

Методика прогнозирования консистенции мороженого при закаливании

Д-р техн. наук, проф. **В.Д.КОСОЙ,**
А.В.ЕГОРОВ
МГУПБ

Процесс закаливания многих видов мороженого происходит в интервале температур $-6...-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этом диапазоне температур консистенция мороженого, которую определяют такие характеристики, как крепость, мягкость, густота и сопротивление таянию, практически не изучена.

Для нахождения величины сопротивления мороженого таянию необходимо выявить зависимость консистенции от температуры.

В настоящее время в основном получила распространение сенсорная оценка консистенции, которую можно идентифицировать как эмпирическую характеристику деформационного поведения материала. Органолептическая оценка качества мороженого является базовой для сбора первоначальной информации, а также для установления корреляционных зависимостей ощущений, возникающих у потребителя, от количественных физических показателей, получаемых инструментально. Консистенция, определяемая инструментальным методом, может быть охарактеризована через реологические свойства продукта.

В [1] подробно рассмотрен инструментальный метод оценки консистенции мороженого с помощью полуавтоматического переносного малогабаритного динамометрического пенетрометра ППМ-4М. Метод основан на ручном внедрении индентора в продукт до достижения заранее заданного усилия сопротивления с фиксацией глубины его проникновения с помощью цифровой индикации. Методология определения консистенции мороженого по реологическим характеристикам представлена в [2].

Для разработки методики прогнозирования консистенции мороженого при температуре закаливания были проведены комплексные исследования, объектом которых выбраны ванильное, персиковое, кокосовое с ананасом без сахара мороженое, а также виноградный лед, апельсиновый шербет, выработанные фабрикой «Баскин Роббинс».

Поскольку мороженое является гетерогенной системой, состоящей из дисперсионной среды (смесь мороженого) и трех видов дисперсной фазы — жид-

As a result of experimental investigations a mathematical base for prediction and designing of new kinds of ice-cream with pre-determined chemical composition and consistency was established. Consistency of the ice-cream is evaluated by a rheological characteristic — a maximum shear stress. A chemical composition (moisture, fat, protein, carbohydrates) is evaluated by the complex index that we suggest.

кой/вязкопластичной, упругоэластичной и твердой, были использованы в исследованиях первые два вида дисперсной фазы. Дисперсную фазу добавляли в смесь мороженого в жидком/вязкопластичном состоянии (сиропы, концентраты, соки, пюре и т.д.).

Например, ванильное мороженое состоит из дисперсионной среды — белой смеси делюкс — и дисперсной фазы — ванильного экстракта; виноградный лед — соответственно из смеси лед/сорбент и виноградного концентрата; апельсиновый шербет — из смеси шербет и апельсиновое пюре.

Кроме жидкой и вязкопластичной дисперсной фазы в мороженое добавляют и упругоэластичную фазу в виде кусочков персика, ананаса, яблока и т.д., измельченных до размера в основном $5\times5\times5\text{ мм}$. К этому виду мороженого можно отнести персиковое и кокосовое с ананасом без сахара.

Персиковое мороженое состоит из дисперсионной среды — белой смеси делюкс — и смешанной дисперсной фазы: упругоэластичной — кусочков персика ($18\text{ кг}/100\text{ л}$) — и жидкой/вязкопластичной — персикового пюре ($6\text{ кг}/100\text{ л}$) и персиковой основы ($6\text{ кг}/100\text{ л}$).

Кокосовое мороженое с ананасом без сахара состоит из дисперсионной среды — белой низкожирной смеси без сахара — и дисперсной фазы — кусочков ананаса ($12\text{ кг}/100\text{ л}$), кокосового ($1,4\text{ л}$) и ананасового ($0,95\text{ л}$) ароматизаторов.

Химические и реологические показатели выбранных образцов мороженого приведены в табл. 1.

Консистенцию закаленного мороженого определяли по предельному напряжению сдвига — ПНС (пенетрационной прочности), измеряемому прибором ППМ-4М с коническим индентором (угол при вершине 10° , фиксированное усилие $0,5\text{ кг}$) при десятикратной повторяемости (табл. 2).

Математическая обработка экспериментальных данных позволила выявить вид зависимости изменения предельного напряжения сдвига θ_0 (Па) мороженого при температурах закаливания от -6 до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этом интервале температур кривые $\theta_0 = f(t)$ спрямляются в логарифмических шкалах (рис. 1) и имеют следующий вид:

$$\theta_0 = B_0(-t)^{m_0}, \quad (1)$$

где B_0 и m_0 — коэффициенты, зависящие от вида мороженого;

B_0 — условное предельное напряжение сдвига при температуре $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$;

m_0 — темп изменения предельного напряжения сдвига от температуры, т.е. тангенс угла наклона прямой $\theta_0 = f(t)$ в логарифмических шкалах.

Значения B_0 и m_0 для исследуемых образцов мороженого после математической обработки приведены в табл. 1.

