

ПРОЦЕСС ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ СОКА НА НАМЫВНОМ СЛОЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ

Д.В. МАЛЫШЕВ, Т.Г. КОРОТКОВА, Е.Н. КОНСТАНТИНОВ

Кубанский государственный технологический университет

При фильтрации сока в осадке содержатся постоянные примеси, отмершие микроорганизмы, белковые вещества и др. При большой разности давлений Δp слой образующегося осадка легко сжимается. Удельное сопротивление осадка r_0 с увеличением Δp резко возрастает вследствие его сжимаемости. Это препятствует дальнейшему проведению процесса.

В этом случае фильтрование проводится в две стадии: на первой используют вспомогательные вещества, а на второй фильтруют через фильтр-картон или через намывной слой вспомогательного вещества.

Качественный эффект фильтрования соков зависит от правильного выбора фильтрующего материала с учетом количества и свойств примеси, содержащейся в соке. При окончательной очистке сока используют следующие фильтрующие материалы: фильтр-картон марок Т и Ш, фильтропластины Ф, фильтрующую диагональ Д, бельтинг Б, фильтр-волокно марок ЯК-1, ЯК-2 и ЯК-3, капроновую ткань КТ и др. [1].

Опытным путем установлено, что широко применяемый в производстве плодовых соков фильтр-картон Т оказывает сравнительно небольшое сопротивление фильтрованию [2]. Несколько выше сопротивление фильтрокартона Ш, который обеспечивает получение более прозрачного сока. Импортные фильтр-картоны К 10 и К 7 резко увеличивают сопротивление фильтрованию и рекомендуются лишь для вязких, быстротекущих жидкостей (водка, сухие вина и пр.) [2]. Фильтр-картон обладает и рядом недостатков. В частности, слабая прочность во влажном состоянии при повышении разности давлений приводит к набуханию и разрыву фильтр-пластин.

В настоящее время широкое применение при осветлении соков, относящихся к низкоконцентрированным суспензиям, нашли фильтровальные вспомогательные вещества (ФВВ). Применение диатомитовых (кизельгуровых) и перлитовых фильтровальных порошков по ряду показателей является более эффективным, чем использование фильтр-картона. Фильтровальные вспомогательные вещества дешевле, снижают трудоемкость процесса фильтрования, менее подвержены разрушению при увеличении перепада давлений. При этом качество осветления выше, чем при фильтровании через фильтр-картон марки Т [3].

Исследования механизма очистки жидкостей при фильтровании с применением намывного слоя ФВВ показали, что в случае фильтрования суспензии с вы-

сокодисперсной твердой фазой доминирующую роль в механизме очистки играет адсорбционный фактор [4].

Известно, что в случае классической периодической адсорбции сначала происходит формирование фронта адсорбции, затем его движение практически параллельно самому себе, после чего наступает «проскок» адсорбируемого вещества, его концентрация на выходе из адсорбционного слоя начинает возрастать.

При фильтрации наблюдается несколько иная картина. Так как силы адсорбции частиц примеси малы, то при росте скорости движения фильтрата начинается срыв частиц с поверхности капилляров вспомогательного вещества [4].

Поэтому важной характеристикой при окончательной очистке сока является знание времени конца фильтрования, по истечении которого наблюдается «проскок» примеси в фильтрат. Это нежелательное явление обусловлено тем, что с ростом толщины осадка примеси в порах вспомогательного вещества адсорбционные силы ослабевают, так как чем дальше расположены частицы примеси от поверхности частиц вспомогательного вещества, тем адсорбционные силы слабее. Диаметр капилляров вспомогательного вещества уменьшается, а скорость течения фильтрата в капиллярах возрастает. Это приводит к увеличению инерционных сил, частицы примеси не задерживаются на поверхности капилляра и частично срываются с его поверхности, в связи с чем прозрачность сока заметно ухудшается.

Цель настоящей работы – описание процесса фильтрования через намывной слой ФВВ при постоянной скорости фильтрования на основе изложенной выше качественной картины.

Рассмотрим случай, когда концентрация примеси в разделяемой суспензии невелика и частицы примеси настолько малы, что проникают в поры вспомогательного вещества и адсорбируются на его поверхности. Такая ситуация имеет место при окончательном осветлении предварительно отфильтрованного сока.

В этом случае на поверхность фильтрования (тканевые фильтровальные перегородки или опорный картон) предварительно наносится слой ФВВ толщиной от 1 до 3 мм путем замкнутой циркуляции суспензии с заданным количеством фильтровального порошка до тех пор, пока все вспомогательное вещество не будет перенесено на фильтровальную перегородку. По окончании нанесения слоя ФВВ на фильтр подают сок, который необходимо осветлить, а его фильтрат возвращают обратно в емкость с соком до получения требуемой прозрачности. После этого фиксируют перепад

давлений Δp_0 и затем проводят процесс фильтрации сока с периодическим контролем его прозрачности. С течением времени толщина адсорбированного слоя растет, диаметр пор уменьшается, а перепад давления увеличивается. С ростом толщины адсорбированного слоя силы трения, связанные с увеличением перепада давления, возрастают, и при определенном значении Δp_k фильтрацию прекращают. Величина Δp_k соответствует началу «проскока» примеси в фильтрат. При повторных фильтрациях и накоплении производственного опыта для сока с известной мутностью и заданным вспомогательным веществом процесс фильтрации контролируют по перепадам давлений в начале и в конце отбора осветленного сока, опуская трудоемкую операцию определения его прозрачности.

