

Совершенствование контроля центрифугирования утфеля I кристаллизации

А.А. СЛАВЯНСКИЙ, д-р техн. наук, профессор (e-mail: anatoliy4455@yandex.ru)

Е.В. СЕМЕНОВ, д-р техн. наук, профессор

В.А. ГРИБКОВА, канд. техн. наук, доцент

Н.В. НИКОЛАЕВА, канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)»

Введение

Утфель I кристаллизации с позиций гидродинамики гетерогенных жидкостных систем (их иногда называют дисперсными) представляет собой суспензию типа «межкристальный раствор + кристаллы сахарозы», т. е. состоит не менее чем из двух компонентов. Такая суспензия по своим геометрическим и физико-химическим параметрам имеет ряд особенностей, что обусловлено достаточно большим размером кристаллов (до 1 мм) и невысокой вязкостью межкристального раствора.

С позиций физико-химической кинетики кристаллизация является массообменным процессом, при котором осуществляется перенос вещества через поверхность раздела соответствующих фаз.

От выполнения технологического регламента при уваривании утфеля и его подготовки к разделению в решающей степени зависит эффективность проведения центрифугирования. Это позволяет говорить не только о выходе сахара и его качественных показателях, но и об экономике сахарного производства. По своей сути – это завершающие процессы производства сахара, которым свойственны индивидуальные особенности, что объясняется спецификой их проведения. Причём тесная их взаимосвязь обусловлена повышенными требованиями к гранулометрическому составу белого сахара.

Непосредственное разделение утфеля осуществляется в перфорированном цилиндрическом роторе центрифуги, оснащённом подкладочными и фильтрующими ситами, которые обеспечивают свободное прохождение межкристального раствора в зауженное пространство центрифуги и в то же время исключают проскок кристаллов. При быстром вращении ротора находящийся на ситовой поверхности слой утфеля прижимается к ней центробежной силой. Межкристальный раствор фильтруется сквозь образуемый при этом слой кристаллов сахара, проходит через отверстия подкладочных сит и стенок перфорированного ротора, попадает в пространство, образованное ротором и кожухом (зауженное пространство), сте-

кает в нижнюю его часть и далее через сегрегатор попадает в сборники первого оттока и второго, образуемого после промывания кристаллов сахара.

На полноту отделения межкристального раствора от кристаллов сахара при центрифугировании, а значит, и на остаточное его содержание в виде плёнки оказывает влияние ряд факторов. К ним относятся: размеры и степень однородности кристаллов разделяемого утфеля, определяющие их удельную поверхность, вязкость межкристального раствора, фактор разделения центрифуги. Известно, что плёнка межкристального раствора удерживается на поверхности кристаллов сахара за счёт межмолекулярных сил взаимодействия, а её количество может превышать 20 % к их общей массе. Её удаляют с поверхности кристаллов в процессе промывания.

С образующимся при этом вторым оттоком удаляется около 80 % меди, 75 % железа, 82 % натрия, 84 % кальция и 66 % калия к массе этих микроэлементов в сахаре до его промывания водой. Это свидетельствует о преимущественном расположении основной массы микроэлементов в плёнке как на поверхности кристаллов, так и в их верхнем слое. Около 1/3 калия и 1/5 других микроэлементов сосредоточено внутри по объёму кристаллов сахара. При промывании кристаллов сахара водой красящие вещества, как и значительная часть других нес сахаров, удаляется за счёт механического смыва, поэтому их количество непропорционально расходу промывной воды. Продолжительность отделения межкристального раствора в виде первого оттока, как и промывание кристаллов с отделением второго оттока, при разделении утфеля I кристаллизации в центрифугах устанавливают по результатам его пробного центрифугирования.

В случае ухудшения качества поступающего в производство сырья (сахарная свёкла, тростниковый сахар-сырец), как и при нарушениях технологий кристаллизации и центрифугирования, можно получить нестандартный по качеству сахар с одновременным возростанием его потерь в продуктивном отделении [1].

Для обеспечения высокого выхода белого сахара операцию по его промыванию в поле действия центробежных сил необходимо начинать точно во время завершения отделения первого оттока [2]. Наиболее эффективно эти условия достигаются при работе центрифуг по «гибкой» временной программе цикла центрифугирования. Ранее проведённые исследования в этом направлении позволили разработать устройство и на его основе усовершенствовать технологию центрифугирования утфеля I кристаллизации. Осуществление этой программы основано на фиксировании данным устройством момента отделения межкристалльного раствора от кристаллов сахара. Его определяют по величине ударного воздействия отделяемого межкристалльного раствора на чувствительный элемент, устанавливаемый в зауженном пространстве центрифуги [3].

Воздействие межкристалльного раствора на чувствительный элемент при помощи пневмосилового преобразователя трансформируется и передаётся в блок управления центрифуги. Установка данного устройства по сравнению с типовой технологией позволяет снизить расход промывной воды на 30,8 % и за счёт этого на 1,4–1,7 % повысить выход сахара с центрифуги при одновременном уменьшении энергозатрат в продуктовом отделении сахарного завода [4].

