

РЕОДИНАМИКА ПЛЕНОЧНОГО ТЕЧЕНИЯ ФАРШЕВЫХ МЯСОПРОДУКТОВ

А.М.БРАЖНИКОВ, Б.П.ФИЛИПЕНКО и Н.С.НИКОЛАЕВ

Московский технологический институт мясной и молочной промышленности, Москва, СССР.

В производстве консервированных фаршевых мясопродуктов для детского и диетического питания перспективным направлением интенсификации тепло- и массообменных процессов является их проведение в пленочных аппаратах непрерывного действия.

Научное обоснование аппаратурных и технологических параметров обработки мясопродуктов в пленочных аппаратах (термокоагуляторах, деаэраторах и т.п.) предопределяет знание закономерностей реодинамического поведения фаршевых текучих систем в условиях сдвиговых напряжений.

Изучение реодинамики фаршевых мясопродуктов проводили применительно к основному сырьевому компоненту - жилованной говядине в/с, в соответствии с принятой технологией производства мясных консервов детского и диетического питания. Содержание жира в говядине составляло 4,5-5,0% при рН - 5,8-6,0. Исходное сырье измельчали на волчке с диаметром отверстия решетки 1,5 мм или дополнительно кутеровали.

Гидродинамика пленочного течения фаршевых мясопродуктов изучалась на экспериментальном стенде с вертикальной модельной цилиндрической камерой диаметром 110 мм, высотой 2000 мм, изготовленной из стали 1Х18Н9Т. Подача сырья осуществлялась шестеренчатым насосом, распределение по внутренней поверхности камеры - центробежным диском. Визуальное наблюдение за процессом течения проводилось через вертикальный щелевой канал. Расход продукта замерялся весовым способом. Толщина пленки фарша определялась методом отсечки питания и рассчитывалась по формуле [1]:

$$h_{cp} = R - \sqrt{R^2 - \frac{V}{\pi H}}$$

- h_{cp} - средняя толщина пленки фарша, м.
 V - отсеченный объем фарша, м³
 H - высота отсекаемого объема, м.
 R - радиус орошаемой поверхности, м.

Плотность орошения в камере вычислялась из отношения:

$$\Gamma = \frac{G}{\pi d} \quad \text{кг/м} \cdot \text{с, где}$$

- G - производительность установки, кг/с
 d - диаметр цилиндрической трубы, м.

Скорость движения граничных поверхностей пленки и их относительный сдвиг фиксировались по индикаторным меткам. Цветовая индикация проводилась методом безигольчатого инъецирования одновременно на всю толщину пленки.

Концентрация мясного сырья в фаршевых системах (содержание мясного сырья с исходной влажностью в дисперсной системе) изменялась за счет их дополнительного обводнения при последующем перемешивании. Влажность исходного сырья определялась весовым способом.

Исследования пленочного гравитационного течения фаршевых обводненных мясопродуктов показали, что характерной его особенностью является наличие пристенного скольжения, определяющего скорость движения продукта по поверхности камеры. Аномальное поведение исследуемых фаршевых систем вблизи твердой границы свидетельствует о несоблюдении условия "прилипания" продукта к стенке. Пристенное скольжение фаршевой системы при сдвиге характеризуется наличием граничной области с меньшей вязкостью, чем в объеме как следствие повышенного ориентирования дисперсных частиц и преимущественного влияния прослойки жидкой фазы у твердой стенки.

Гистологические исследования опытных образцов фаршевых систем показали, что составляющие основу концентрированной фазы мышечные волокна представляют собой частицы удлиненной неправильной формы. Подобные частицы склонны к проявлению эффекта ориентации, что может облегчать движение системы у твердой поверхности.

Проведенные экспериментальные исследования на фаршевых системах при воздействии постоянных однородных сдвиговых напряжений в коаксиальном цилиндрическом канале также показали наличие значительного пристенного скольжения как по гладкой, так и по рифленой поверхности. Вклад пристенных эффектов в оценке общей скорости сдвига может достигать 40-100% и снижается с увеличением скорости сдвига. Отмечено значительное увеличение пристенного скольжения для коагулированных фаршевых продуктов. В диапазоне температур от 5 до 40°C наблюдалось увеличение пристенного скольжения, что согласуется с представлением о преимущественном влиянии прослоек дисперсионной фазы в структурном механизме граничной области.

В пределах изменяемых концентраций (от 50 до 66%) и расходов (от 350 кг/час до 2000 кг/час) фаршевых мясопродуктов превышение скорости свободной поверхности гравитационного потока по отношению к скорости пристенного слоя составляло в среднем 0,01 м/с и оставалось практически неизменным во всем диапазоне создаваемых толщин продукта. Течение фаршевой системы с ма-

ной деформацией характерно для структурированных твердообразных дисперсных систем в области практически неразрушенной структуры [2], [3]. Фаршевые мясопродукты, рассматриваемые с точки зрения коагуляционных структур, могут характеризоваться способностью к медленному развитию деформаций без значительного разрушения пространственной сетки [4].