С практической точки зрения важным является вопрос определения количества фильтрата V , m^3 , (осветленного сока) и времени фильтрования на фильтре с намывным слоем, имеющем известную поверхность фильтрации F , m^2 .

Показано [5], что удельное сопротивление осадка r_0 обратно пропорционально квадрату его пористости ε и что полученное уравнение не противоречит известному уравнению Козени–Кармана для удельного сопротивления осадка

$$r_0 = \frac{16Ak_1}{\varepsilon^2}, \quad (1)$$

где k_1 – константа в уравнении Козени–Кармана; $A = \frac{\pi n \mu}{4F}$ – коэффициент; F – поверхность фильтрования; n – число поровых каналов; μ – коэффициент извилистости пор.

При рассмотрении фильтрования со сжимаемым осадком [5] получено уравнение, связывающее удельное сопротивление осадка и его пористость при допущении неизменности коэффициента извилистости поровых каналов ψ и их числа n до сжатия и после сжатия осадка.

$$\frac{r_0}{r_{01}} = \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} \right)^2, \quad (2)$$

где r_{01} , ε_1 – удельное сопротивление и пористость осадка после сжатия в процессе фильтрования.

Соотношения (1) и (2) были получены при использовании уравнения Дарси–Вейсбаха. В основу положено представление о том, что осадок является капиллярнопористым телом и что движение жидкости в капиллярах носит ламинарный характер.

Распространяя результат (1) на осадок, состоящий из чистого вспомогательного вещества, можно записать

$$r_{0в} = \frac{16Ak_1}{\varepsilon_a^2}, \quad (3)$$

где $r_{0в}$, ε_a – удельное сопротивление и пористость вспомогательного вещества.

Методом, аналогичным изложенному в работе [5], нетрудно показать, что отношение удельного сопротивления вспомогательного вещества $r_{0в}$ к удельному сопротивлению вспомогательного вещества r_0 , закупоренного примесью, равно квадрату отношения пористости вспомогательного вещества ε , закупоренного примесью, к пористости чистого вспомогательного вещества ε_a .

$$\frac{r_{0в}}{r_0} = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_a} \right)^2. \quad (4)$$

Используем результат (4) для определения времени фильтрования сока и его количества. Пусть требуется осветлить сок с концентрацией по примеси C_n , kg/m^3 . Плотность осадка примеси составляет ρ_n , kg/m^3 . Обозначим время начала фильтрования, т. е. время достижения перепада давлений Δp_0 , через τ_0 , а время достижения Δp_k через τ_k .

Выразим объем осадка примесных частиц V_n через объем суспензии V_c .

$$V_n = \frac{V_c C_n}{\rho_n}. \quad (5)$$

С учетом выражения (5) определим отношение V_n к объему фильтрата V как x_0 , m^3/m^3 :

$$x_0 = \frac{V_n}{V} = \frac{V_n}{V_c - V_n} = \frac{C_n}{\rho_n - C_n}. \quad (6)$$

Перепад давлений Δp_0 в начале процесса фильтрации сока составляет

$$\Delta p_0 = W \mu (r_0 h_{oc} + R_{ф.п}), \quad (7)$$

где μ – вязкость осветленного сока; r_0 – удельное сопротивление осадка намывного слоя, состоящего из вспомогательного вещества и частиц примеси, адсорбированных за время τ_0 ; h_{oc} – высота намывного слоя; $R_{ф.п}$ – сопротивление фильтровальной перегородки; W – скорость процесса фильтрования, $W = \frac{Q}{F}$, где Q известная производительность насоса.

Из выражения (7) определяется удельное сопротивление осадка

$$r_0 = \frac{\Delta p_0 - \Delta p_{ф.п}}{W \mu h_{oc}}, \quad (8)$$

где $\Delta p_{ф.п}$ – перепад давлений на фильтровальной перегородке, $\Delta p_{ф.п} = W \mu R_{ф.п}$.

Аналогично запишем зависимость между перепадом давлений Δp_k и удельным сопротивлением осадка в конце процесса фильтрования $r_{0к}$, которые соответствуют времени фильтрования τ_k .

$$r_{0к} = \frac{\Delta p_k - \Delta p_{ф.п}}{W \mu h_{oc}}. \quad (9)$$

С учетом выражения (4) можно записать

$$\frac{r_{0в}}{r_0} = \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_в} \right)^2, \quad (10)$$

$$\frac{r_{0в}}{r_{0к}} = \left(\frac{\varepsilon_к}{\varepsilon_в} \right)^2, \quad (11)$$

где $\varepsilon_в$, ε_0 , $\varepsilon_к$ – пористости намывного слоя вспомогательного вещества и осадка в моменты времени τ_0 и $\tau_к$ соответственно; $r_{0в}$ – удельное сопротивление намывного слоя вспомогательного вещества.

