

Реологические характеристики кулинарного жира «Сало растительное»

Канд. техн. наук Б.Л. НИКОЛАЕВ
СПбГУНиПТ

Rheological characteristics of a cooking fat «Vegetable fat» depending on velocity gradient and product temperature are presented in the article. The presented results of the investigations help to make trustworthy hydraulic and thermal calculations, including those on the determination of the value of hydraulic resistances during transportation of the product over the pipeline.

В настоящее время постоянно увеличивается объем выпуска жиросодержащих продуктов, при этом производство многих из них механизировано. Однако механизация процессов нередко осуществляется без учета реологических свойств изготавливаемых продуктов, что не позволяет достигать оптимальных конечных результатов.

В процессе производства кулинарного жира «Сало растительное» продукт подвергается охлаждению, перемешиванию, транспортированию по трубопроводам, нагнетанию, истечению через дозирующие устройства, перекачиванию насосами и другим видам обработки. При этом происходит разрушение дисперсной структуры, в результате чего структурно-механические свойства продукта претерпевают значительные изменения. Это оказывает существенное влияние на работу машин и аппаратов, их энергозатраты, интенсивность обработки продукта и на другие показатели работы оборудования.

Характерной особенностью кулинарного жира «Сало растительное» является то, что его реологические свойства зависят главным образом от двух параметров – температуры и градиента скорости. Среди основных реологических показателей – пластичности, вязкости, упругости, прочности – наиболее существенное влияние на тепловые и гидромеханические процессы при производстве этого продукта оказывают его вязкостные свойства.

Для проектирования и рациональной эксплуатации технологического оборудования, предназначенного для производства кулинарного жира «Сало растительное», необходимы сведения о зависимости касательных напряжений и эффективной вязкости от градиента скорости и температуры продукта.

Значительное число пищевых продуктов, в том числе и кулинарный жир «Сало растительное», относятся к структурированным системам, которые в определенных интервалах температур обладают свойствами псевдопластичной жидкости.

Характерной особенностью псевдопластичных

жидкостей является уменьшение их эффективной вязкости при возрастании градиента скорости, что объясняется упорядочением асимметричных молекул, которые располагаются по более длинной оси. При этом направление длинной оси совпадает с направлением потока жидкости, вследствие чего уменьшается напряжение сдвига, а следовательно, происходит уменьшение эффективной вязкости среды [2].

Для описания кривых течения продуктов, обладающих свойствами псевдопластичной жидкости, достаточно широко применяется реологическое уравнение Оствальда-де-Вале:

$$\tau = k\dot{\gamma}^m, \quad (1)$$

где τ – касательное напряжение, Па;

k – коэффициент Оствальда, Па·с;

$\dot{\gamma}$ – градиент скорости, с⁻¹;

m – показатель неньютоновского поведения.

В уравнении (1) константу k можно рассматривать как показатель консистенции. Нередко эту константу называют постоянной Оствальда, являющейся мерой вязкости жидкости. Константа m характеризует степень реологического отличия исследуемого продукта от ньютоновской жидкости. Для псевдопластичных жидкостей $m < 1$.

При логарифмировании выражения (1) получаем уравнение, из которого очевидно, что графическая зависимость в двойных логарифмических координатах $\lg(\tau) - \lg(\dot{\gamma})$ будет прямой линией. Это означает, что кривые течения, которые могут быть описаны степенным реологическим уравнением Оствальда-де-Вале, в двойных логарифмических координатах аппроксимируются прямыми линиями.

Степенным реологическим уравнением достаточно точно описываются отдельные участки кривой течения при изменении градиента скорости в пределах двух-трех декад [2].

Для определения реологических характеристик кулинарного жира «Сало растительное» использовали ротационный вискозиметр «Реотест RV».

Для каждого опыта брали новую порцию продукта и термостатировали ее в течение 20 мин, после чего измеряли вязкость исследуемого продукта при

возрастающих значениях частоты вращения цилиндра.

Для поддержания равномерной и постоянной температуры пробы наружный неподвижный цилиндр с темперирующим резервуаром соединяли с жидкостным циркуляционным термостатом. Температуру пробы поддерживали с точностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Порцию исследуемой пробы помещали в зазор между рабочими цилиндрами вискозиметра. При каждом значении температуры использовали новую порцию исследуемого продукта. Привод вискозиметра позволял устанавливать 24 различные скорости вращения цилиндра. В разных сериях опытов применяли цилиндры Н, S1 и S3, с помощью которых выполняли измерения вязкости и касательных напряжений в диапазоне градиента скорости от 0,17 до 1312 с⁻¹, а температуру исследуемого продукта изменяли от 17,6 до 50 °С.

В каждой серии опытов цилиндры подбирали согласно рекомендациям по обслуживанию вискозиметра с таким расчетом, чтобы градиентный слой распространялся на весь продукт, размещенный в кольцевом зазоре измерительного устройства вискозиметра.

Кроме того, находили толщину градиентного слоя по формуле [1]

$$\Delta r = 2\pi nR/\dot{\gamma}, \quad (2)$$

где Δr – толщина градиентного слоя, м;

n – частота вращения ротора, с⁻¹;

R – радиус ротора, м,

и сопоставляли ее с фактической величиной кольцевого зазора.

Погрешности измерений не превышали $\pm 4\%$.

