

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НЕПРЕРЫВНОГО ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ

Г.М. ЧУДАКОВ, М.Г. ИВАНОВ, М.С. ФИСАЙ

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2*

В статье представлен литературный обзор с критическим анализом способов управления процессом непрерывного центрифугирования вязких неоднородных суспензий; разработаны параметры регулирования и способы управления процессом; разработан диафрагменный шибер для плавного изменения суспензии в центрифугу
Ключевые слова: тонкослойное центрифугирование, параметры регулирования, способы управления тонкослойного центрифугирования.

Известно применение центрифуг с инерционной выгрузкой осадка для разделения суспензий, например, в технологическом производстве сахара [7, 9]. Закономерны и обоснованы усилия разработчиков конструкций этих центрифуг при решении задач создания высоко производительного и полностью автоматизированного оборудования, способного обеспечивать получение качественного продукта с минимальными сырьевыми потерями и энергетическими затратами. Только при целенаправленном научно-техническом прогрессе возможна новаторское перевоплощение конструкций инерционных центрифуг и создание привлекательного оборудования.

В процессе центрифугирования суспензий качественные показатели получаемых продуктов при прочих равных условиях зависят от количества подаваемого на разделение исходного материала, то есть справедливо соблюдается один из четырех законов классической философии – закон перехода количественных изменений в качественные.

Немецкая фирма БМА разработала систему автоматической подачи утфеля в центрифугу, используя в качестве параметров управления изменение активной мощности приводного электродвигателя [7, 8]. Областью применения известного способа является стационарный технологический режим с постоянными параметрами исходного утфеля.

Если в процессе центрифугирования изменяются вязкость межкристального раствора и размеры кристаллов сахара, то соответственно каждый раз необходимо корректировать задание регулятора, чтобы сохранялось тождество

$$\Delta\varepsilon = \frac{\partial\varepsilon}{\partial Q}\Delta Q + \frac{\partial\varepsilon}{\partial\mu}\Delta\mu + \frac{\partial\varepsilon}{\partial d}\Delta d = \frac{\partial\varepsilon}{\partial N}\Delta N + \frac{\partial\varepsilon}{\partial\mu}\Delta\mu + \frac{\partial\varepsilon}{\partial d}\Delta d \equiv 0 \quad (1)$$

где $\Delta\varepsilon$ – изменения качества отцентрифугированного осадка, т.е. содержание жидкой фазы в осадке; Δd , $\Delta\mu$ – изменения среднего размера частиц осадка и вязкости жидкой фазы; ΔQ – массовые изменения количества подаваемой суспензии в центрифугу, т.е. производительности по суспензии; ΔN – изменения активной мощности приводного электродвигателя.

Такая система настройки и регулирования фактически стабилизирует массовый расход утфеля и не позволяет стабилизировать качество отцентрифугированных продуктов [3, 4, 6, 7].

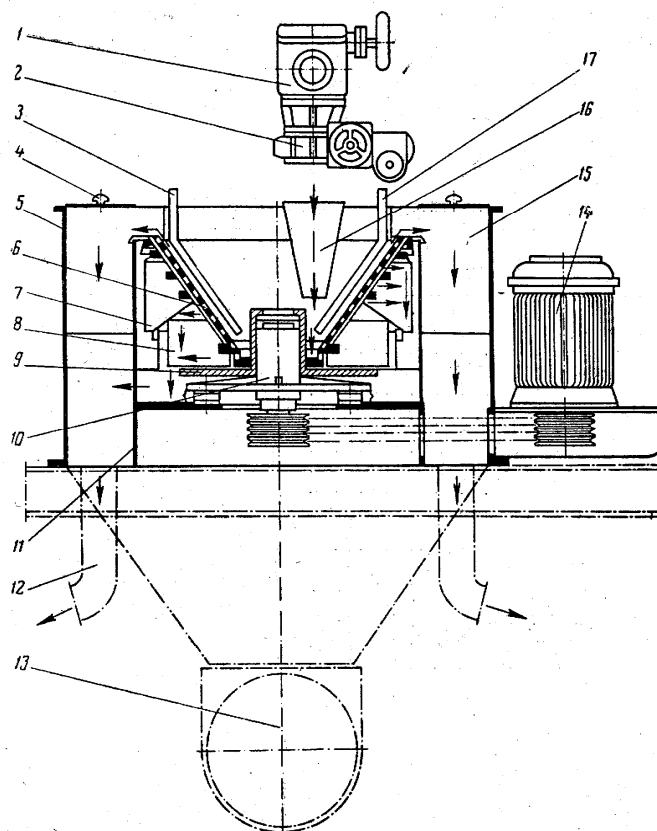


Рисунок 1 - Центрифуга непрерывного действия К-1000 фирмы БМА:

1 - комколовушка; 2 - шибер диафрагменный; 3 - трубопровод для подачи пара; 4 - люк смотровой; 5 - кожух наружный; 6 - ротор конический; 7, 8 - приемники

оттеков; 9 - диск стабилизации ротора; 10 - стойка; 11 - рама; 12 - трубы для отвода оттеков; 13 - шнек для осадка; 14- электродвигатель; 15- кольцевой приемник осадка; 16- воронка для подачи суспензии; 17- трубопровод для подачи горячей воды [1]

В Московском технологическом институте пищевой промышленности (МТИПП) [1] для центрифуг с конической формой ротора предложен и испытан аналогичный способ управления процессом непрерывного центрифугирования, использующий в качестве параметров управления изменение внешней окраски поверхности кристаллов сахара в процессе центрифугирования. Яркость цвета на границе между зоной интенсивного отделения межкристального отека и зоной сушки сравнивается цвета с заданным оптимальным значением. Если производительность центрифуги оказывается слишком большой, то зона интенсивного выделения отека сдвигается дальше от центра вращения ротора и окраска продуктов против светодиода темнеет, а система управления посылает сигнал на снижение производительности. Наоборот, если окраска станет более светлой, чем заданное регулятору значение, то система управления несколько увеличивают производительность центрифуги. Для реализации этого способа необходимо в рабочей зоне над фильтрующим ситом разместить источник направленного освещения и приемный светодиод, что, естественно, затруднит выполнение промывки и пропарки кристаллов в роторе.