Для того чтобы разработать единую методику прогнозирования консистенции мороженого, оцениваемую ПНС, необходимо в первую очередь выбрать

Таблица 1

Мороженое	$w \cdot 10^2$, кг/кг	$u \cdot 10^2$, кг/кг	$\sigma \cdot 10^2$, кг/кг	$\varphi \cdot 10^2$, кг/кг	$\gamma \cdot 10^2$, кг/кг	K_1	K_2	B_0	m_0
Шоколадное	55,5	2,198	12,3	11,6	20,6	1,875	1,060	136,0	1,923
Ванильное	61,1	1,570	10,9	12,0	16,0	2,190	1,359	117,6	1,952
Апельсиновый шербет	66,28	1,966	4,38	1,84	27,5	2,384	1,587	106,0	2,050
Виноградный лед	67,66	2,092	2,34	0	30,0	2,437	1,647	100,0	1,990
Кокосовое с ананасом без сахара	66,94	2,096	31,4	1,66	0	3,915	2,618	27,0	2,300
Персиковое	61,80	1,618	14,6	9,4	14,2	2,400	1,500	132,8	1,920

Примечание. Расшифровку значений w , u , σ , φ , γ , K_1 , K_2 , B_0 , m_0 см. в формулах (1)–(3), (6).

Таблица 2

Мороженое	Температура закаливания, °C											
	-30		-24		-18		-12		-8		-6	
	$h_{п.ср}$	$\theta_{0,ср}$ кПа	$h_{п.ср}$	$\theta_{0,ср}$ кПа	$h_{п.ср}$	$\theta_{0,ср}$ кПа	$h_{п.ср}$	$\theta_{0,ср}$ кПа	$h_{п.ср}$	$\theta_{0,ср}$ кПа	$h_{п.ср}$	$\theta_{0,ср}$ кПа
Шоколадное	71	99,2	91	60,4	118	35,9	177	16	258	7,5	341	4,3
Ванильное	76	86,6	95	55,4	126	31,5	182	15,1	271	6,8	358	3,9
Апельсиновый шербет	65	118,3	84	70,8	112	39,9	171	17	258	7,5	345	4,2
Виноградный лед	75	88,9	95	55,4	125	32	196	13	296	5,7	378	3,5
Кокосовое с ананасом без сахара	84	70,9	108	42,9	154	21	247	8,2	389	3,3	—	—
Периковое	75	88,9	90	61,7	125	32	178	15,8	265	7,1	349	4,1

$h_{п.ср}$ — среднее значение глубины пенетрации.

критерии или комплексный показатель, характеризующий влияние различных соотношений химического состава мороженого при минусовых температурах. Для смесей мороженого ранее был получен комплексный показатель $K_{с.м}$ химического состава при плюсовых температурах:

$$K_{с.м} = [(1 + \sigma)/(1 + \varphi + \gamma)] w^{-1}, \quad (2)$$

где σ , φ , γ , w — соответственно содержание белка, жира, углеводов и влаги в смеси мороженого, кг на 1 кг продукта (т.е. доли единицы).

Взяв за основу данный показатель, путем логического рассуждения о влиянии каждого химического компонента на консистенцию продукта эмпирически получили значение комплексного показателя химического состава мороженого после кристаллизации в нем влаги.

$$K_2 = [(1 + \sigma)/(1 + \varphi + \gamma)] u, \quad (3)$$

где u — содержание влаги в мороженом, кг на 1 кг абсолютно сухого вещества.