Опыты считали корректными только в том случае, если толщина градиентного слоя, рассчитанная по формуле (2), была больше, чем толщина кольцевого зазора вискозиметра.

Графики зависимости касательного напряжения от градиента скорости сдвига для кулинарного жира «Сало растительное» представлены на рис. 1, графики зависимости эффективной вязкости от градиента скорости сдвига и температуры продукта – на рис. 2.

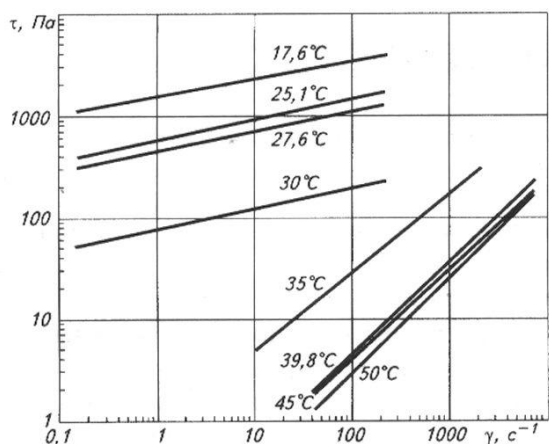


Рис. 1. Зависимость касательного напряжения кулинарного жира «Сало растительное» от температуры продукта и градиента скорости сдвига

Эти графические зависимости позволяют проанализировать влияние градиента скорости сдвига и температуры продукта на реологические характеристики кулинарного жира «Сало растительное».

Возрастание касательного напряжения (см. рис. 1) происходит при увеличении градиента скорости от $0,167$ до 1312 с^{-1} в интервале температур от $17,6$ до $50 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом если в области температур от $17,6$ до $30 \text{ }^\circ\text{C}$ касательные напряжения возрастают сравнительно незначительно, то в интервале температур от 35 до $50 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается значительный их рост с увеличением градиента скорости сдвига.

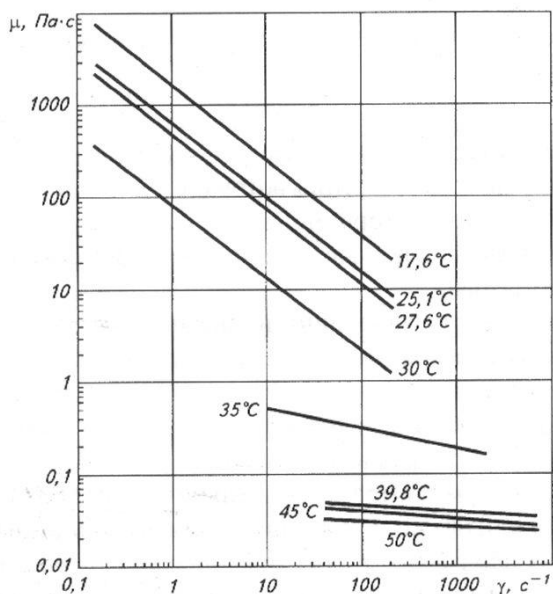


Рис. 2. Зависимость эффективной вязкости кулинарного жира «Сало растительное» от температуры продукта и градиента скорости сдвига

Уменьшение эффективной вязкости кулинарного жира «Сало растительное» (см. рис. 2) имеет место при увеличении градиента скорости сдвига от $0,167$ до 1312 с^{-1} и повышении температуры продукта от $17,6$ до $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Наиболее существенно уменьшение эффективной вязкости кулинарного жира «Сало растительное» в интервале температур от $17,6$ до $30 \text{ }^\circ\text{C}$, что обусловлено разрушением структуры продукта. При более высокой температуре ($35 \text{ }^\circ\text{C}$) структурная сетка продукта частично уже разрушена в результате начала плавления триглицеридов, и эффективная вязкость продукта в меньшей степени изменяется с увеличением градиента скорости сдвига. При температурах продукта в интервале от $39,8$ до $50 \text{ }^\circ\text{C}$ происходит массовое плавление триглицеридов, структурная сетка почти полностью разрушена и течение продукта приближается к течению ньютоновских жидкостей. В этом случае эффективная вязкость продукта весьма незначительно изменяется с возрастанием градиента скорости. Поэтому прямые вязкостно-скоростных характеристик кулинарного жира «Сало растительное» в интервале температур от $39,8$ до $50 \text{ }^\circ\text{C}$ на рис. 2 размещаются почти параллельно к оси абсцисс.

Выводы

Исследованы в широком диапазоне касательные напряжения и эффективная вязкость кулинарного жира «Сало растительное» в различных фазовых состояниях — застывшем, стадии плавления и расплавленном виде. При этом касательные напряжения изменялись от 9 до 1400 Па , а эффективная вязкость — от $0,03$ до $6800 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Таким образом, эксперименты проводили в таком интервале, который охватывает практически все возможные значения этих реологических характеристик в условиях производства.

Приведенные результаты исследований позволяют обоснованно осуществлять как тепловые, так и гидравлические расчеты, в том числе по определению величины гидравлических сопротивлений при транспортировке продукта по трубопроводу.

Список литературы

1. Белкин И.М., Виноградов Г.В., Леонов А.И. Ротационные приборы. — М.: Машиностроение, 1968.
2. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / Под ред. Ю.А. Мачихина. — М.: Агропромиздат, 1990.