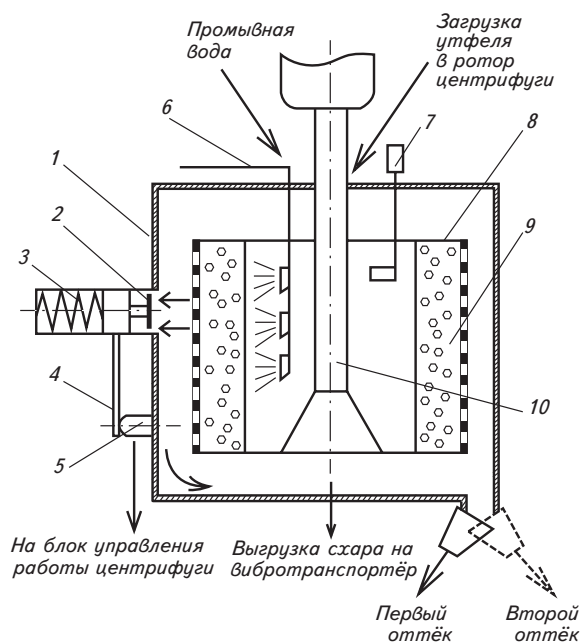


Рис. 1. Схема центрифуги, работающей по «гибкой» временной программе цикла центрифугирования:
1 – центрифуга; 2 – чувствительный элемент;
3 – пружина; 4 – рычаг; 5 – выключатель; 6 – устройство для промывания сахара; 7 – датчик загрузки утфеля;
8 – ротор; 9 – слой кристаллов сахара; 10 – вал ротора

Дальнейшая модернизация этого устройства позволила усовершенствовать и сам механизм его работы [5].

На рис. 1 показана схема усовершенствованного устройства для центрифугирования утфеля по «гибкой» временной программе. В соответствии с доработкой его конструкции отпадает необходимость преобразования ударной силы отделяемого межкристалльного раствора в стандартный выходной сигнал, как и применения дорогостоящих приборов и элементов автоматики.

При работе центрифуги с использованием данной конструкции устройства контроля отделяемый межкристалльный раствор воздействует на его чувствительный элемент-поршень 2, который под воздействием ударной силы перемещается, сжимая пружину 3. По завершении отделения межкристалльного оттока пружина возвращает чувствительный элемент 2 в исходное положение. При этом через рычаг 4 и выключатель 5 подаётся сигнал в блок управления центрифуги на промывание кристаллов сахара через форсунки 6 с образованием второго оттока. В процессе промывания кристаллов с их поверхности удаляется плёнка межкристалльного раствора и растворяется часть кристаллов сахара.

Проведённые в этом направлении исследования показали, что данная конструкция устройства контроля за моментом отделения межкристалльного раствора также имеет некоторые недостатки. В частности, было установлено, что в случае засахаривания утфеля поршень механизма может выйти из строя. Помимо этого, при центрифугировании утфелей, отличающихся гранулометрическим составом, вязкостью межкристалльного раствора и, соответственно, величиной ударной силы отделяемого межкристалльного раствора, такая конструкция не позволяет её регулировать, что не обеспечивает нужную чувствительность устройства и надёжность работы всей центрифуги и, как следствие, приводит к повышению потерь сахара в процессе его промывания. Поэтому дальнейшие эксперименты по усовершенствованию устройства контроля за отделяемым межкристалльным раствором были сориентированы на повышение чувствительности воспринимаемой ударной силы отделяемого оттока, точности и надёжности работы центрифуги. В итоге это позволило повысить выход и качество сахара при разделении утфеля I кристаллизации в центрифуге.

Экспериментальный раздел

Таким образом, основное направление данных исследований было нацелено на повышение эффективности процесса центрифугирования утфеля I кристаллизации, что также потребовало доработки мате-

матической модели его протекания. В её основу был положен принцип установления времени отделения основного объёма межкристалльного раствора из слоя кристаллов сахара.

Поставленную задачу решали в два этапа.

I этап. Предварительно в условиях фильтрования межкристалльного раствора через слой кристаллов сахарозы на ситовой основе ротора центрифуги периодического действия были уточнены и сформулированы условия кинетики этого процесса при его центробежном разделении.

Для решения задачи количественное моделирование процесса фильтрования межкристалльного раствора проводили в подвижной цилиндрической системе координат $r\theta z$, жёстко связанной с вращающимся ротором центрифуги, направляя ось O по оси его вращения (рис. 2).

В соответствии с работами Б.Н. Терешина [6] в созданной модели допускается мгновенное образование из утфеля, ограниченного свободной поверхностью $r = R_y$, на сите ротора осадка кристаллов сахара толщиной $L = R - R_c$, где R – радиус ротора центрифуги, R_c – радиус уплотнённого слоя осадка из кристаллов сахара, ω – угловая скорость ротора.

При формировании структуры осадка кристаллов сахара в основу были положены исследования Ю.Д. Кота [7], т. е. было сделано допущение, что осадок сахара на фильтрующей поверхности ротора представляет собой пористую среду, включающую ориентированные по r капилляры цилиндрической формы длиной L и радиусом ε , эквивалентные радиусу пор.

В работе [8] показано, что расход q жидкости (межкристалльного раствора) в капилляре выражается зависимостью

$$q = \frac{\pi r \varepsilon^4 \omega^2 (R^2 - R_y^2)}{16 \mu L}, \quad (1)$$

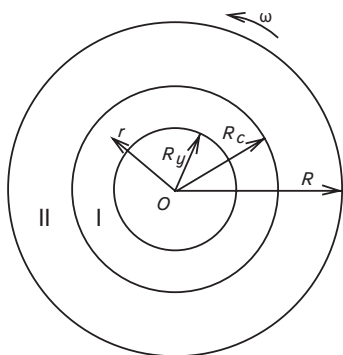


Рис. 2. Схема (в плане) рабочей полости ротора центрифуги (r – радиальное расстояние; I – напорная фильтрация; II – безнапорная фильтрация)

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; ε – радиус капилляра, м; $\omega \approx 0,1n$ (n – частота вращения ротора, мин⁻¹) – угловая скорость ротора, рад/с; R – радиус ротора, м; R_y – свободной поверхности утфеля, м; μ – динамическая вязкость утфеля, Па·с; L – длина капилляра, м.