На рис. 1 представлены зависимости напряжения сдвига (P) (условный статический предел текучести) от концентрации фаршевой системы (C) при температуре 20°C

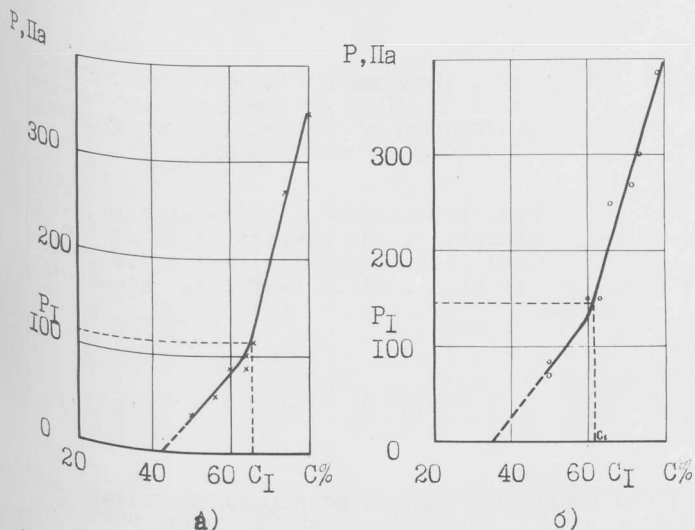


Рис. 1 Зависимость условного статического предела текучести от концентрации дисперсной системы: а) говядина в/с куттерованная, б) говядина в/с крупноизмельченная.

Fig. 1 Dependence of the conditional static flow limit on the concentration of the dispersion system: а) high quality beef after cutting б) high quality beef after comminution

Проведенная сравнительная оценка максимальных величин напряжений сдвига в экспериментальных гравитационных потоках показала, что величины этих напряжений превышают условный статический предел текучести фаршевых систем, но меньше их динамического (бингамовского) предела текучести. Характер зависимости $P = f(C)$ свидетельствует о наличии уровня концентрации, начиная с которого происходит более резкое увеличение прочности структуры. Начало образования пространственной структурной сетки определяется той минимальной концентрацией, когда в системе начинают возникать коагуляционные контакты [5].

Режим установившегося пленочного гравитационного течения позволяет рассматривать условия сдвиговых напряжений в потоке как постоянные во времени. Для случая стационарно реологической системы при известной эпюре напряжений сдвига в пленке можно оценить коэффициент эффективного скольжения (K_c) (скорость скольжения ($V_{ск}$), отнесенная к единице напряжений на стенке (τ_{cm}):

$$K_c = \frac{V_{ск}}{\tau_{cm}}, \text{ где } \tau_{cm} = \rho g h$$

Экспериментальные зависимости коэффициента эффективного скольжения от плотности орошения и концентрации фаршевой системы при температуре 20°C крупноизмельченного (Рис. 2, а) и куттерованного (Рис. 2, б) продукта свидетельствуют о значительном влиянии концентрационного фактора на пристенный эффект.

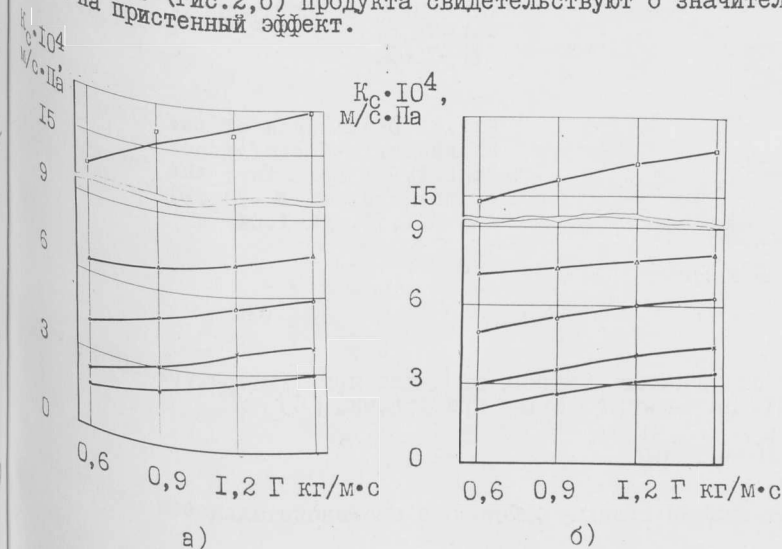


Рис. 2. Зависимость коэффициента эффективного скольжения от плотности орошения: а) куттерованного сырья, б) крупноизмельченного сырья; концентрация системы: □ - 50%, Δ - 53,6%, ○ - 56%, × - 62%, ● - 66%.

Fig. 2. Dependence of the effective wall-sliding coefficient on the density of spraying: а) raw material after cutting, б) raw material after comminution; the concentration of the system: □ - 50%, Δ - 53,6%, ○ - 56%, × - 62%, ● - 66%

Экспериментально установлены значения минимальной плотности орошения, определяющей условия стабильного течения гравитационной пленки без разрыва сплошности потока и являющейся важным фактором в выборе технологического режима работы аппаратов. (Рис.3).