Величины $\varepsilon_в$ и $r_{0в}$ являются известными для заданного вспомогательного вещества.

Из выражений (10) и (11) определяются пористости осадка в начале и в конце фильтрования.

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_в \sqrt{\frac{r_{0в}}{r_0}}, \quad (12)$$

$$\varepsilon_к = \varepsilon_в \sqrt{\frac{r_{0в}}{r_{0к}}}. \quad (13)$$

Объем примеси, накопившейся в порах вспомогательного вещества в конце процесса фильтрования:

$$V_{п} = WF\tau_к x_0 = WF\tau_к \frac{C_{п}}{\rho_{п} - C_{п}}.$$

Учитывая, что пористость представляет собой отношение объема пор к объему осадка, имеем

$$\varepsilon_к = \frac{V_{пер}}{V_{ос}} = \frac{V_{пер.в} - V_{п}}{V_{в}} = \frac{\varepsilon_в h_{ос} F - WF\tau_к x_0}{Fh_{ос}}, \quad (14)$$

где $V_{в}$, $V_{пер.в}$ – объем собственно вспомогательного вещества и объем его пор соответственно.

Подставим (6), (9) и (13) в выражение (14) и определим время конца фильтрования

$$\tau_к = \frac{\varepsilon_в h_{ос} (\rho_{п} - C_{п})}{WC_{п}} \left\{ 1 - \sqrt{\frac{W\mu h_{ос} r_{0в}}{\Delta p_к - \Delta p_{ф.п}}} \right\}.$$

Аналогично с учетом выражений (6), (8) и (12) определим время начала получения осветленного сока

$$\tau_0 = \frac{\varepsilon_в h_{ос} (\rho_{п} - C_{п})}{WC_{п}} \left\{ 1 - \sqrt{\frac{W\mu h_{ос} r_{0в}}{\Delta p_0 - \Delta p_{ф.п}}} \right\}.$$

Рабочее время фильтрования τ_p , т. е. время, за которое образуется осветленный сок (фильтрат) объемом V , составляет

$$\tau_p = \tau_к - \tau_0 = \frac{\varepsilon_в h_{ос}^{3/2} (\rho_{п} - C_{п})}{C_{п}} \times \sqrt{\frac{\mu r_{0в}}{W}} \left\{ \frac{1}{\sqrt{\Delta p_0 - \Delta p_{ф.п}}} - \frac{1}{\sqrt{\Delta p_к - \Delta p_{ф.п}}} \right\}.$$

Длительность операции намыва ФВВ τ_n из суспензии объемом V' можно определить по производительности насоса Q из соотношения $\tau_n = \frac{zV'}{Q}$. Число циркуляций z обычно принимается равным пяти [7].

Полная продолжительность цикла $\tau_{ц}$ с учетом времени вспомогательных операций $\tau_{вс}$ (сборка и разгрузка фильтра, заполнение его суспензией и т. д.) составит $\tau_{ц} = \tau_n + \tau_0 + \tau_p + \tau_{вс}$.

Зная рабочее время фильтрования τ_p , вычислим количество осветленного сока $V = WF\tau_p$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фан Юнг А.Ф. Осветление и фильтрование плодовых соков. – М.: Пищевая пром-сть, 1967.
2. Фан-Юнг А.Ф., Нгуен Ван Тхоа. Сопротивление при фильтровании виноградного сока // Изв. вузов. Пищевая технология. – 1970. – № 1. – С. 150–152.
3. Звиченко В.И., Таран В.А. Практика применения фильтровальных порошков // Виноделие и виноградарство СССР. – 1985. – № 5. – С. 34–35.
4. Лейцис И.М. Исследование механизма очистки жидкостей при фильтровании с применением вспомогательных веществ // Теорет. основы хим. технологии. – 1978. – XII. – № 6. – С. 882–888.
5. Мальшев Д.В., Короткова Т.Г., Константинов Е.Н. Соотношение между пористостью сжимаемого осадка и его удельным сопротивлением в процессе фильтрования // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2003. – № 2–3.

Кафедра процессов и аппаратов пищевых производств
Поступила 03.03.03 г.

641.13.002.2: 635.24.004.4

ИЗМЕНЕНИЕ УГЛЕВОДНОГО КОМПЛЕКСА ТОПИНАМБУРА ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ И ХРАНЕНИИ

И.А. ХРИПКО, М.А. КОЖУХОВА

Кубанский государственный технологический университет

Благодаря высокой урожайности, неприхотливости и уникальному химическому составу, топинамбур все активнее вовлекается в сельскохозяйственное производство и переработку. Он служит сырьем для получе-

ния пищевых и биологически активных добавок, продуктов питания общего и специального назначения [1, 2].

Интерес к топинамбуру связан прежде всего с особенностями его углеводного комплекса: он содержит 0,4–0,6% глюкозы и фруктозы, 5–6% дисахаридов, ос-