Если d_k – диаметр кристалла, B – поверхностная пористость (или просветность) слоя ($B \leq 1$), численно равная отношению объёма пустот (пор) в слое к объёму слоя, то, следуя Ю.Д. Коту, размер капилляра и диаметр кристалла пропорциональны друг другу и поэтому, согласно определению пористости, имеют пропорцию

$$\pi \varepsilon^2 : B = \pi d_k^2 / 4 : (1 - B),$$

откуда получают

$$\varepsilon = 0,5 d_k [B / (1 - B)]^{1/2}. \quad (2)$$

Тогда, подставляя (2) в формулу (1), приходят к выражению расхода жидкости через капилляр

$$q = \frac{\pi \rho d_k^4 B^2 \omega^2 (R^2 - R_y^2)}{256 (1 - B)^2 \mu L}. \quad (3)$$

Если V_c – объём осадка, V_{cn} – объём пустот (общий объём капилляров), то, принимая во внимание, что объёмная и поверхностная пористости совпадают, имеют $V_{cn} = B V_c$, и тогда число капилляров в слое толщиной H равно

$$N = 4 V_{cn} / (\pi d_k^2) = 4 B V_c / (\pi d_k^2 L) = 4 B (R^2 - R_c^2) H / (d_k^2 L).$$

Кроме того, число N капилляров в слое толщиной H составляет

$$N = 4 B (R^2 - R_c^2) H / (d_k^2 L), \quad (4)$$

где R_c – радиус слоя осадка, м.

В таком случае в соответствии с формулами (3), (4) расход оттока, который разделяют через фильтрующую поверхность, равен

$$Q = Nq = \frac{\pi \rho d_k^2 B^3 \omega^2 (R^2 - R_y^2)}{64 (1 - B)^2 \mu L^2} \cdot (R^2 - R_c^2) H, \text{ м}^3/\text{с} [8], (5)$$

откуда согласно определению расхода имеют

$$u = Q / (1 \text{ м}^2), \text{ м/с}, \quad (6)$$

где u – скорость фильтрации, Q рассчитывается по (5).

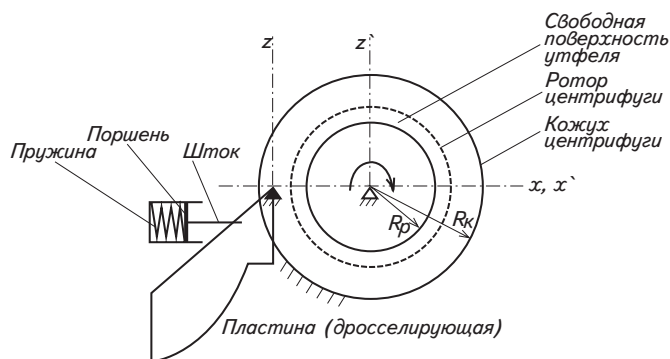


Рис. 3. Схема прибора управления усовершенствованной конструкции

Для значений параметров центрифуги $\rho = 1450 \text{ кг/м}^3$; $d_k = 0,1 \text{ мм}$; $B = 0,5$; $\omega = 100 \text{ рад/с}$; $R = 0,625 \text{ м}$; $R_y = 0,4 \text{ м}$; $R_c = 0,5 \text{ м}$; $H = 0,5 \text{ м}$; $\mu = 0,1 \text{ Па}\cdot\text{с}$ расчёт скорости фильтрации согласно (6) даёт $u = 0,25 \text{ м/с}$, что при значении окружной скорости жидкостного потока $v_{cp} = v = \omega R/2$ (в силу того, что на кожухе выполняется условие прилипания жидкости к его стенке) – среднее (расходное) значение скорости потока, u вычисляется по (6); причём u много меньше $\omega R/2$. Поэтому при завершении процесса промывания осадка кристаллического белого сахара первого продукта скорость фильтрации при расчёте воздействия жидкостного потока на шток прибора управления не учитывается.

В таком случае, если S – площадь дросселирующей воздушно-жидкостной поток пластины (рис. 3), то сила её сопротивления циркулирующему жидкостному потоку рассчитывается по формуле

$$F_c = 0,5k \cdot \rho \cdot (v^2 + u^2) \cdot S \approx 0,125k \cdot \rho \cdot \omega^2 R^2 \cdot S, H, (7)$$

где $k \approx 1$; ρ – плотность жидкостной системы (оттёк + попутный циркулирующий воздушный поток), кг/м^3 [8].

II этап. С позиций теоретической механики (ТМ) прибор управления усовершенствованной конструкции представляет собой пластину, которая для удобства в тексте и расчётах названа стержнем. На пластину (стержень) в динамических условиях действуют активные силы: F_{yn} со стороны штока пружины и F_c – сопротивление пластины жидкостному потоку. В дополнение к силовым факторам со стороны оси вращения на пластину действует сила F_o реакции связи. В терминах ТМ перечисленные силы и стержень в совокупности образуют механическую систему. При этом закреплённый в точке O на оси вращения пластины стержень имеет одну степень свободы (рис. 4).

Поскольку уравновешенность действующих на стержень сил развивается в динамических условиях

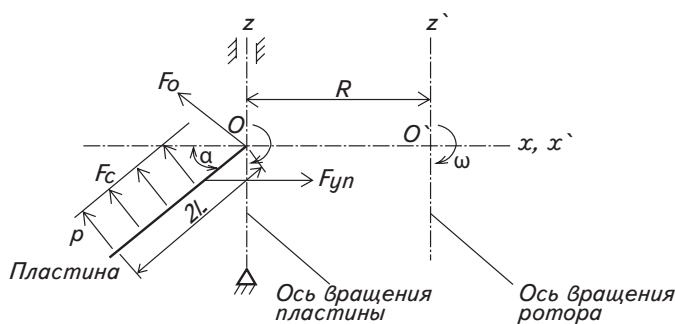


Рис. 4. Схема (в плане) к расчёту условия равновесия сил ω , приложенных к пластине устройства управления усовершенствованной конструкции (F_c – распределённая нагрузка на пластину со стороны циркулирующего жидкостного потока, F_{yn} – сила упругости пружины, F_o – реакция опоры, α – угол поворота пластины)

(имея в виду, что пластина поворачивается, а пружина деформируется, и в обоих случаях от приложенных к стержню нагрузок совершается работа), то при обосновании уравновешенности этих сил исходят из закона сохранения энергии (а не из закона сохранения импульса силы), одной из форм которого является принцип возможных (или виртуальных) перемещений (ПВП), сформулированный Лагранжем [9].