Специалистами МТИПП разработан и внедрен для центрифуг с конической формой ротора аналогичный способ настройки и регулирования процесса центрифугирования, в котором в качестве параметров управления используется интенсивность ударных импульсов отводимой из ротора жидкой фазы. Светодиод заменен установленным в зоне отвода из ротора жидкой фазы датчиками с пластинами, отклоняющимися под действием силы удара частиц жидкой фазы [1, 2].

Такие способы не могут применяться для центрифуг с лопастной формой ротора, так как их ротор закрыт сверху непроницаемой для света крышкой. Таким образом, фактически нет сведений о наличии управляющих параметров,

по которым можно проводить настройку центрифуг непрерывного действия для получения качественного сахара.

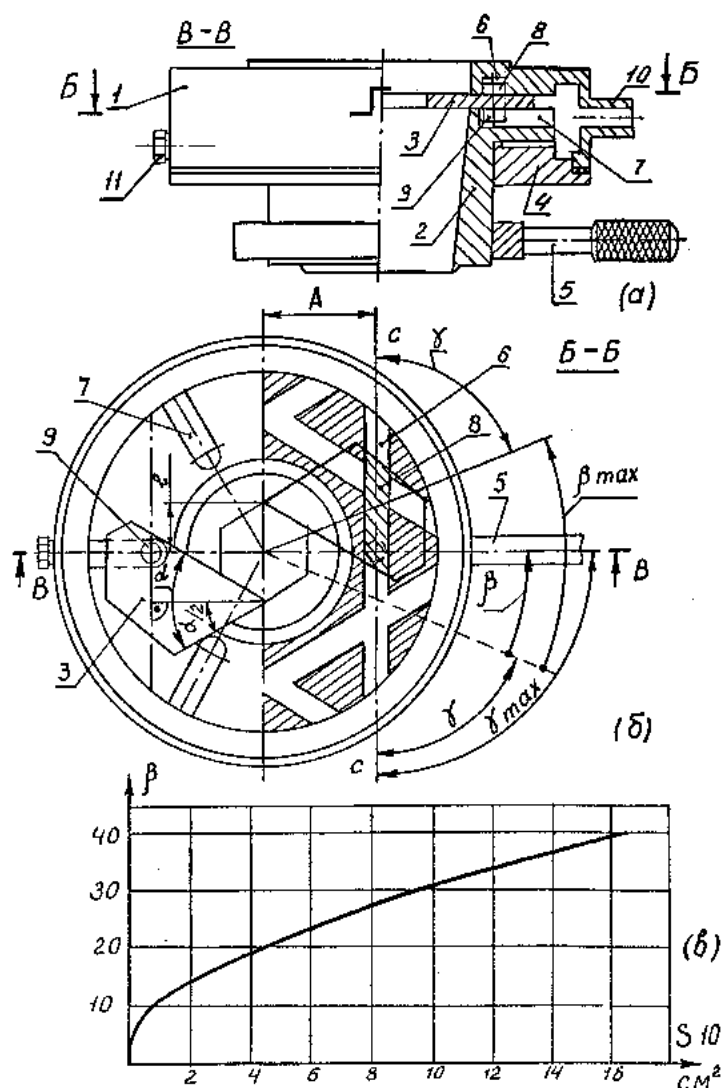


Рисунок 2 - Шибер диафрагменный (по авт.св.465223): а) и б) – виды и сечения конструкции; в)- график $S=f(\beta)$ зависимости площади S живого сечения центрального отверстия шибера от угла β поворота водила: 1.корпус; 2- водило; 3-лепесток; 4- крышка; 5- рычаг; 6- направляющие пазы; 7- прямолинейные пазы; 8- планки; 9- ролик; 10- патрубок для промывки шибера; 11- пробка для слива воды:

α – угол при вершине лепестка; β - угол поворота водила; γ – угол передачи давления

Известные конструкции [7] диафрагменных шиберов для регулирования подачи утфеля в центрифугу, применяющиеся в сахарной промышленности для подачи утфеля в центрифуги непрерывного действия типа «Конти» фирмы

«Гейн-Леманн» или К-750 фирмы БМА, имеют громоздкий механизм движения лепестков [7]. Это приводит к заклиниванию при попадании на него утфеля. Кроме того, пропускная способность известных конструкций диафрагменных шиберов, равная от 0 до 7 т/ч, не обеспечивает необходимую производительность лопастной центрифуги типа НВИ-Л-1000-03.

Диафрагменный шибер монтируется над центрифугой и служит для плавного регулирования подачи утфеля в ротор без изменения положения оси струи. Диафрагменный шибер, разработанный по авторскому свидетельству № 465223 для лопастной центрифуги опытного образца НВИ-Л-1000-03, отличается простотой конструкции, технологичностью изготовления и надежностью работы. Он состоит из цилиндрического корпуса 1, водила 2, лепестков 3, крышки 4 и рычага 5, который может быть подключен к дистанционной колонке при работе центрифуги в режиме автоматического управления. Для промывки и пропарки механизма движения лепестков шибера на корпусе 1 имеются патрубок 10 и пробка 11. Рычагом 5 поворачивают водило 2 с прямолинейными пазами 7, которые сопрягаются с роликами 9 и перемещают одновременно шесть лепестков 3 с планками 8 по направляющим 6.

В соответствии с указанными требованиями нами разработана на уровне изобретения (А.с.465223) оригинальная конструкция диафрагменного шибера [10].

Диаметр центрального проходного отверстия был увеличен с 90 до 160 мм, а масса шибера и его габаритные размеры при этом незначительно снижены, что делает его вполне конкурентоспособным.

Изменение размера центрального отверстия шибера от 0 до 160 мм осуществляется диафрагмой при взаимном перемещении лепестков 3. Когда вершины лепестков сходятся в центре, отверстие диафрагменного шибера полностью перекрывается.

