

УДК 653.093

Исследование вязкостных характеристик и касательных напряжений сметаны с содержанием жира 10 %

Канд. техн. наук Б.Л. НИКОЛАЕВ

Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий

Experimental researches of rheology characteristics of a 10% fat sour cream are instanced at its various temperatures and in a wide range of changes of a velocity gradient. The received data allow is proved to carry out thermal and hydraulic calculations.

Определение оптимальных условий работы оборудования, применяемого для производства сметаны, а также транспортирование сырья по трубопроводам связано со знанием таких реологических характеристик сметаны, как касательное напряжение и эффективная вязкость.

Специфические особенности сметаны обусловлены тем, что она обладает аномалией вязкости. Для таких продуктов вводится понятие эффективной, или кажущейся, вязкости, при прочих равных условиях зависящей от двух параметров – градиента скорости и температуры. Эти параметры необходимо учитывать при расчете как теплового, так и механического оборудования, то есть в тех случаях, когда продукт в процессе производства перемешивается, нагревается, охлаждается, истекает через дозирующие устройства и транспортируется по трубопроводу.

Исследование реологических характеристик сметаны осуществлялось на ротационном коаксиальном вискозиметре марки «Реотест». Опыты проводили при температурах сметаны 12,2; 21,5; 32,1 и 40,2 °С и градиентах скорости в диапазоне 1,5...1312 с⁻¹. Температура исследуемой сметаны поддерживалась с точностью ±0,1 °С. Привод вискозиметра позволял устанавливать 24 различные частоты вращения цилиндра γ, или 24 скорости сдвига продукта. В зависимости от диапазона изменения эффективной вязкости сметаны и касательного напряжения использовали один из четырех роторов, входящих в комплект прибора.

До начала измерений проба сметаны термостатировалась в течение 20 мин при одной из указанных темпе-

ратур в термостатирующем сосуде, после чего проводили измерения касательного напряжения и эффективной вязкости исследуемого продукта при возрастающих значениях частоты вращения цилиндра. Равномерная и постоянная температура пробы в процессе замеров поддерживалась путем подачи в наружный цилиндр с темперирующим резервуаром жидкости из циркуляционного термостата. При этом проба продукта находилась в кольцевом зазоре между цилиндрами.

При каждой исследуемой температуре использовали новую порцию сметаны. Погрешность измерений при определении касательного напряжения и эффективной вязкости продукта не превышала ±4 %.

Исследуемый продукт изготовлен из нормализованных сливок, сухого молока и закваски. В 100 г продукта содержится 10 г жира, 3 г белков, 2,9 г углеводов. Энергетическая ценность 100 г продукта 115 ккал.

Результаты исследования касательных напряжений τ и эффективной вязкости μ сметаны с содержанием жира 10 % приведены в таблице.

Большой диапазон изменения скорости сдвига продукта – от 1,5 до 1312 с⁻¹ (более чем в 870 раз) – позволил определить исследуемые параметры практически для всех возможных случаев, имеющих место на практике. Поэтому полученные результаты можно использовать для целого ряда технологических операций при производстве сметаны, а именно для перемешивания продукта в емкостном оборудовании, гомогенизации, дозревания и истечения продукта через насадки, для движения продукта по трубопроводной системе.

Результаты исследования реологических характеристик сметаны с содержанием жира 10 %

Температура сметаны, °C	$\dot{\gamma}$, c^{-1}	τ , Па	μ , $\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\dot{\gamma}$, c^{-1}	τ , Па	μ , $\text{Pa}\cdot\text{s}$
12,2	1,5	9,045	6,027	72,9	36,16	0,496
	2,7	10,74	3,976	121,5	39,61	0,326
	4,5	11,87	2,637	218,7	53,14	0,243
	8,1	14,13	1,744	364,5	59,78	0,164
	13,5	16,96	1,256	656	67,57	0,103
	24,3	21,48	0,884	—	—	—
21,5	2,7	7,911	2,930	72,9	25,95	0,356
	4,5	9,040	2,009	121,5	30,50	0,251
	8,1	11,30	1,395	218,7	36,09	0,165
	13,5	13,55	1,004	364,5	41,92	0,115
	24,3	18,08	0,744	656	49,86	0,076
	40,5	21,47	0,530	1312	57,73	0,044
32,1	1,5	4,520	3,013	72,9	16,99	0,233
	2,7	5,651	2,093	121,5	19,20	0,158
	4,5	6,782	1,507	218,7	22,53	0,103
	8,1	7,914	0,977	364,5	25,88	0,071
	13,5	10,17	0,753	656,0	31,49	0,048
	24,3	12,44	0,512	729,0	32,81	0,045
40,2	40,5	14,70	0,363	1312	39,36	0,030
	218,7	10,28	0,047	729,0	14,58	0,020
	364,5	11,30	0,031	1312	18,37	0,014
	656,0	13,78	0,021	—	—	—

Выполненные исследования позволили выявить существенную зависимость эффективной вязкости и касательного напряжения от скорости сдвига продукта. Так, например, эффективная вязкость сметаны, имеющей температуру 32,1 °C, при возрастании скорости от 1,5 до 1312 c^{-1} уменьшается от 3,013 до 0,030 $\text{Pa}\cdot\text{s}$, то есть более чем в 100 раз.

Известно, что для сред с псевдопластичными свойствами, к которым относится и сметана, уменьшение эффективной вязкости продукта обусловлено разрушением его структуры [1,3], и чем меньше эффективная вязкость продукта, тем (при прочих равных условиях) сильнее разрушена его структура. По мере возрастания скорости асимметричные молекулы подвергаются упорядочению, располагаясь по более длинной оси в направлении потока. В результате снижается напряжение сдвига, а следовательно, и эффективная вязкость продукта. При больших значениях скорости процесс упорядочения практически прекращается [3]. Приводимые в таблице данные подтверждают это. Так, например, при скоростях 656 и 1312 c^{-1} эффективная вязкость сме-

таны незначительна, что можно объяснить существенным разрушением ее структуры.

Исследование реологических характеристик сметаны позволило установить зависимость касательных напряжений и эффективной вязкости также и от температуры продукта. Так, например, при одной и той же скорости, равной 656 c^{-1} , при возрастании температуры продукта от 12,2 до 40,2 °C эффективная вязкость сметаны уменьшается от 0,103 до 0,021 $\text{Pa}\cdot\text{s}$, то есть в 4,9 раза.

Таким образом, при различных расчетах оборудования и транспортирующих систем необходимо учитывать как величину градиента скорости, так и температуру обрабатываемого продукта.

Выводы

1. Исследования сметаны с содержанием жира 10 %, проведенные с помощью ротационного вискозиметра при изменении скорости сдвига от 1,5 до 1312 c^{-1} в интервале температур от 12,2 до 40,2 °C, позволили получить количественную оценку реологических параметров, что дает возможность обоснованно проводить тепловые и механические расчеты оборудования.

2. Приводимые результаты исследований имеют не только теоретическое, но и практическое значение. Как выявлено, при прочих равных условиях с возрастанием скорости уменьшается эффективная вязкость сметаны, а следовательно, происходит частичное разрушение структуры продукта. В результате этого возможно отделение сыворотки из сгустка, что нежелательно. Поэтому необходимо с особой тщательностью подходить к выбору частоты вращения перемешивающих устройств, так как при прочих равных условиях величина скорости сдвига прямо пропорциональна этой частоте.

Список литературы

- Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1979.
- Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. – Л.: Химия, 1975.
- Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др.; Под ред. А.В. Горбатова. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982.