Физический смысл этого принципа заключается в том, что действующие на стержень силы будут уравновешенными тогда и только тогда, когда сумма работ этих сил на возможных, допустимыми связями, малых (δ – символ малых перемещений и малой работы) перемещениях, будет равна нулю, т. е. в общем случае выполняется равенство

$$\sum \delta A_k = 0,$$

где δA_k – виртуальная (бесконечно малая) работа k -й силы F_k на виртуальном перемещении по координате δx_k или виртуальная работа k -го момента силы M_{Ok} по углу $\delta \alpha_k$.

Причём очевидно, что некоторая часть этих виртуальных работ от сил или моментов сил будет положительной по знаку, а другая часть – иметь отрицательное значение таким образом, чтобы их сумма давала нуль.

Если исходить из научных положений ПВП, пользуясь принципом освобожденности от связей, стержень рассматривается как изолированное тело в положении равновесия под действием приложенных к нему активных сил – F_{yn} от штока пружины и силы F_c сопротивления жидкостному потоку со стороны пластины, а также силы реакция связи F_o от оси вращения пластины. Таким образом обосновывается так называемая силовая схема конструкции (рис. 5).

Тогда, пользуясь принципом освобожденности от связей и в соответствии с процедурами ПВП составляется условие баланса виртуальных работ активных сил (виртуальная работа $\delta A(F_O)$ силы F_O реакции связи равна нулю, так как точка O находится на оси вращения пластины)

$$\delta A(F_{\text{уп}}) + \delta A(M_O(F_c)) = 0, \tag{8}$$

где

$$\delta A(F_{\text{уп}}) = F_{\text{уп}} \cdot \delta x.$$

Причём следует иметь в виду, что, поскольку стержень имеет одну степень свободы, то между виртуальным перемещением δx штока пружины от силы $F_{\text{уп}}$ и виртуальным углом $\delta\alpha$ поворота стержня (пластины) от момента силы M_O существует, как и определяемая для полных дифференциалов dx и $d\alpha$ геометрическая связь, а именно

$$\delta x = [\partial(htg\alpha)/\partial\alpha] \cdot \delta\alpha = (h/\cos^2\alpha) \cdot \delta\alpha,$$

и поэтому

$$\delta A(F_{\text{уп}}) = F_{\text{уп}} \cdot h \cdot \delta\alpha/\cos^2\alpha, \tag{9}$$

$$\delta A(M_O(F_c)) = M_O(F_c) \cdot \delta\alpha = F_c \cdot l \cdot \delta\alpha. \tag{10}$$

Как видно, виртуальная $\delta A(F_{\text{уп}})$ работа силы $F_{\text{уп}}$ на

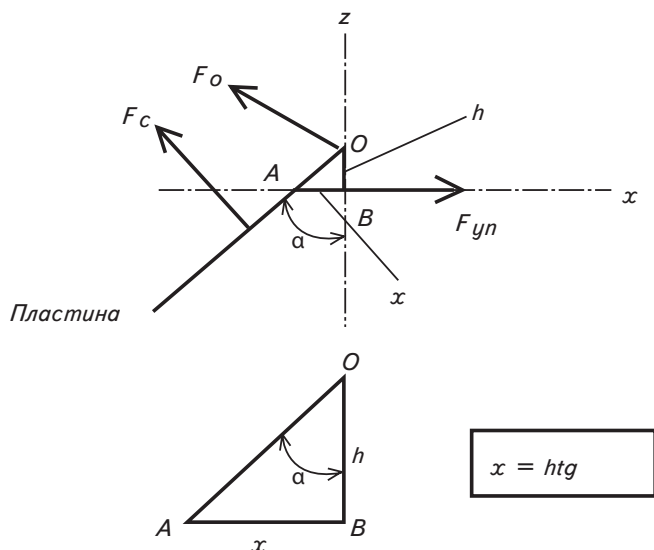


Рис. 5. Силовая схема (в плане) к расчёту условия равновесия сил, приложенных к пластине устройства управления усовершенствованной конструкции (F_c – распределённая нагрузка на пластину со стороны циркулирующего жидкостного потока, $F_{\text{уп}}$ – сила упругости пружины, F_O – реакция опоры)

виртуальном перемещении δx штока пружины принимается со знаком «-», а виртуальная $\delta A(F_{\text{уп}})$ работа от момента силы $M_O(F_c)$ силы F_c относительно центра O – со знаком «+».

Подставляя (9), (10) в (8) с учётом знаков входящих в (8) величин, получают (см. рис. 5)

$$F_{\text{уп}} \cdot h \cdot \delta\alpha/\cos^2\alpha + F_c \cdot l \cdot \delta\alpha = 0,$$

откуда, поскольку $\delta\alpha \neq 0$,

$$F_{\text{уп}} = F_c \cdot l \cdot \cos^2\alpha/h. \tag{11}$$

При этом, учитывая, что

$$F_{\text{уп}} = -c\Delta x, \tag{12}$$

где c – коэффициент упругости (жёсткости) пружины, Н/м; Δx – её удлинение (ход штока прибора управления, прогиб пружины, м), из (11), (12) следует:

$$c = F_c \cdot l \cdot \cos^2\alpha/(h\Delta x), \tag{13}$$

где F_c рассчитывается по (7), l – половина длины пластины, h – плечо силы $F_{\text{уп}}$ относительно центра O .