Лепестки 3 в шибере совершают сложное плоскопараллельное движение: перемещение вдоль направляющего паза 6 (с – с) и поворот относительно оси

центрального отверстия совместно с водилом на угол β . Полная длина хода лепестков 3 при движении вдоль направляющей 6 равна радиусу центрального отверстия шибера. Чтобы сообщить лепесткам 3 такое перемещение, водило 2 должно повернуться на угол β_{\max} , равный $40 \div 50^\circ$. При этом площадь отверстия шибера изменится от 0 до 165 см^2 .

Трение в механизме движения лепестков зависит от точности изготовления планок 8, лепестков 3 и направляющих пазов 6, а также от величины угла передачи движения γ . Угол передачи движения от водила 2 на лепестки 3 через ролики 9 равен углу между направляющим пазом 6 и прямолинейным пазом 7. При проектировании необходимо стремиться отработать конструкцию так, чтобы максимальное значение угла передачи движения ($\gamma_{\max} = 90^\circ$) соответствовало среднему значению отверстия шибера. В этом случае минимальное значение будет равно 70° .

В известных конструкциях диафрагменных шиберов для обеспечения постоянства угла передачи движения лепесткам $\gamma = 90^\circ = \text{const}$ водило выполняется с криволинейными пазами, что значительно усложняет их изготовление. Однако при неточном изготовлении криволинейных пазов, а также при их износе или засорении не исключено явление «заклинивания» лепестков шибера. Этому же способствует то, что привод движения от водила к лепесткам в известных конструкциях расположен во внутренней полости корпуса шибера, в которую проникает утфель.

Предложенный диафрагменный шибер с прямолинейными пазами технологичнее в изготовлении, простой и надежный в работе. Прямолинейные пазы на водиле могут быть выполнены или по линиям, проходящим через центр отверстия шибера, или по касательной к некоторой окружности радиусом r .

Одним из условий надежности конструкции шибера являются геометрические предпосылки построения лепестков: угол при вершине лепестков определяется из соотношения

$$\alpha = \frac{360}{K}, \quad (2)$$

где K – количество лепестков в шибере.

В испытываемом диафрагменном шибере выполнено шесть лепестков с углом при вершине 60° .

Ось направляющего паза должна проходить перпендикулярно биссектрисе угла α . Выполняя это условие. Можно проектировать и изготавливать конструкции диафрагменных шиберов с различным числом лепестков ($K = 3, 4, 5, 6$ и т.д.). Для производства представляет интерес конструкции шиберов с шестью или четырьмя лепестками (при $K = 4, \alpha = 90^\circ$), как более простые и технологичные.

Исследованиями установлено, что стабилизация качества получаемого осадка достигается при определенном равновесном состоянии тепловых и массовых потоков и определяется остаточным содержанием жидкой фазы на поверхности частиц твердой фазы.

$$\varepsilon = f\left(\frac{G_{\text{ж}}}{G_{\text{с}}}; x_1\right) \geq 0,06 \div 0,18 . \quad (3)$$

Интенсивность выделения оттеков и скорость центробежного фильтрования изменяются по длине фильтрующего сита и зависят от многих факторов. Производительность центрифуги и качество получаемого осадка стабилизируется, если изменением тепловых и массовых потоков процесса поддерживать определенное отношение первого и второго оттеков или отношение масс отека и суспензии:

$$\varepsilon = f\left(\frac{d_{\text{ср}}^2}{\mu}\right) = f\left(\frac{G_1}{G_2}; \frac{G_2}{G_1}; \frac{G_{\text{ж}}}{G_{\text{с}}}; \frac{G_{\text{с}}}{G_{\text{ж}}}\right) . \quad (4)$$

Рассматривая фильтрующие центрифуги, как объект управления, найдены обоснованные параметры регулирования, определяющие в полной мере степень разделения суспензии и стабилизирующие качество отцентрифугированного осадка ($G_{\text{ж}}/G_{\text{с}}; G_{\text{с}}/G_{\text{ж}}$). Для фильтрующих центрифуг, работающих с двумя отводами оттеков, стабилизацию качества отцентрифугированного осадка можно осуществить, изменяя отношение масс первого и второго оттеков ($G_1/G_2, G_2/G_1$).

Построены кривые регрессии (рисунки и), устанавливающие зависимость между остаточным содержанием жидкой фазы в осадке и заданными отношениями: $\varepsilon = f(G_1 / G_2)$; $\varepsilon = f(G_{\text{ж}}/G_{\text{с}})$. В зависимости от содержания твердой фазы в суспензии и от условий центрифугирования для выбранных нами управляющих параметров практически определен диапазон допустимых изменений для получения качественного отцентрифугированного осадка, который оказался равным соответственно $2,5 \div 3,5$ и $0,35 \div 0,55$. Обоснованность выбора параметров управления процессом подтверждено практическими результатами эксплуатации конических и лопастных центрифуг с применением предложенных способов управления процессом.

