УДК 665.117.2.03

Мазур Е.В., Тимченко В.К.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА НА ПРОЦЕСС ЭКСТРАКЦИИ

Экстрагированием в системе твердое тело–жидкость называется извлечение одного или нескольких компонентов из сложного твердого вещества путем избирательной растворимости.

В основе процесса экстракции лежит способность растительных масел растворяться в органических растворителях.

Эффективность процесса экстракции в первую очередь зависит от структуры материала.

К основным характерным особенностям внутренней структуры материала, поступающего на экстракцию, относятся: наличие некоторого количества неразрушенных клеток, определенная пористость с различными по величине и форме порами, присутствие так называемых вторичных структур, образовавшихся в процессе подготовки материала к экстракции. Таким образом, внутри частиц экстрагируемого материала имеются, во-первых, свободные пространства в виде пор, при заполнении которых растворителем в них будет протекать процесс молекулярной диффузии жидкости в жидкости и, во-вторых, пространства, заполненные маслом и отгороженные либо неразрушенной клеточной мембраной, либо вторичной перегородкой [1].

Структура пористых тел характеризуется формой пор, их направленностью, взаимным расположением и взаимным соединением.

По взаимному расположению пор или элементов тела различают упорядоченные (регулярные) структуры, когда поры ориентированы определенным образом по отношению к поверхности тела и одна к другой и неупорядоченные, нерегулярные, когда расположение пор хаотическое.

Наиболее благоприятным для экстракции расположением пор является случай, когда поры открыты с обеих сторон и перпендикулярны к наружной поверхности частицы. В этом случае молекулы масла, находящиеся или попавшие в поры в результате диффузии через клеточные мембраны и вторичные перегородки, должны будут пройти внутри частицы минимальный путь.

Молекулы масла передвигаются внутри пор, так же как и в большом объеме жидкости, в результате беспорядочного теплового движения и описывают случайную траекторию. При этом чем меньше эффективный диаметр пор и чем больше их искривленность, тем больше вероятность столкновения молекул диффундирующего вещества с внутренними стенками пор, тем, следовательно, в более сильной степени замедляется их продвижение к наружной поверхности экстрагируемой частицы.

И, наоборот, чем больше диаметр пор, чем они прямее, тем больше скорость диффузии масла внутри частиц.

Так как эффективность процесса экстракции определяется внутренней диффузией изнутри частицы материала к ее поверхности, то к факторам, определяющим скорость экстракции необходимо отнести главным образом такие, которые ускоряют молекулярную диффузию масла из частицы материала. Следовательно, для быстрого и полного извлечения масла необходимо при подготовке материала к экстракции перевести в свободное состояние максимальное количество масла путем разрушения клеточной структуры. Одновременно необходимо обеспечить хорошее проникновение растворителя между частицами и внутрь каждой частицы материала и обратную диффузию растворенного масла во внешний раствор.

Для этих целей следует стремиться к созданию оптимальной внешней и внутренней структуры материала, придавая ему структурно-механические свойства [1].

Структура экстрагируемых частиц (количество, характер и размер пор) существенно влияет на скорость и полноту извлечения масла.

Для получения высокопористого материала применяется процесс экструдирования при совмещении с процессом экспанзии.

Подготовленное масличное сырье (сыпучий материал) через загрузочное отверстие поступает к шнеку пресса, который перемещает его вдоль корпуса.

Продукт внутри рабочей камеры движется по сложной траектории, при этом увеличивается степень сжатия.

При всестороннем сжатии под действием прилагаемого давления наблюдается два тесно связанных между собой процесса:

– отделение жидкой части – масла;

– соединение (сплавление) твердых частиц материала с образованием жмыха.

Соединение отдельных частиц масличного материала в гранулу жмыха происходит следующим образом: в начальный период прессования отдельные частицы сближаются благодаря уменьшению промежутков между ними, затем вступают в непосредственное соприкосновение и давят друг на друга.

Это приводит к деформации отдельных частиц и их соединению в местах разрыва масляных пленок.

Наступает период, когда масличный материал ведет себя не как сыпучее, а как целое пластичное тело.

Образовавшаяся масса перемещается шнеком к матрице и при определенном давлении выпрессовывается через ее отверстия.

Величина давления в значительной мере обусловлена геометрией отверстий матрицы и структурно-механическими свойствами масличного материала.

После выхода продукта из отверстий матрицы в результате резкого перепада температуры и давления (между зоной высокого давления и зоной атмосферного давления) происходит мгновенное испарение внутренней влаги материала. Аккумулированная при сжатии в прессе энергия высвобождается со скоростью близкой к скорости звука, что приводит к образованию пористой структуры [2].

Доказано, что расширение продукта на выходе из отверстий матрицы непосредственно является следствием физических свойств воды [3].

При таких термических условиях (температура в форпрессе может достигать 200 °С) и под большим давлением вода находится в жидкой фазе.

Когда пластифицированный жмых выходит из фильер и достигает атмосферного давления, вода из состояния перегретой жидкости мгновенно превращается в пар, выделяя значительное количество энергии.