При расчётах входящее в формулу (13) значение силы сопротивления выбиралось в виде

$$F_c = 0,125k \cdot \rho \cdot \omega^2 R^2 \cdot S,$$

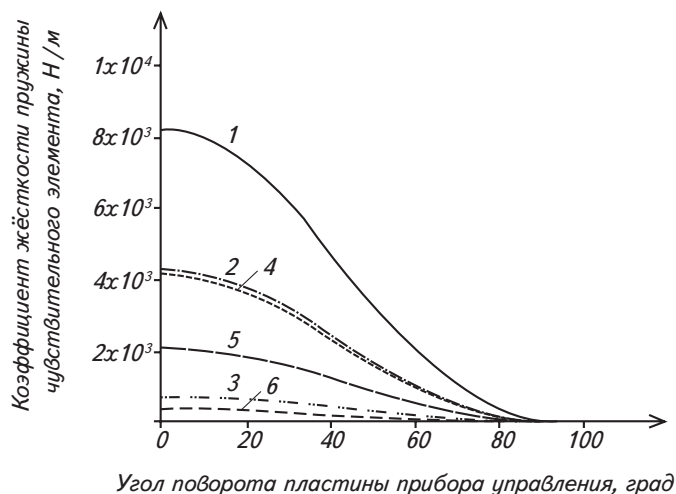


Рис. 6. Зависимости коэффициента жёсткости с пружины от угла α поворота пластины прибора управления при различных значениях хода штока Δx и плотности ρ циркулирующего воздушно-жидкостного потока ($\omega = 100 \text{ c}^{-1}$, $\Delta x = 0,01 \text{ м}$: 1 – $\rho = 1200$, 2 – $\rho = 600$; 3 – $\rho = 100$, кг/м^3 ; $\Delta x = 0,02 \text{ м}$: 4 – $\rho = 1200$, 5 – $\rho = 600$; 6 – $\rho = 100$, кг/м^3)

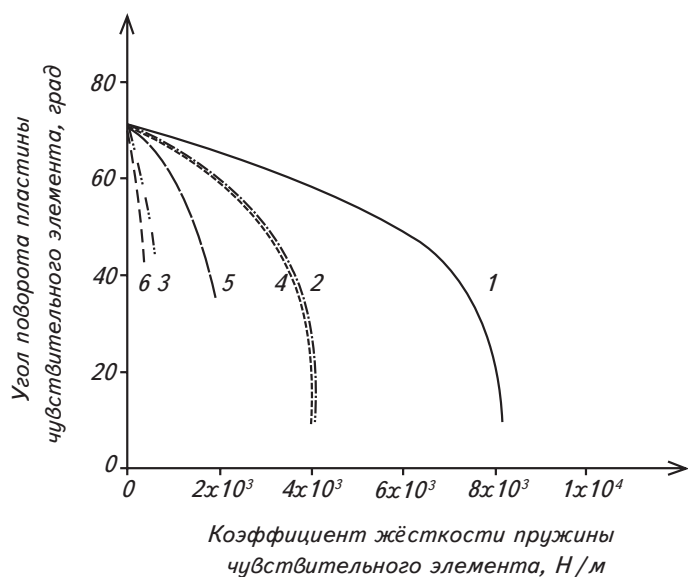


Рис. 7. Зависимости угла α поворота пластины прибора управления от коэффициента жёсткости с пружины при различных значениях хода штока Δx и плотности ρ циркулирующего воздушно-жидкостного потока ($\omega = 100 \text{ с}^{-1}$, $\Delta x = 0,01 \text{ м}$: 1 – $\rho = 1200$, 2 – $\rho = 600$; 3 – $\rho = 100$, кг/м^3 ; $\Delta x = 0,02 \text{ м}$: 4 – $\rho = 1200$, 5 – $\rho = 600$; 6 – $\rho = 100$, кг/м^3)

где $S = 2la$, $2l$ и a – соответственно длина и высота прямоугольной пластины, и поэтому

$$F_c = 0,25k \cdot \rho \cdot \omega^2 R^2 \cdot la, \text{ Н.}$$

Числовой расчёт

В качестве исходных параметров исследуемого процесса выбиралось: коэффициент пропорциональности в формуле (7) расчёта силы сопротивления $k = 0,7$; $\rho = 1200, 600, 100 \text{ кг/м}^3$; $\Delta x = 10^{-2}, 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Результаты численного моделирования зависимости коэффициента жёсткости s пружины от угла α поворота пластины прибора управления при различных значениях хода штока Δx и плотности ρ циркулирующего воздушно-жидкостного потока, базирующиеся на зависимости (13), отражены графически на рис. 6.

Проведённый на базе формулы (13) и данных по визуализации кривых рис. 6 анализ свидетельствует о согласии полученных числовым путём результатов физическому смыслу исследуемого процесса. А именно, когда играющая роль заслонки пластина прибора управления направлена поперёк воздушно-жидкостного потока (угол $\alpha = 0$), т. е. поток отбрасывается заслонкой к штоку прибора, величина коэффициента жёсткости s пружины имеет наибольшее значение (порядка 800 кГс/м). В то же время, если заслонка ориентируется вдоль потока (угол $\alpha \approx 90^\circ$), она

не препятствует движению потока, и поэтому он не оказывает сжимающего воздействия на шток – пружина прибора стремится распрямиться и занять нейтральное положение.

В свою очередь, как и должно быть, большему значению хода штока (при одной и той же плотности потока) Δx отвечает меньшая величина коэффициента жёсткости (например, кривая 3 расположена выше кривой 6).