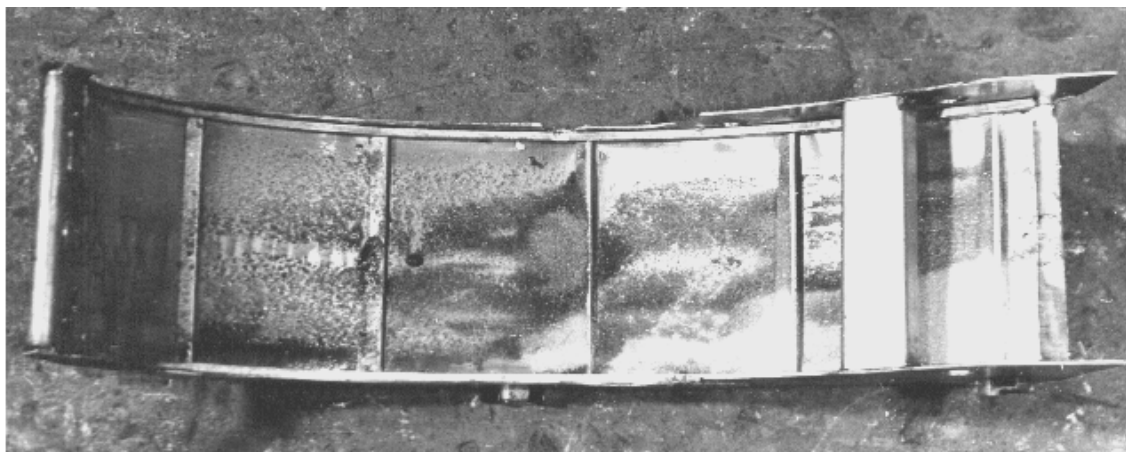


Рисунок 3 - Вид распределения продуктов центрифугирования по длине фильтрующего сита центрифуги ФВИл-106.1К-1: темная область – зона активного выделения оттека; светлая область – зона сухофуговки

В первой половине длины фильтрующего сита (рис. 3) выделяется и отводится из ротора G_1 около 70% от общей массы оттеков, а в конце фильтрующего сита - оставшиеся 28% G_2 . Интенсивность выделения оттеков и скорость центробежного фильтрования значительно изменяются по длине сита и зависят от многих факторов. Но картина последовательности распределения степени разделения продуктов по длине фильтрующего сита остается относительно постоянной при стабильном течении массовых и тепловых потоков. Выбранные нами отношения изменяются в сравнительно небольшом

диапазоне и соответствуют оптимальным условиям процесса эффективного разделения суспензий.

Таким образом, стабилизация качества разделения суспензий при изменении массовых и тепловых потоков сводится к определению равновесного состояния. На основе кинетических зависимостей массовых и тепловых потоков, а также движущих сил процесса непрерывного тонкослойного центрифугирования формируются определенные отношения масс исходной суспензии и получаемых оттеков. Хорошо настроенная центрифуга обеспечивает высокую производительность при удовлетворительном качестве получаемого осадка.

Автором предложены параметры регулирования, которые использованы как управляющие параметры для стабилизации степени разделения суспензий

$$\frac{G_{\text{ж}}}{G_{\text{с}}}; \frac{G_{\text{с}}}{G_{\text{ж}}}; \frac{G_1}{G_2}; \frac{G_2}{G_1}, \quad (5)$$

где $G_{\text{с}}$ – производительность фильтрующей центрифуги непрерывного действия, кг/с (или т/час);

G_1, G_2 – масса первого и второго оттеков, кг/с (т/час);

$G_{\text{ж}}$ – общая масса оттеков, кг/с (т/час):

$$G_{\text{ж}} = G_1 + G_2 \quad (6)$$

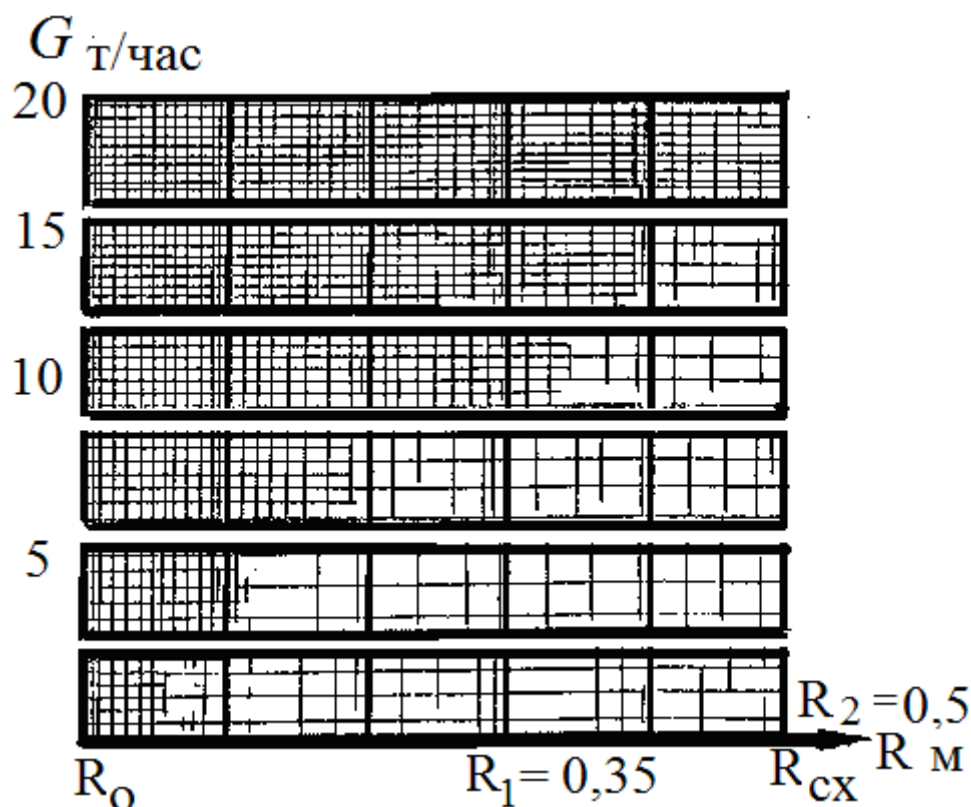


Рисунок 4 - Схема распределения зон тонкослойного центрифугирования при изменении производительности

Для фильтрующих центрифуг, работающих с двумя отводами оттеков, стабилизацию качества осадка можно осуществить, изменяя соотношение масс первого и второго оттеков G_1/G_2 . Принимаем эту величину за параметр регулирования. Правильность выбора этих параметров подтверждается физической картиной расположения зон процесса разделения на фильтрующем сите при наблюдении с помощью стробоскопического источника освещения. Так, если зона выделения оттека вытягивается вдоль фильтрующего сита, то масса второго оттека будет возрастать за счет первого оттека. А это приводит к снижению отношения G_1/G_2 и снижению качества осадка. Для стабилизации качества получаемого осадка необходимо поддерживать постоянным отношение G_1/G_2 путем изменения производительности и применения промывной жидкости.