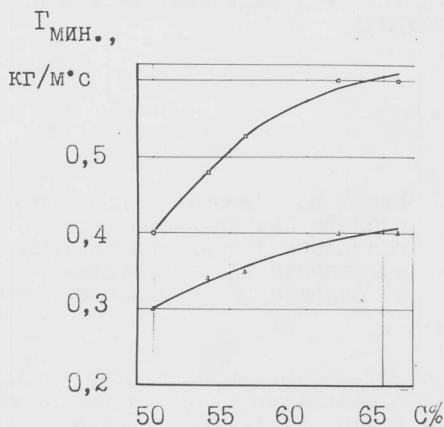


Рис.3. Зависимость минимальной плотности орошения ($\Gamma_{мин}$) от концентрации системы: Δ -говядина в/с куттерованная, \square -говядина в/с крупноизмельченная.

Fig.3. Dependence of the minimum spray density on the concentration of the system: Δ -high quality beef after cutting, \square -high quality beef after comminution.

По аналогичной методике были проведены экспериментальные исследования течения ливоро-паштетного сырья с общим содержанием жира до 20% (мозги говяжьи-60%, печень говяжья-25,4%, жир свиной топленый -11,2%, pH-6,3-6,6), дополнительно измельченного на коллоидной мельнице.

Исследования показали, что реодинамика паштетного сырья аналогична вязко-пластичным средам с характерным наличием двухслойного движения без выраженного пристенного скольжения. При стационарном течении напряжения сдвига в вязкопластичной зоне по величине превышают динамический предел текучести, а в квазитвердой - не достигают его значения [6]. Зависимость расходных характеристик при гравитационном течении паштетного сырья от его концентрации при температуре 20 C представлены на рис.4

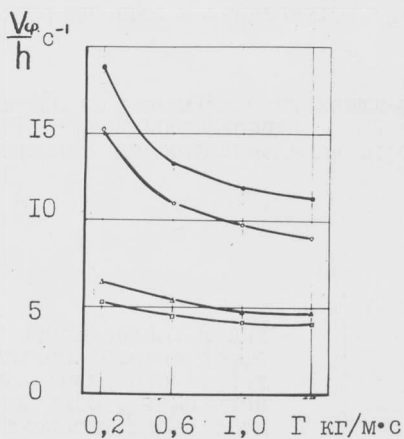


Рис.4. Зависимость расходных характеристик паштетного сырья от плотности орошения; концентрация системы: \bullet -78,5%, \square -85%, Δ -91,5%, \square -100%.

Fig.4. Dependence of the flow rate characteristics of fancy meats on the density of spraying; the concentration of the system: \bullet -78,5%, \square -85%, Δ -91,5%, \square -100%

Экспериментально определенная статическая толщина продукта при температуре 20°C и вычисленная из баланса сил действующих на элемент пленки при условии [6] :

$$h_{ст.} = \frac{\tau_0}{\rho g}$$

представлены на рис.5.

Статическая толщина определяет нижнюю границу диапазона производительности пленочного аппарата.

В результате проведенных исследований экспериментально определены характерные реодинамические особенности и количественные параметры пленочного гравитационного течения некоторых фаршевых мясопродуктов. Установлено, что для фаршевых систем на основе говяжьего сырья с малым содержанием жира реодинамическое поведение в условиях сдвиговых напряжений характеризуется проявлением граничных аномальных свойств с выраженным эффектом пристенного скольжения.

Результаты исследований могут быть использованы для выбора технологических режимов работы и расчета пленочных теплообменных аппаратов.

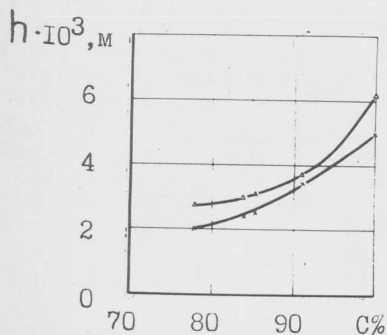


Рис.5. Зависимость статической толщины паштетного сырья от концентрации дисперсной системы: Δ - расчетная зависимость, \times - экспериментальная зависимость.

Fig.5. Dependence of the static thickness surface layer of fancy meats on the concentration of the dispersion system
 Δ - theoretical dependence
 \times - experimental dependence

Список литературы:

1. Тананайко Ю.М., Воронцов Е.Г. Методы расчета и исследования пленочных процессов. Киев, "Техника", 1975г.
2. Михайлов Н.В., Ребиндер П.А. - Колл.ж., 1955, т.17, №2, с.107.
3. Трапезников А.А. - В кн.: Успехи коллоидной химии. М., Наука, 1973, с.201.
4. Горбатов А.В. - Реология мясных и молочных продуктов, Москва, Пищевая пром., 1979г.
5. Ребиндер П.А. - В кн.: "Физико-хим. механика дисперсных структур", М., Наука, 1966, с.3.
6. Шульман Э.П., Байков В.И. - Реодинамика и теплообмен в пленочных течениях, Минск, "Наука и техника", 1979г.