На рис. 7 представлены рассчитанные по вытекающей из (13) формуле

$$\alpha = \arccos[c \cdot h \cdot \Delta x / (F_c \cdot l)]^{1/2} \quad (14)$$

зависимости угла α поворота пластины прибора управления от коэффициента жёсткости с пружины при различных значениях хода штока Δx и плотности ρ циркулирующего воздушно-жидкостного потока.

При этом очевидно, что зависимость (14) как обратная для зависимости (13) также отвечает физическому смыслу исследуемого процесса. Причём использование основанных на формуле (14) и данных рис. 8 результатов расчёта особенно удобно в том случае, когда требуется зафиксировать положение пластины прибора управления с таким углом поворота α , чтобы обеспечивалось выполнение технологического регламента процесса промывания на действующем оборудовании, т. е. чтобы было реализовано управление этим процессом.

Например (условно), необходимо при исходных параметрах: коэффициенте жёсткости пружины $s = 10^3 \text{ Н/м}$, плотности воздушно-жидкостного потока $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ и перемещении штока прибора управления $\Delta x = 10^{-2} \text{ м}$ рассчитать и зафиксировать величину угла поворота $\alpha_{\text{фик}}$ пластины. Подстановка этих параметров в (14) даёт $\alpha_{\text{фик}} = 66^\circ$, что согласуется и с данными кривой 2 рис. 7.

Результаты

Таким образом, на основе научных положений теории центрифугирования и фильтрации применительно к процессу отделения межкристалльного раствора из слоя кристаллов сахара протекание его через пористый слой кристаллов сахара на ситовой поверхности ротора фильтрующей центрифуги периодического действия и законов механики твёрдого тела проведён количественный анализ ударного воздействия потока отделяемого оттока на дросселирующую пластину управляющего устройства центрифуги [10, 11]. Такой подход может быть успешно использован при обосновании, проектировании и создании подобных устройств в условиях реальных производств.

В соответствии с проведёнными расчётами было предложено, во-первых, усовершенствование кон-

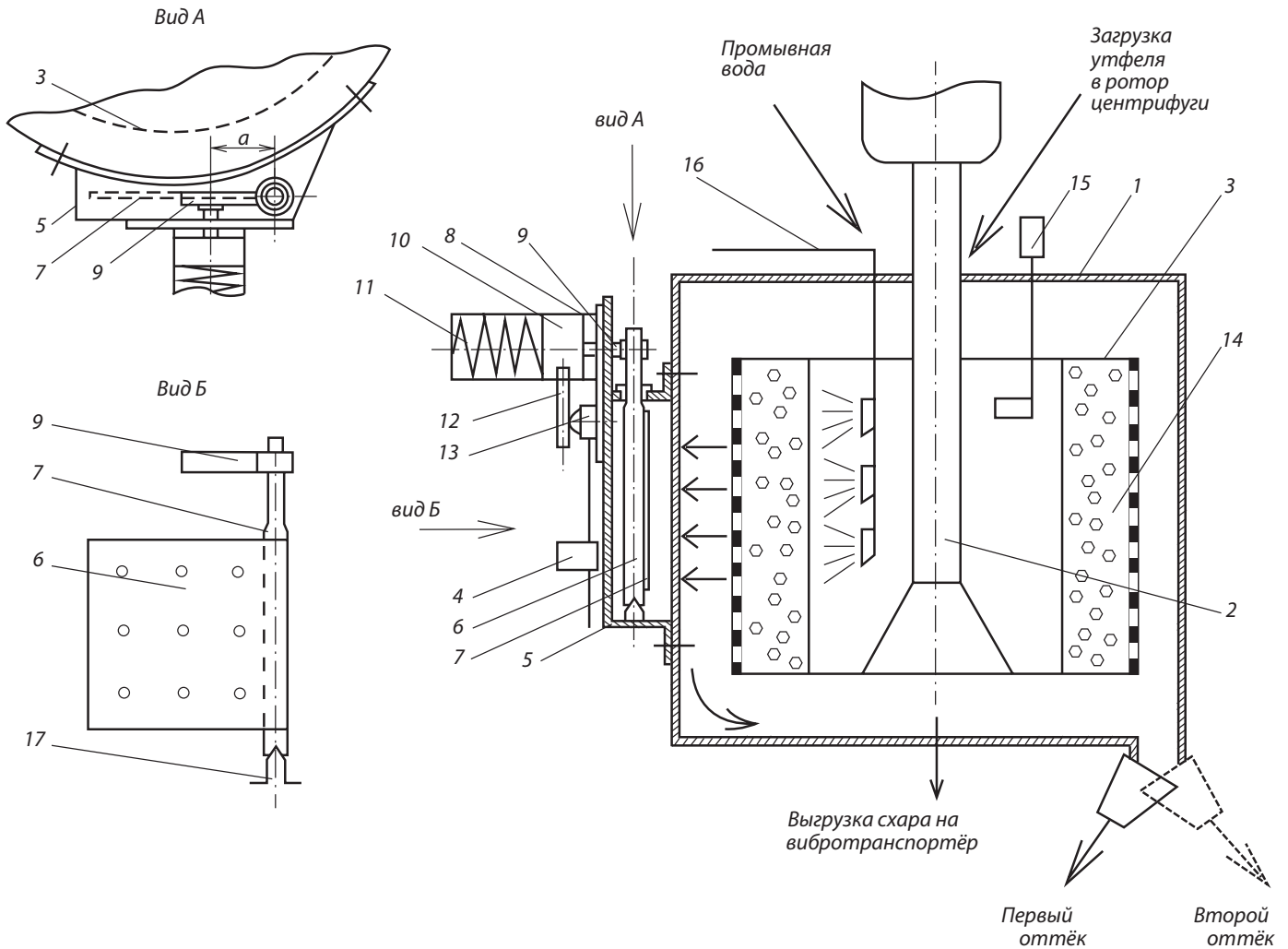


Рис. 8. Усовершенствованная схема установки для центрифугирования утфеля I кристаллизации: 1 – кожух центрифуги; 2 – вал; 3 – ротор вертикального типа; 4 – блок управления работой центрифуги; 5 – кожух измерителя; 6 – вертикальный стержень; 7 – чувствительный элемент; 8 – силовой механизм; 9 – рычаг; 10 – поршень; 11 – пружина; 12 – стержень; 13 – контактирующее устройство; 14 – слой кристаллов сахара; 15 – датчик загрузки утфеля; 16 – устройство для промывания сахара; 17 – регулировочный винт