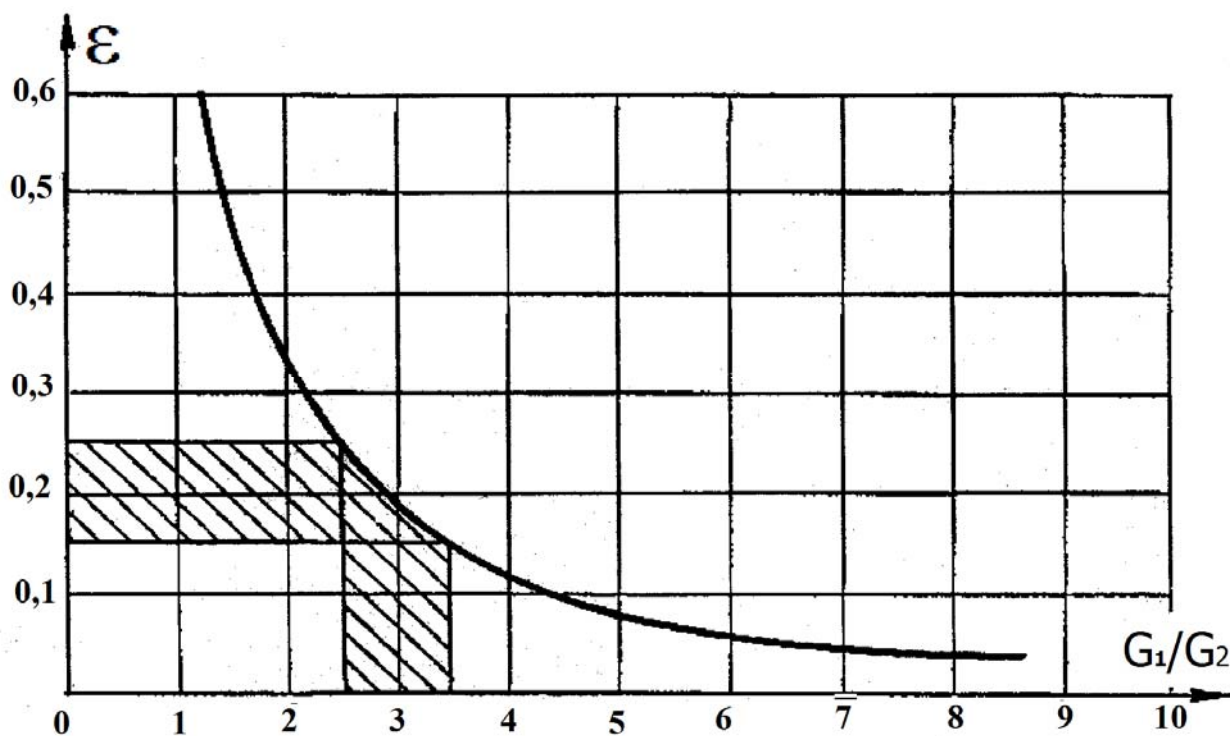


Рисунок 5 - Зависимость остаточного содержания жидкой фазы в осадке от распределения выделения оттеков по длине фильтрующего сита $\varepsilon = f(G_1/G_2)$

На рисунке (рис. 5) графически представлена зависимость $\varepsilon = f(G_1/G_2)$ качества отцентрифугированного осадка от величины заданного отношения

$$\varepsilon = f(G_1/G_2) . \tag{7}$$

Практически определены диапазоны допустимых изменений отношений, которые в зависимости от содержания твердой фазы в суспензии и от условий центрифугирования оказались равными

$$\frac{G_1}{G_2} = 2,5 \div 3,5; \frac{G_2}{G_1} = 0,28 \div 0,4; \frac{G_{ж}}{G_c} = 0,35 \div 0,55; \frac{G_c}{G_{ж}} = 1,8 \div 2,8. \tag{8}$$

Наблюдениями с помощью источника стробоскопического освещения установлено, что по длине фильтрующего сита выстраиваются зоны процесса тонкослойного центрифугирования суспензии, последовательно изменяется соотношение жидкой и твердой фаз. При поступлении суспензии в ротор происходит предварительный разгон массы в ускорительной чаше до окружной скорости, соответствующей начальному радиусу фильтрующего сита и минимальному значению центробежной силы. Находясь в силовом

центробежном поле, суспензия растекается по ширине сита тонким слоем и движется вдоль наклонного сита. Пленка жидкой фазы стекает с граней частиц твердой фазы на сито, образуя нижний слой из мелких кристаллов и оттека. Для обеспечения разделения фаз при скоротечном процессе центрифугирования сопротивление фильтрованию сита должно быть небольшим, чтобы не задерживать на ее поверхности пленку оттека. При подсыхании пленки жидкой фазы на поверхности частиц твердой фазы скорость выделения жидкой фазы снижается, а при подсыхании оттека на поверхности сита снижаются его дренажные свойства. Опыты показывают, что сопротивление сита значительно выше, чем слоя осадка.

По длине фильтрующего сита приращение массы выделенного оттека не остается постоянным. В начале процесс идет более интенсивно, чем в конце.

$$\frac{d\left(\frac{G_1}{G_2}\right)}{dR} \neq const .$$

Эффективное разделение и получение качественного осадка соответствует оптимальным равновесным условиям массовых потоков в процессе тонкослойного центрифугирования.

Отцентрифугированный осадок имеет более светлые тона, чем насыщенный жидкой фазой, поэтому визуально отслеживается изменение качества осадка. Если стабильность нарушается, то протяженность зоны активного выделения оттека изменяется. Повышение качества отцентрифугированного осадка происходит при невысокой вязкости жидкой фазы или крупных частицах твердой фазы. Наоборот, чрезмерное вытягивание зоны выделения межкристального раствора является причиной снижения качества осадка. Такое изменение распределения зон может произойти также при снижении температуры в процессе центрифугирования.

