

В настоящее время на предприятиях, производящих пищевые продукты широко используют экстракты из растительного сырья. В зависимости от объектов экстрагирования проблемы интенсификации процесса решаются методами совершенствования технологии и оборудования, повышением эффективности использования сырья и энергетических ресурсов[1,2]. Одними из потребителей природного сырья являются производства ликероводочных изделий и лекарственных препаратов. В практике ликероводочного производства используют более 25 наименований свежих, замороженных, сухих плодов и трав [3], имеющих клетчатку способную к набуханию при контакте с жидкостью и деформации при воздействии усилий извне. К числу перспективных экстракционных аппаратов интенсивного действия относятся пульсационные и вибрационные экстракторы. Как известно, эти экстракторы работают по общему принципу – путем сообщения колебательного возвратно – поступательного движения перерабатываемой среде и отличаются лишь способом подвода внешней энергии. В пульсационных экстракторах колебания перерабатываемой среде сообщаются с помощью внешнего пульсатора. В вибрационных – внешняя энергия сообщается посредством движущейся внутренней насадки. Использование высоко эффективных аппаратов сдерживается по причинам истирания твердого сырья в период пульсирующего движения и сложностью фильтрации экстрактов от мелко дисперсных частиц. Явными преимуществами, при сравнении этих двух типов экстракторов, обладают периодически действующие внешне уравновешенные пульсационные экстракторы горизонтального рис.1 и вертикального [4] рис. 2 исполнения с пневматической системой пульсации. Рис. 1 - Экстрактор горизонтального типа Рис. 2 - Экстрактор вертикального типа Пульсационные экстракторы являются системами, в которых формируются вынужденные колебания (пульсирующий поток) и свободные колебания, определяемые конструкцией аппарата. Подсистема технологического аппарата состоит из пульсационного цилиндра 1, встроенных в ёмкость 3 неподвижных конструктивных элементов “ложного” дна 2, тарелки 4, прижимающей сырьё, а также гетерогенной системы в виде насыпных слоёв сырья, имеющих малые гидравлические диаметры проходных сечений. Импульсы давления подаются в экстракторы через патрубки 5 от пульсаторов, например, золотникового типа [5]. Теория и практика показывают [6] ,что резонанс на входе в пульсопровод является необходимым условием максимальной отдачи активной мощности технологическому аппарату. В этих экстракторах импульс давления на среду передаётся через газовую подушку. Аппараты таких конструкций позволяют перерабатывать большие объёмы сырья. Работа в области резонансных частот пульсаций даёт значительную экономию энергии и создает условия для высокой эффективности массопередачи. В большинстве исследовательских работ рассматриваются вопросы расчёта собственных частот колебательных систем, амплитуды пульсации в аппарате,

гидравлических сопротивлений, энергетических затрат. Для аппаратов с газовой подушкой в пульсационных камерах собственная частота колебаний может быть определена по формуле (1) где m - показатель политропы; \bar{p} - среднее значение величины перепада давления в пульсационной камере; S - площадь сечения пульсационной камеры; ρ - плотность жидкости; h - уровень жидкости в пульсационной камере; g - ускорение силы тяжести; V - средний объём газа в пульсационной камере. Промышленные пульсационные экстракторы периодического действия работают на частотах ниже резонансных и при невысоких пульсационных скоростях движения экстрагента. При сжатии из плодов вытесняется растворитель с растворёнными экстрактивными веществами. Извлечение их происходит значительно быстрее и, в большем количестве, чем диффузионным способом. При этом порозность слоя сырья и фильтрация растворителя уменьшаются. Однако изменение проницаемости слоёв плодов в экстракторах при малых числах Re оказывается незначительным. Время сжатия и восстановления исходной формы частиц различны. На рис.3 представлено поведение слоя рябины красной в промышленном пульсационном экстракторе. Периоды действия импульсов давления (B) и деформации (C) плодов в слое не совпадают и резонансные явления в аппарате отсутствуют. Исследования показали рис. 4, что при восстановлении первоначального значения проницаемости слоя в состоянии насыщения (D) плодов растворителем, а также равенстве периода импульса давления периоду деформации достижимы резонансные явления. Увеличивается деформация сжатия более чем на 12%, а концентрация веществ в экстракте возрастает на 17% . Рис. 3 – Влияние пульсаций давления (кПа) на деформацию (%) плодов при отсутствии резонанса Рис. 4 - Влияние пульсаций давления (кПа) на деформацию (%) плодов в режиме резонанса частот

