуры, проведенные в лабораторных условиях, подтвердили ее высокую точность. Относительная погрешность составила 2,71%, что соответствует требованиям к автоматизации этих технологических процессов. Разработанная автоматическая система идентификации разжижения пульпы в шаровой мельнице, измельчающей пески двухспирального классификатора, определяет данный параметр при следующих условиях: плотность пульпы – 1800...2500 кг/м<sup>3</sup>; плотность твердого – 3000...3500 кг/м<sup>3</sup>; изменение уровня пульпы – 0...0,5 м; изменение избыточного давления в первичных преобразователях – 0...10 кПа. Предложенную систему идентификации разжижения пульпы предполагается использовать в системе автоматического управления соотношением твердое/жидкое в шаровой мельнице, измельчающей пески двухспирального классификатора. Она может быть реализована на базе принятого микроконтроллера.

**Выводы.** Разжижение пульпы в шаровой мельнице, измельчающей пески двухспирального классификатора, является одним из наиболее важных показателей ее эффективной работы. Разработанный алгоритм, включающий плотность руды, уровень пульпы и ее избыточное давление в донной части приемного устройства улиткового питателя, а также вспомогательные алгоритмы и технические средства их реализации, программное обеспечение позволили достигнуть необходимой точности идентификации разжижения пульпы в шаровой мельнице при измельчении песков двухспирального классификатора. Это предоставляет возможность автоматически поддерживать с достаточной точностью наиболее выгодные режимы разжижения пульпы в мельнице, которая несет основную нагрузку в цикле измельчения. Следствием этого будет минимизация расхода электрической энергии, футеровки, шаров и увеличение производительности технологического агрегата.

Выпуск дополнительной продукции, экономия электрической энергии и материалов, снижение эксплуатационных затрат являются составляющими получения экономического эффекта от использования разработанной автоматической системы идентификации разжижения пульпы.

Статья поступила 15.12.2013 г.

#### Библиографический список

1. Кондратец В.О., Мацуй А.М. Идентифікація співвідношення руда/вода в процесі подрібнення пісків класифікатора // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2009. №3. С.8–12.
2. Кондратец В.О., Мацуй А.М. Теоретичне дослідження впливу збурень на показання відкритого низу гідростатичного перетворювача // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2012. №6. С.21–25.
3. Кондратец В.О., Мацуй А.М. Пошук оптимальних умов ідентифікації розрідження пульпи у завитковому живильнику інформаційними технологіями // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. Кривий Ріг: Вид-во ДВНЗ «Криворізький нац. ун-т», 2013. Вип. 34. С.66–71.



4. А.с. 388790 СССР, МКИ В03В 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).- №11420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. №29.

5. Пат. 7741 Україна, МКВ 7В03В 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.

УДК 004.02

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С МОДЕЛЬЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ И ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

© И.А. Кочеткова<sup>1</sup>, В.Г. Рубанов<sup>2</sup>

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

Приведены результаты экспериментальных исследований эффективности разработанной модели на основе геометрического метода распознавания образов и теории нечетких множеств. Исследования проводились на базе городской больницы №2 г. Белгорода. Приведен системный анализ проведенных экспериментов. Описана последовательность действий для каждого блока модели. По результатам проведенных экспериментов подтвердилась высокая эффективность предложенных методов.

Ил. 3. Табл. 4. Библиогр. 3 назв.

*Ключевые слова:* принятие решений; визуализация; системный анализ; эффективность; нечеткие множества; распознавание.

## SYSTEM ANALYSIS OF MODEL EXPERIMENTS USING GEOMETRIC PATTERN RECOGNITION METHOD AND FUZZY SETS THEORY

I.A. Kochetkova, V.G. Rubanov

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University, 46 Kostyukov St., Belgorod, 308012, Russia.

The article presents the experimental study results of the efficiency of the model developed on the basis of a geometric pattern recognition method and the theory of fuzzy sets. The experimental research was conducted on the basis of Belgorod city hospital no. 2. The article gives a systematic analysis of the conducted experiments, describes the sequence of actions for each model block under experimenting. The results of the conducted experiments prove the high efficiency of the proposed methods.

3 figures. 3 sources.

*Key words:* decision-making; visualization; system analysis; efficiency; fuzzy sets; identification.

Концепция математического моделирования состояния сердца в задачах принятия медицинских решений по результатам неинвазивного контроля его состояния базируется на том, что компьютерная диагностика призвана помочь врачу-кардиологу в анализе кардиографической информации. В данном случае речь идет о возможности визуализации состояния сердца. Очевидно, что решение задачи визуализации состояния сердца позволит исключить грубые ошибки в лечебной практике, повысит эффективность обработки кардиологической информации, а также сделает удобным восприятие диагноза и наглядное представление текущего состояния сердечно-сосудистой системы. Кроме того, может быть проведен расчёт коэффициента полезного действия и прогноз жизне-

обеспечения.

Важным концептуальным положением применения математического моделирования и визуализации состояния сердца является то, что открывается возможность проводить неинвазивную кардиодиагностику на качественно новом уровне, а именно, – осуществить «сближение» решений обратной и прямой задач электрокардиографии.

Одним из возможных подходов к решению задачи автоматизации процедуры распознавания состояния является предварительно построенный многомерный виртуальный образ состояния ( $A_N(t)$ ) и многомерные классы диагнозов  $B_i$ . Класс диагнозов составляют наборы признаков пациентов, имеющих одно для всех выделенное именем состояние. Возможным решени-

<sup>1</sup>Кочеткова Инесса Андреевна, старший преподаватель кафедры информационных технологий, тел.: 89205701945, e-mail: IneSuan@gmail.com

Kochetkova Inessa, Senior Lecturer of the Department of Information Technologies, tel.: 89205701945, e-mail: IneSuan@gmail.com

<sup>2</sup>Рубанов Василий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, директор Института информационных технологий и управляющих систем, тел.: (4722) 540229, e-mail: rubanov@intbel.ru

Rubanov Vasily, Doctor of technical sciences, Professor, Director of the Institute of Information Technologies and Control Systems, tel.: (4722) 540229, e-mail: rubanov@intbel.ru