Теперь обратим внимание на распределение массы межкристального раствора по оттекам. Для случая, когда зона выделения межкристального раствора чрезмерно вытягивается, масса второго оттека возрастает, а это

приводит к снижению отношения G_1/G_2 и снижению качества осадка. В случае же уменьшения протяженности зоны активного выделения оттека величина отношения G_1/G_2 увеличивается и соответственно повышается качество осадка. Качество получаемого осадка стабилизируется, если поддерживать оптимальным отношение G_1/G_2 путем изменения производительности и применения пробеливающей жидкости. При этом важно учитывать качественный параметр суспензии d^2/μ и рабочую температуру процесса центрифугирования, т.е. максимально снизить вентиляцию ротора холодным и сухим воздухом.

Автоматическое управление центрифугами может осуществляться в соответствии с принципиальной схемой, изображенной на рисунках (6) Для измерения отношения масс первого и второго оттеков нами использовались мерные емкости I и II разных диаметров с одинаковыми сужающими устройствами на выходе (рис. 6).

Расходы жидкости G_1 и G_2 через сужающие устройства равны

$$G_1 = \gamma \cdot S_x \cdot \sqrt{H_1}; \quad G_2 = \gamma \cdot S_x \cdot \sqrt{H_2} \quad (9)$$

где S_x - площадь отверстия сужающего устройства;

γ - коэффициент расхода;

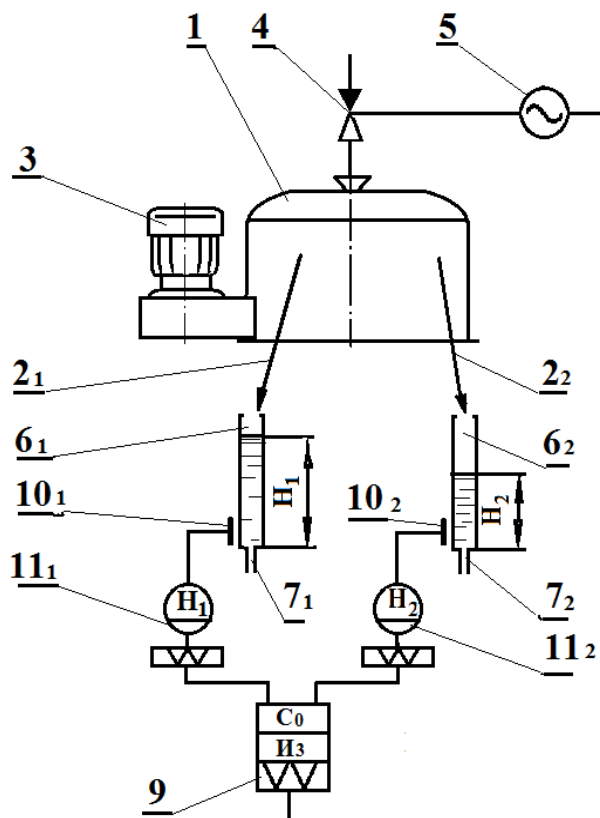


Рисунок 6 - Принципиальная схема управления процессом тонкослойного центрифугирования с двумя отводами оттеков : 1 – фильтрующая центрифуга непрерывного действия; 2 – патрубки оттеков; 3 – электропривод центрифуги; 4 – диафрагменный шибер; 5 – электродвигатель привода диафрагменного шибера; 6 – мерные емкости; 7 – устройства для сужения потоков; 9 – регулятор; 10 – щелевые расходомеры; 11 – дифференциальные манометры

H_1, H_2 - высота столба жидкости мерных емкостей.

Поскольку мерные емкости в конструктивном отношении одинаковы, то

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}} \quad (10)$$

Для стабилизации отношения G_1/G_2 необходимо изменить H_1 и H_2 , что осуществляется дифференциальными манометрам 11 с индукционной системой передачи показаний. Регулирование отношения осуществляется электронным регулятором 9 серии РПИД в комплексе с измерительным блоком типа И-Ш-62. Регулятор воздействует на исполнительный механизм 5 типа МЭО – 6,3

/120, изменяющий степень открытия диафрагменного шибера 4 до тех пор, пока отношение масс оттеков G_1/G_2 не станет равным заданному.

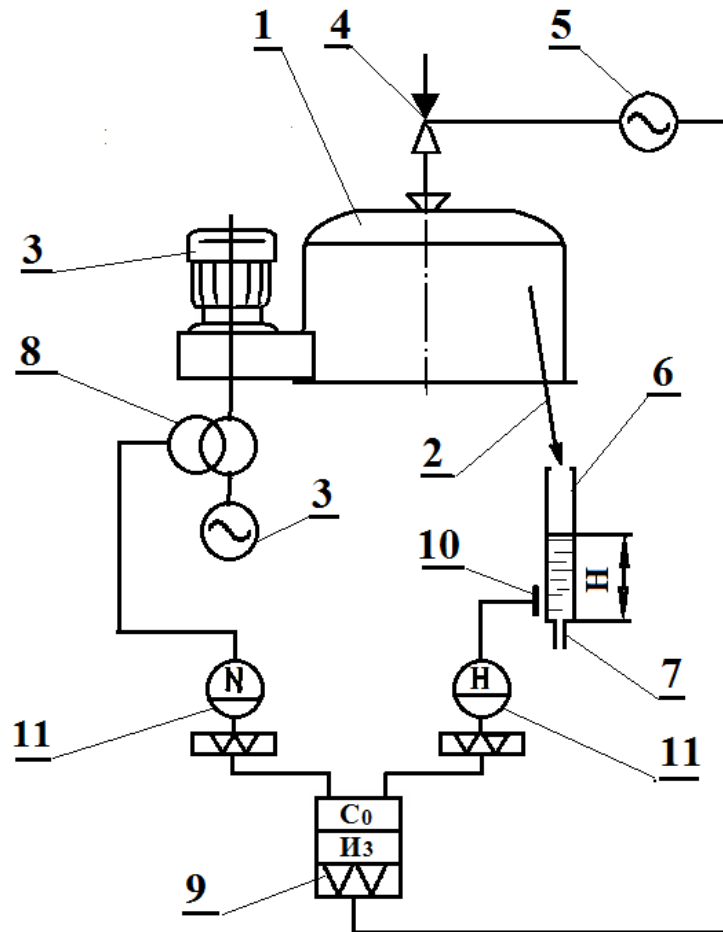


Рисунок 7 - Принципиальная схема автоматического управления процессом центрифугирования с одним отводом оттока : 1 – фильтрующая центрифуга; 2 – патрубок оттока; 3 – электропривод центрифуги; 4 – диафрагменный шибер; 5 – электродвигатель привода диафрагменного шибера; 6 – мерная емкость; 7 – устройство для сужения потока; 8 – трансформатор тока; 9 – регулятор; 10 – щелевой расходомер; 11 – дифференциальный манометр