струкции рабочих центрифуг сахарного производства путём оборудования их устройством для фиксирования момента окончания отделения межкристалльного раствора от кристаллов сахара, а во-вторых, повышение чувствительности восприятия ударной силы отделяемого межкристалльного раствора данным устройством (рис. 8) [12].

Усовершенствованная центрифуга включает в себя ротор вертикального типа 3, имеющий перфорированные боковые стенки, закреплён на валу 2 и снаружи закрыт кожухом 1. Центрифуга снабжена блоком управления 4, который связан с устройством фиксирования времени отделения межкристалльного раствора от слоя кристаллов сахара в роторе.

Его корпус 5 крепится на кожухе центрифуги, совмещённом с за кожужным пространством центрифуги.

Само устройство состоит из пластины чувствительного элемента 7, закреплённого на вертикальном стержне 6, с учётом возможности её поворота по вертикали на 5–30°. Данная пластина в процессе работы центрифуги, когда в роторе под действием центробежной силы происходит отделение межкристалльного раствора от слоя кристаллов сахара, контактирует с потоком межкристалльного раствора, проходящего через перфорированную поверхность вращающегося ротора в за кожужное пространство. Под воздействием ударной силы отделяемого межкристалльного раствора пластина отклоняется от вертикальной оси и воздействует на силовой механизм 8, соединённый с блоком управления центрифугой 4. Она воздействует на рычаг 9, который в свою очередь давит на поршень 10, закреплённый на пружине 11, вызывая её сжатие,

что приводит к размыканию контакта на контактирующем устройстве 13 с помощью стержня 12.

При снижении величины ударного воздействия межкристалльного раствора на пластину по мере окончания его отделения из слоя кристаллов сахара пластина чувствительного элемента под действием пружины, поршня и рычага возвращается в исходное положение. При этом при помощи стержня 12 происходит замыкание контакта на контактном устройстве 13, что приводит к включению блока управления центрифугой и проведению последующих операций по разделению утфеля в центрифуге.

При центрифугировании утфелей разного качества, как правило, величина измеряемой ударной силы межкристалльного раствора будет отличаться, что также может приводить к некорректной работе устройства. Для предотвращения этого предусмотрена возможность перемещения силового механизма устройства на корпусе путём горизонтальных фиксированных возвратно-поступательных движений в пределах 5–150 мм за счёт изменения расстояния (плеча) «а» от центра вертикальной оси, на которой установлена пластина. Данные перемещения регулируются изначально при монтаже и наладке силового механизма. Возможность регулирования ударного воздействия на пластину устройства позволяет исключить риск засахаривания силового механизма и повысить надёжность работы центрифуги при разделении утфелей различного качества.

Выводы

Использование центрифуги усовершенствованной конструкции для фиксирования момента окончания отделения межкристалльного раствора от кристаллов сахара по сравнению с ранее известными позволяет повысить чувствительность устройства и надёжность работы центрифуги. Применение данного устройства способствует более эффективному проведению процесса разделения утфелей различного качества, что повышает выход из них сахара и его качественные показатели в продуктивном отделении сахарного завода.

Список литературы

1. *Славянский, А.А.* Технологическое оборудование сахарных заводов: классификация, техническая характеристика, расчёты, компоновка : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 260203 «Технология сахаристых продуктов» / А.А. Славянский. – М., 2006. – 120 с.
2. *Славянский, А.А.* Центрифугирование и его влияние на выход и качество сахара / А.А. Славянский. – М., 2007. – 178 с.

3. К расчёту прибора управления процессом промывания сахара-песка в центрифуге периодического действия по «гибкой» программе / А.А. Славянский, А.А. Алексеев, В.А. Грибкова [и др.] // Сахар. – 2019. – № 10. – С. 22–26.

4. Улучшение условий работы продуктового отделения на Чишминском сахарном заводе / А.А. Славянский, А.Р. Сапронов, А.П. Лобанова [и др.] // Сахарная промышленность. – 1984. – № 10. – С. 22–25.

5. Совершенствование технологии центрифугирования утфеля первой кристаллизации / А.А. Славянский, В.Г. Андреев, А.Р. Сапронов [и др.] // Международный агропромышленный журнал. – 1991. – № 2. – С. 87–90.

6. *Терешин, Б.Н.* Современные центрифуги в сахарной промышленности. – М. : Пищевая промышленность, 1975. – 120 с.

7. *Кот, Ю.Д.* Математические зависимости процесса центрифугирования утфелей / Ю.Д. Кот // Труды ВНИИСП. – М. : Пищевая промышленность, 1964. – Вып. XII – С. 227–237.

8. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / В.П. Верещагин, В.И. Левитов, Г.З. Мирзабекян [и др.] – М. : Энергия, 1974. – 479 с.

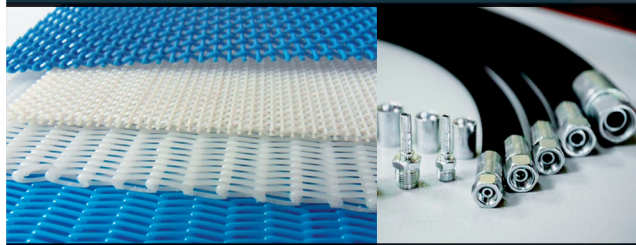
9. *Тарг, С.М.* Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. – М. : Высшая школа, 2006. – 416 с.