Клетчатка перерабатываемого сырья при обработке водно-спиртовой смесью и определённых пульсациях давления становится упругой и деформируемой и под действием импульсов испытывает только деформации сжатия, а восстановление структуры происходит за счет упругих свойств клетчатки[7]. При сжатии из плодов вытесняется растворитель с растворёнными экстрактивными веществами. Извлечение их происходит значительно быстрее и, в большем количестве, чем диффузионным способом. При этом порозность слоя сырья и фильтрация растворителя уменьшаются. Однако изменение проницаемости слоёв плодов в экстракторах при малых числах Re оказывается незначительным. Время сжатия и восстановления исходной формы частиц различны. На рис.3 представлено поведение слоя рябины красной в промышленном пульсационном экстракторе. Периоды действия импульсов давления (B) и деформации (C) плодов в слое не совпадают и резонансные явления в аппарате отсутствуют. Исследования показали рис.4, что при восстановлении первоначального значения проницаемости слоя в состоянии насыщения (D) плодов растворителем, а также равенстве периода

импульса давления периоду деформации достижимы резонансные явления. Увеличивается деформация сжатия более чем на 12%, а концентрация веществ экстракте возрастает на 17%. Гидродинамика периодически действующих пульсационных экстракторов с неподвижным слоем сырья рассматривается как фильтрация пульсирующего потока жидкости сквозь пористый слой.

Дифференциальные уравнения для определения основных гидродинамических параметров [8] получены с учетом следующих допущений: фильтрация в слое сырья подчиняется закону Дарси; изменение давления в газовой подушке пульсационной камеры происходит по закону гармонических колебаний, что характерно для большинства промышленных пульсационных аппаратов; исключен при подаче импульса проскок сжатого газа из пульсационной камеры в зону перерабатываемого твердого сырья. Решение дифференциальных уравнений представлено выражениями для определения гидродинамических параметров работы пульсационного экстрактора (2) (3) , (4) где; ; ; ; ; ; ; - безразмерные величины. T - период колебаний давления, W - скорость фильтрации; P - избыточное давление в жидкости; μ - динамическая вязкость жидкости; k - константа проницаемости слоя. Формулы (2),(3),(4) показывают, что при гармонических колебаниях жидкости в аппарате уровень H жидкости в пульсационной камере и скорость V фильтрации принимают максимальные и минимальные значения, определяемые из равенств ; (5) (6) ; (7) (8) Для исключения проникновения воздуха в слой ягод из пульсационной камеры, необходимо выполнить неравенство >0 . Используя (8) и выражение получаем ограничение, накладываемое на амплитуду колебаний давления в пульсационной камере (9) Для описания напряженного состояния зернистого слоя ягод были использованы известные уравнения фильтрационной консолидации. Уравнения, наряду с законом Дарси и уравнениями неразрывности, включают в себя суммарное уравнение движения (квазиравновесия) жидкой и твердой фаз. Решение этих уравнений позволило установить связь между напряженным состоянием слоя ягод и усилиями деформации, формируемыми колебаниями давления пульсации в виде зависимости (10) Из формулы (10) следует, что напряжения , возникающие в слое, вызывают объёмные деформации, приводящие к переупаковке частиц и изменению проницаемости слоя, а также к деформации скелета их клеточной структуры. Деформации клетчатки в частицах изменяют их пористость за счёт отжима жидкости из пор. Поэтому реологические свойства частиц, определяемые связью напряжение-деформация, близкой к упругой, могут быть представлены зависимостью вида . Для каждого вида сырья эта зависимость определяется экспериментально, а в аппарате проще отследить напряжённо-деформационное состояние объёма зернистого слоя и самих частиц, т.е. При деформировании частиц с пористой структурой процесс массопередачи определяется не столько диффузией, то есть разностью , сколько объёмами

жидкости, выходящей из частиц и поступающей в них при периодическом сжатии и следующей за сжатием разгрузке[9] Полученное выражение (11) даёт возможность качественно оценить изменение концентрации экстрагируемых веществ в экстракте при сжатии плодов под действием пульсирующего давления. Изменение проницаемости слоя, в свою очередь, изменяет и скорость фильтрации растворителя. Однако это изменение скорости столь мало, что не оказывает существенного влияния на процесс переноса массы от частиц в экстрагент. Деформации же самих частиц оказывают значительное влияние на процесс экстрагирования. Полезная работа пульсирующего потока в технологическом аппарате совершается только благодаря активной мощности поступающей через пульсатор и пульсопровод от источника энергии. Энергетическая оптимизация колебательных систем пульсации, в целом, определяется согласованностью входящих в неё подсистем Показано, что только при малом активном гидравлическом сопротивлении технологического аппарата достигается резонансный режим работы. При этом расход воздуха становится минимальным, а на создание пульсационного режима затрачивается мощность в 1,4 раза меньше чем в пульсационных экстракторах иных конструкций. Расчеты, приведенные в работе, выполнены для статически и динамически уравновешенных аппаратов. При экстрагировании красной рябины значение соответствовало 0 – 9 кПа. Собственная частота колебаний пульсации, вычисленная по формуле (1) с использованием зависимости (9), соответствовала значениям 3,2 и 2,2 кол/мин, а рабочая – 2,75 и 2 кол/мин, соответственно. Выход аппаратов на установившийся пульсационный режим был осуществлён за пять периодов пульсаций.