Уравнения 10 устанавливают линейную связь между изменениями коэффициента, характеризующего качество ε отцентрифугируемого осадка и регулируемой величиной G_1/G_2 или $G_{\text{ж}}/G_{\text{с}}$.

На рисунке графически представлена зависимость качества осадка ε от величины отношения $G_{\text{ж}}/G_{\text{с}}$ массы выделенного оттока к массе загрузки

суспензии. Такой способ можно применять при работе с одним или двумя отводами оттеков, если учитывать, что $G_{\text{Ж}} = G_1 + G_2$.

Разработанная система автоматического управления фильтрующими центрифугами непрерывного действия предусматривает управление процессом по величине изменения параметров регулирования G_1 / G_2 и $G_{\text{Ж}}/G_{\text{С}}$.

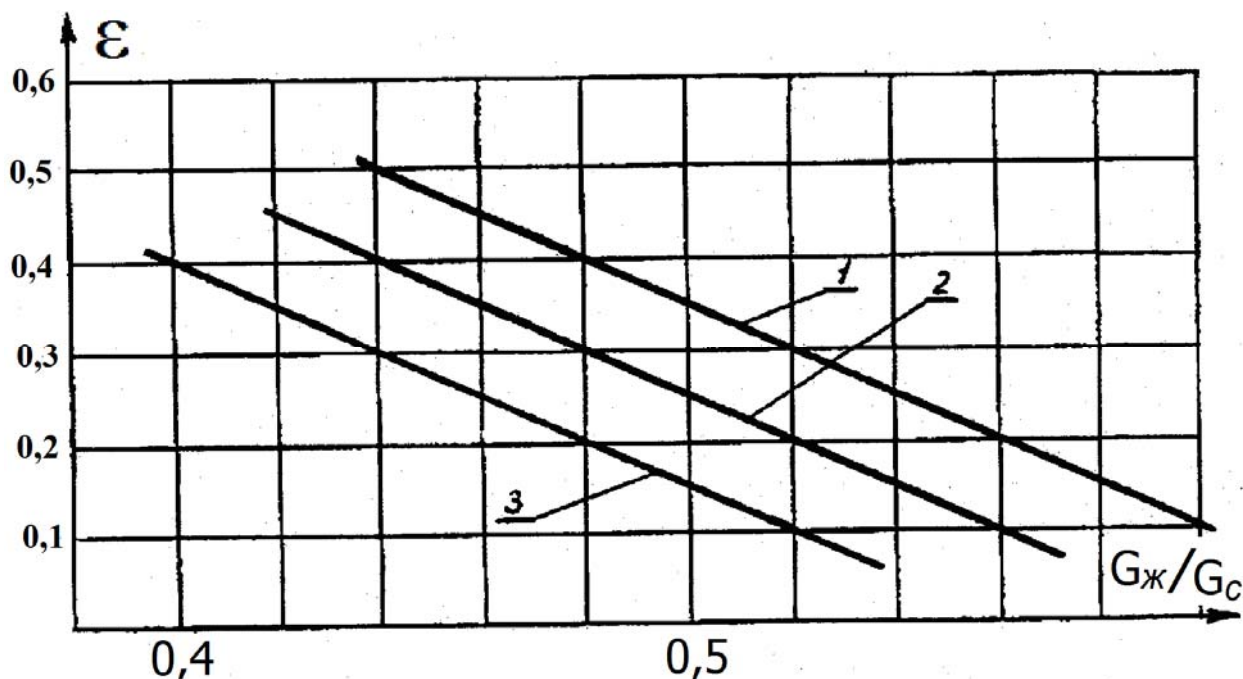


Рисунок 8 - Зависимость $\varepsilon = f(G_{\text{Ж}} / G_{\text{С}})$ качества осадка от величины отношения массы выделенного оттека к массовой загрузке суспензии с концентрациями: 1 – 0,36; 2 – 0,4; 3 – 0,44

Схемой автоматического управления предусмотрено измерение масс оттеков G_1 , G_2 , $G_{\text{Ж}}$ и массы поступающей на разделение суспензии $G_{\text{С}}$ в единицу времени и изменение тепломассовых потоков таким образом, чтобы заданная величина параметров регулирования G_1/G_2 и $G_{\text{Ж}}/G_{\text{С}}$ была постоянной в процессе центрифугирования (рис. 8).

Массу оттеков G_1 , G_2 , $G_{\text{Ж}}$ измеряют при помощи емкости переменного уровня, дифференциального манометра и щелевого расходомера. Количество подаваемой в центрифугу суспензии $G_{\text{С}}$ измеряют величиной потребной

мощности электропривода с помощью регулятора активной мощности и трансформатора тока.

От дифференциального манометра на регулятор активной мощности подаются импульсы тока, которые стабилизируют заданные отношения изменением подачи суспензии в центрифугу.

Регулятор воздействует на исполнительный механизм диафрагменного шиберов и через него регулирует поступление суспензии в ротор центрифуги в соответствии с заданным отношением параметров G_1 / G_2 или $G_{ж}/G_c$ регулирования, стабилизируя при этом качество и степень разделения суспензии. Найдены уравнения передаточных функций измерительной системы по отношению к изменению вязкости жидкой фазы и среднего размера частиц твердой фазы осадка.