10. *Семёнов, Е.В.* Количественное моделирование процесса разделения суспензий в роторе фильтрующей центрифуги периодического действия / Е.В. Семёнов, А.А. Славянский, В.А. Карамзин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2014. – № 11. – С. 7–10.

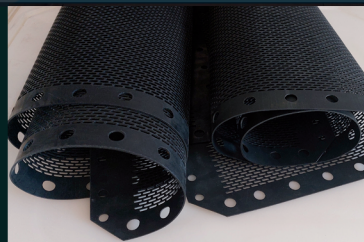
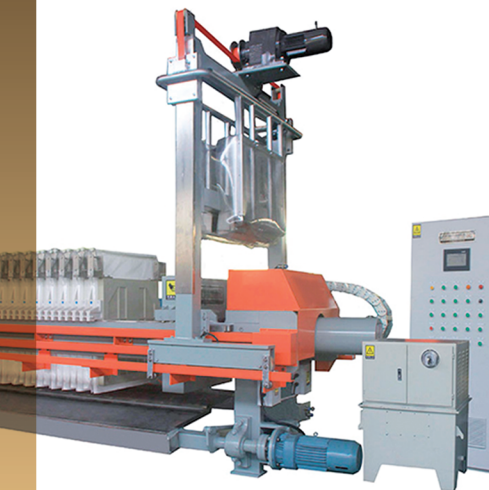
11. О кинетике потока жидкости в центробежном сепараторе / А.А. Славянский, Е.В. Семенов, В.А. Грибкова, Н.В. Николаева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 4. – С. 166–176.

12. Патент № 2288957 Российская Федерация С1, МПК С13F 1/06(2006.01), В04В 11/02(2006.01). Центрифуга для разделения утфелей сахарного производства : № 2005119766/13 : заявл. 27.06. 2005 : опубл. : 10.12.2006 / Славянский А.А., Андреев В.Г., Алексеев А.А., Штерман С.В., Семёнов М.В.; ГОУ ВО МГУПП. – 8 с. : ил.

Аннотация. Эффективное разделение утфеля на белый сахар, первый и второй отлёты осуществляется только в условиях правильно проведённой кристаллизации сахарозы при уваривании утфеля I кристаллизации и его подготовки к центрифугированию. Промывание кристаллов для обеспечения высокого выхода кристаллического сахара следует начинать, когда из них удалён основной объём межкристалльного раствора. Эксплуатируемые автоматизированные центрифуги периодического действия не имеют устройств, фиксирующих момент отделения основной массы межкристалльного раствора из слоя кристаллов сахара.

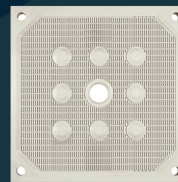


Широкий выбор полипропиленовых плит, фильтровальных и дренажных салфеток, комплектующих и расходных материалов (запасных частей) для камерных и камерно-мембранных фильтров



Производство рукавов для фильтров ФС, АМА, ТКФ

Поставка полимерных перфорированных матов для фильтров транспортёрно-моечной воды, полотен для ленточных фильтров, лент для транспортёрных разделителей



305023, г. Курск,
ул. Литовская, 12Д,
помещение 3.
Тел/факс: +7 (4712) 39-96-17
E-mail: tekhtkanservis@mail.ru
www.tts-filter.ru

Однако в настоящее время уже имеются разработки, позволяющие решать эту проблему путём фиксирования момента отделения межкристального раствора по величине его ударного воздействия на чувствительный элемент устройства контроля за работой центрифуги. Приведено устройство для контроля процесса центрифугирования и показана возможность его усовершенствования в целях повышения надёжности и чувствительности. Разработана математическая модель, обосновывающая процесс работы улучшенной конструкции устройства контроля за работой центрифуги. Уточнены особенности эксплуатации доработанной системы контроля процесса центрифугирования и принципы его функционирования по сравнению с уже известной конструкцией.

Модернизированная конструкция устройства позволяет повысить чувствительность фиксирования момента отделения межкристального раствора от кристаллов сахара и таким образом повысить эффективность работы центрифуг в продуктовом отделении сахарных заводов.

Ключевые слова: utfel, моделирование процесса, величина ударного воздействия отделяемого раствора, межкристальный раствор, промывание кристаллов сахара, закожусное пространство, цикл центрифугирования, «гибкая» временная программа.

Summary. The effective separation of utfel into white sugar, the first and second shades is carried out only under conditions

of properly carried out crystallization of sucrose during boiling of utfel I crystallization and its preparation for centrifugation. The washing of crystals to ensure a high yield of crystalline sugar should begin when the bulk of the intercrystal solution has been removed from them. The operated automated batch centrifuges do not have devices that record the moment of separation of the bulk of the intercrystal solution from the sugar crystal layer. However, at present there are already developments that allow solving this problem by fixing the moment of separation of the intercrystal solution by the magnitude of its impact on the sensitive element of the centrifuge operation control device. The device for controlling the centrifugation process is given and the possibility of its improvement to increase reliability and sensitivity is shown. A mathematical model has been developed that substantiates the process of operation of the improved design of the centrifuge operation control device. The features of the operation of the modified control system of the centrifugation process and the principles of its functioning in comparison with the already known design are clarified.

The upgraded design of the device makes it possible to increase the sensitivity of fixing the moment of separation of the intercrystal solution from sugar crystals and thus increase the efficiency of centrifuges in the grocery department of sugar factories.

Keywords: utfel, modeling of the process, the magnitude of the impact of the separated solution, intercrystal solution, washing of sugar crystals, airless space, centrifugation cycle, «flexible» time program.