Скорость истечения пара при этом можно оценить по соотношению:

$$V = \sqrt{2 \cdot (J(T_n)) - (J(T_в))}\,,$$

где $J(T)$ – энтальпия, $T_п$ – температура пара, $T_в$ – температура воды.

Под действием давления пара происходит преобразование структуры жмыха: разрыв клеточной ткани, образование пор и развитой удельной поверхности.

Также на эффект экспанзии наряду с водой оказывают влияние и конструктивные особенности фильеры.

Рассмотрим четыре варианта отверстий гранулирующего устройства.

Наихудшая пористость гранул будет получена на фильере (рис. 1а).

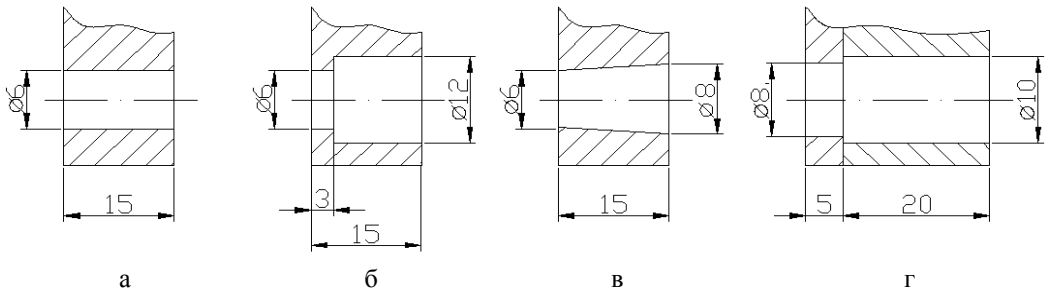

Рисунок 1 – Конструкции отверстий гранулирующего устройства

Благодаря длинному пути прохождения гранул через фильеру – 15 мм, отсутствует эффект экспанзии (взрыва) клеточной структуры жмыха за счет вскипания влаги при перепаде давлений, а наблюдается только эффект экструзии (выдавливания), что приводит к получению более плотных гранул с меньшей пористостью.

Наилучшей пористостью будут обладать гранулы, прошедшие через фильеру (рисунок 1б).

Здесь происходит интенсивный взрыв жмыха за счет мгновенного испарения влаги находящейся внутри материала в момент резкого перепада температуры и давления (между зоной высокого давления и зоной атмосферного давления).

Это явление наблюдается из-за того, что длина пути прохождения через отверстия фильеры составляет всего 3 мм.

Конструкции фильер, изображенных на рисунке 1(в и г), не дают полного эффекта взрыва из-за малой разности диаметров отверстий на входе и выходе из матриц.

Структурные свойства жмыха определялись следующими показателями: открытая пористость, кажущаяся плотность, удельная поверхность, эффективный поровый объем.

Для исследования брались образцы гранулированного жмыха, крупки и лепестка нескольких маслоэкстракционных заводов. Полученные данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Показатели капиллярно-пористой структуры жмыха

Гранулированный жмых	**Кажущаяся плотность, г/см^2**	**Открытая пористость, %**	**Удельная поверхность, м^2/г**	**Эффективный поровый объем, см^3**
Гранула №1	0,770	43,51	1547,41	22,86
Гранула №2	0,788	42,53	1450,51	22,46
Гранула №3	0,795	41,86	1423,69	22,19
Лепесток	0,850	38,69	1243,40	18,25
Крупка №1	0,855	37,77	1197,65	17,64
Крупка №2	0,863	36,28	1124,70	16,63

Из таблицы видно, что пористость гранулированного жмыха выше пористости крупки и лепестка. С увеличением пористости жмыха увеличивается удельная поверхность, которая является также важным параметром, определяющим проницаемость – способность пористого материала пропускать через себя жидкость.

Характер и закономерность движения растворителя через слой экстрагируемого материала имеет большое значение при изучении процесса экстракции.

Суммарной характеристикой свойств слоя и протекающей жидкости является коэффициент фильтрации.

Проницаемость – более удобный показатель для характеристики свойств слоя, чем коэффициент фильтрации, во-первых, потому что она не зависит от свойств жидкости и этим самым выделяются свойства собственно слоя, во-вторых, проницаемость может быть применена при любом режиме движения жидкости, тогда как коэффициент фильтрации относится лишь к ламинарному режиму движения.

Таблица 2 – Фильтрационные свойства материала в зависимости от его пористости

Жмых	**Открытая пористость, %**	**Удельная поверхность, м^2/г**	**Эффективный поровый объем, см^3**	**Коэффициент общей пористости слоя**	**Общий объем пор и промежутков, см^3**	**Проницаемость, см^2**	**Коэффициент фильтрации, см/сек.**	**Действительная скорость движения в поровых каналах, см/сек**
Гранула №1	43,51	1547,41	22,86	0,688	100,53	0,026	0,056	0,081
Лепесток	38,69	1243,40	18,25	0,658	77,66	0,013	0,027	0,041
Крупка №1	36,28	1124,70	16,63	0,683	82,74	0,018	0,040	0,058

Анализируя данные таблицы 2 можно сделать вывод, что при увеличении пористости и размеров отдельных частиц, образующих слой материала, проницаемость слоя, а также коэффициент фильтрации и действительная скорость растворителя в поровых каналах увеличиваются.