Получены аналитические зависимости содержания твердой фазы в осадке от величины параметров регулирования, позволяющие выбирать требуемые значения G_1/G_2 или $G_{ж}/G_c$ и устанавливать задания регулятору. Аналитически показано, что правильным выбором измерительных блоков можно добиться улучшения динамических свойств системы автоматического управления, либо получать мгновенные значения G_1/G_2 , $G_{ж}/G_c$ без искажения.

Автором решена задача управления процессом с учетом эффективности разделения, рациональной производительности, наименьших сырьевых и энергетических затрат. Параметры регулирования и способы управления процессом позволяют стабилизировать качество отцентрифугированного осадка в требуемых пределах. Разработанный диафрагменный шибер позволяет осуществлять поточную подачу суспензии в центрифугу с плавным изменением его количества в выбранном диапазоне. Разработанные способы управления процессом центрифугирования суспензии по качественным технологическим параметрам (А.с.465223, 538742, 602229, 540916,) рекомендуются для применения в промышленности.

Выводы

На основании выполненных исследований непрерывного тонкослойного центрифугирования утфелей можно решить задачу управления процессом тонкослойного центрифугирования с учетом эффективности разделения, рациональной производительности, наименьших сырьевых и энергетических затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.Г., Егисерян Е.Э., Моисеев И.П., Товбин Л.И. Способ управления процессом разделения в непрерывно действующих центрифугах. Авторское свидетельство № 384552, Бюл. изобр. 1973, №25.

2. Андреев В.Г, Коломиец В.Ф. Исследование геометрических параметров фильтрующих роторов непрерывно действующих центрифуг. «Сахарная промышленность», 1973, № 3, с.25-28.

3. Даишев М.И. О методике установления температурного режима кристаллизации и фуговки утфеля последнего продукта. «Сахарная промышленность», 1966, № 6, с.23.

4. Знаменский Г.М. Теория центрифугирования утфелей. Труды КТИППа, вып. 10, М., 1950, с 23-37.

5. Ильин М.И., Чудаков Г.М., Трофимов В.А., Мельник О.Т., Балюра В.А. О работе Центрифуги НВИ-Л-1000-3 для сахара. «Сахарная промышленность» 1972. №6. С 11-15.

6. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. М.: Колос, 1998. с. 495.

7. Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги. М., Машиностроение 1987, 524 с.

8. Соколов В.И. Центрифугирование. М., Химия 1986, 407 с.

9. Чудаков Г.М., Иванов М.Г. Разработка фильтрующих центрифуг. // Науч. труды КубГТУ: электрон. сетевой политематич. журн. 2015. № 5. URL: <http://ntk.kubstu.ru//file/>

10. Чудаков Г.М., Зац Б.С., Евсеев А.В. Перспективные развития центрифугостроения. // Сб. науч. тр. Вып. 16/Сев. - Кав. отд. Рос. инж. акад. - Краснодар, 2003 г.-С. 148.

11. Чудаков Г.М., Ильин М.И., Дайшев М.И. Ав. св. СССР № 446316. Бюл. изобр. 1974, № 12. Центрифуга для разделения суспензий.

REFERENCES

1. Andreev V.G., Egiseryan E.E., Moiseev I.P., Tovbin L.I. Sposob upravleniya protsessom razdeleniya v nepreryvno deystvuyushchikh tsentrifugakh. Avtorskoe svidetelstvo № 384552, Byul. izob. 1973, №25.

2. Andreev V.G, Kolomiets V.F. Issledovanie geometricheskikh parametrov filtruyushchikh rotorov nepreryvno deystvuyushchikh tsentrifug. «Sakharnaya promyshlennost», 1973, № 3, s.25-28.

3. Daishev M.I. O metodike ustanovleniya temperaturnogo rezhima kristallizatsii i fugovki utfelya poslednego produkta. «Sakharnaya promyshlennost», 1966, № 6, s.23.

4. Znamenskiy G.M. Teoriya tsentrifugirovaniya utfeley. Trudy KTIPPa, vyp. 10, M., 1950, s 23-37.

5. Ilin M.I., Chudakov G.M., Trofimov V.A., Melnik O.T., Balyura V.A. O rabote Tsentrifugi NVI-L-1000-3 dlya sakhara. «Sakharnaya promyshlennost» 1972. №6. S 11-15.

6. Sapronov A.R. Tekhnologiya sakharnogo proizvodstva. M.: Kolos, 1998. s. 495.

7. Sokolov V.I. Sovremennye promyshlennye tsentrifugi. M., Mashinostroenie 1987, 524 s.

8. Sokolov V.I. Tsentrifugirovanie. M., Khimiya 1986, 407 s.

9. Chudakov G.M., Ivanov M.G. Razrabotka filtruyushchikh tsentrifug. // Nauch. trudy KubGTU: elektron. setevoy politematich. zhurn. 2015. № 5. URL: <http://ntk.kubstu.ru//file/>

10. Chudakov G.M., Zats B.S., Evseev A.V. Perspektivnye razvitiya tsentrifugostroeniya.// Sb. nauch. tr. Vyp. 16/Sev. - Kav. otd. Ros. inzh. akad. - Krasnodar, 2003 g.-S. 148.

11. Chudakov G.M., Ilin M.I., Daishev M.I. Av. sv. SSSR № 446316. Byul. izobr. 1974, № 12. Tsentrifuga dlya razdeleniya suspenziy.

CONTROL METHOD OF CONTINUOUS CENTRIFUGATION

G.M. CHUDAKOV, M.G. IVANOV, M.S. FISA

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072*

The article presents a literature review with a critical analysis of the process for process control of continuous centrifugation inhomogeneous viscous suspensions; designed control parameters and methods for process control; developed diaphragm damper for smooth changes in the suspension of centrifuge.

Key words: thin layer centrifugation, control parameters, ways to manage thin layer centrifugation.