Проницаемость крупки и лепестка ниже проницаемости гранул. Это связано с тем, что:

• При получении лепестка следует стремиться к толщине 0,25–0,35 мм, чтобы удельная поверхность соприкосновения материала с растворителем была максимальной. Однако установлено, что при величине частиц менее 0,5 мм значительно уменьшается проницаемость их слоя. Такие частицы легко вымываются потоком растворителя, в результате чего увеличивается величина отстоя в мисцелле. Также при современных требованиях безопасности экстракционный цех должен располагаться отдельно стоящим зданием от прессового цеха с 15-ти метровой зоной строгого контроля. В связи с этим при транспортировке лепестка происходит его частичное измельчение из-за его малой толщины, что приводит к значительному уменьшению проницаемости слоя материала при экстракции и соответственно увеличивается остаточная масличность шрота.

• В процессе получения крупки жмых после прессов также проходит измельчение, что приводит к образованию частиц различных размеров с неизбежным образованием мучнистой фракции, что затрудняет проникновение растворителя в слой материала.

Для определения влияния пористости и проницаемости на экстрагируемость жмыха, проводилась экстракция данных образцов гексановым растворителем. Экстракция проводилась при одинаковых условиях:

Температура растворителя……. 50 °С;
Температура жмыха…… 60 °С;
Время экстракции……... 90 мин;
Расход растворителя на процесс с учетом бензоемкости……... 625 мл;
Навеска жмыха…… 100 гр.;
Количество ступеней экстракции……. 8.

Во время всего эксперимента поддерживалась постоянная температура растворителя и жмыха. Полученные данные сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Влияние структуры материала на полноту экстракции

Жмых	**Открытая пористость, %**	**Удельная поверхность, м²/г**	**Проницаемость, см²**	**Масличность, жмыха. %**	**Масличность шрота, %**	**Бензовлагоемкость, %**
Гранула №1	43,51	1547,41	0,026	20,9	1,68	25,13
Лепесток	38,69	1243,40	0,013	19,72	2,01	36,79
Крупка №1	36,28	1124,70	0,018	20,36	1,97	30,13

Из таблицы видно, что интенсивность процесса экстракции сильно зависит от структуры и проницаемости экстрагируемого материала графы 1, 4 и 6. Чем пористостей структура материала, тем глубже растворитель проникает вовнутрь пор, извлекая тем самым масло из капилляров, расположенных не только на поверхности, но и в глубине частицы, а также при увеличении проницаемости слоя увеличивается скорость движения растворителя. В результате чего резко снижается толщина диффузионного слоя и возрастает скорость конвективной диффузии, что увеличивает выход масла и снижает остаточную масличность шрота.

Таким образом, подготовка жмыха к экстракции обеспечивает не только максимальное разрушение клеточной структуры, но и достаточную проницаемость для растворителя, причем влияние проницаемости для эффекта экстракции, тем больше, чем более развита удельная поверхность экстрагируемого материала. В связи с этим подготовка хорошо проницаемых для растворителя жмыхов может обеспечивать приготовление хорошо экстрагируемых, достаточно крупных структур с минимальным количеством мелких частиц.

Литература

1. Копейковский В.М. Технология производства растительных масел / В.М. Копейковский, С.И. Данильчук, Г.И. Гарбузова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 416 с.

2. Остриков А.Н. Экструзия в пищевой технологии / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.С. Рудометкин. – С.-Пб.: ГИОРД, 2004. – 288 с.

3. Grebaut J. Cuisson – extrusion des produits cerealiers // Jndustries des cereales. – 1984. – № 28. – P. 7–12.

Bibliography (transliterated)

1. Kopejkovskij V.M. Tehnologija proizvodstva rastitel'nyh masel V.M. Kopejkovskij, S.I. Da-nil'chuk, G.I. Garbuzova. – M.: Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 1982. – 416 p.

2. Ostrikov A.N. Jekstruzija v pishhevoj tehnologii A.N. Ostrikov, O.V. Abramov, A.S. Rudometkin. – S.-Pb.: GIORD, 2004. – 288 p.

3. Grebaut J. Cuisson – extrusion des produits cerealiers Jndustries des cereales. – 1984. – # 28. – R. 7–12.

УДК 665.117.2.03

Мазур О.В., Тимченко В.К.

ВПЛИВ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ НА ПРОЦЕС ЕКСТРАКЦІЇ

В статті наведені результати теоретичних і практичних досліджень що до впливу зовнішньої та внутрішньої структури олійного матеріалу на процес екстракції.

Mazur E., Timchenko V.

THE INFLUENCE OF MATERIAL'S STRUCTURE ON THE EXTRACTION PROCESS

The results of the theoretical and practical researches of the influence of internal and external structure of oil seed material on the extraction process are given in the article.