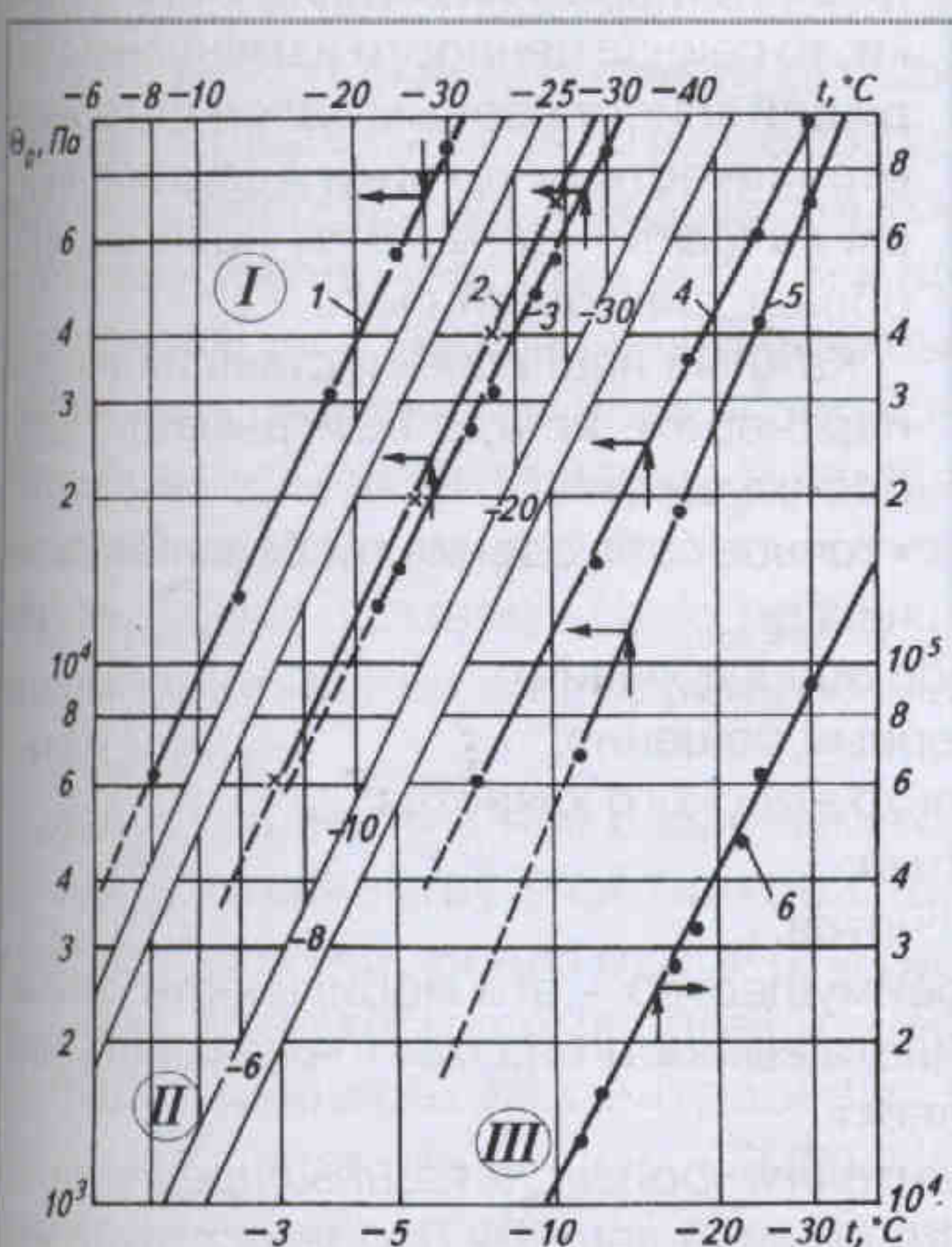


Рис. 1. Изменение предельного напряжения сдвига θ_0 мороженого от температуры закаливания t :

I — диапазон температур для виноградного льда 1; II — то же, для апельсинового шербета 2 и ванильного мороженого 3; III — то же, для шоколадного 4, кокосового с ананасом без сахара 5, перикового мороженого 6

Комплексный показатель мороженого K_2 отличается от комплексного показателя его смеси $K_{с.м}$ тем, что в первом случае [формула (3)] влага, выраженная через влагосодержание, входит в числитель, т.е. при минусовых температурах она кристаллизуется, увеличивая тем самым консистенцию мороженого, а во втором случае — в знаменатель [формула (2)], так как при температурах выше температуры кристаллизации влага уменьшает консистенцию.

Характер изменения коэффициентов B_0 и m_0 для различных видов мороженого в зависимости от комплексного показателя K_2 [формула (3)] представлен на рис. 2.

Математическая обработка соответствующих криволинейных графических зависимостей (кривые 3, 4) позволила получить следующие уравнения:

$$B_0 = 151,5 + 8,8 K_2 - 24,3 K_2^2; \quad (4a)$$

$$m_0 = 2,08 + 0,156 K_2^2 - 0,306 K_2. \quad (4б)$$

Внесение в дисперсионную систему мороженого дисперсной фазы в виде упругоэластичной добавки (кусочки персика, ананаса и т.д.) изменяют значение коэффициентов в уравнении (4).

Обобщенное уравнение для расчета ПНС однородного, гомогенного, а также с упругоэластичными добавками мороженого при температурах закаливания $-6...-30$ °C имеет следующий вид:

$$\theta_0 = [(151,5 + 8,8 K_2 - 24,3 K_2^2) + 175 C_{у.э.}] \times (-t)^{(2,08 + 0,156 K_2^2 - 0,306 K_2) - 0,45 C_{у.э.}}, \quad (5)$$

где $C_{у.э.}$ — содержание упругоэластичной добавки в виде кусочков персика, ананаса, яблока размером $5 \times 5 \times 5$ мм (в долях единицы).

Для упрощения уравнения (5) был рассмотрен преобразованный комплексный показатель химического состава мороженого при $-6...-30$ °C следующего вида:

$$K_1 = [(1 + \sigma)/(1 + \varphi)] [(1 + u)/(1 + \gamma)]. \quad (6)$$

Рассчитанный по формуле (6) показатель K_1 для различных видов мороженого приведен в табл. 1.

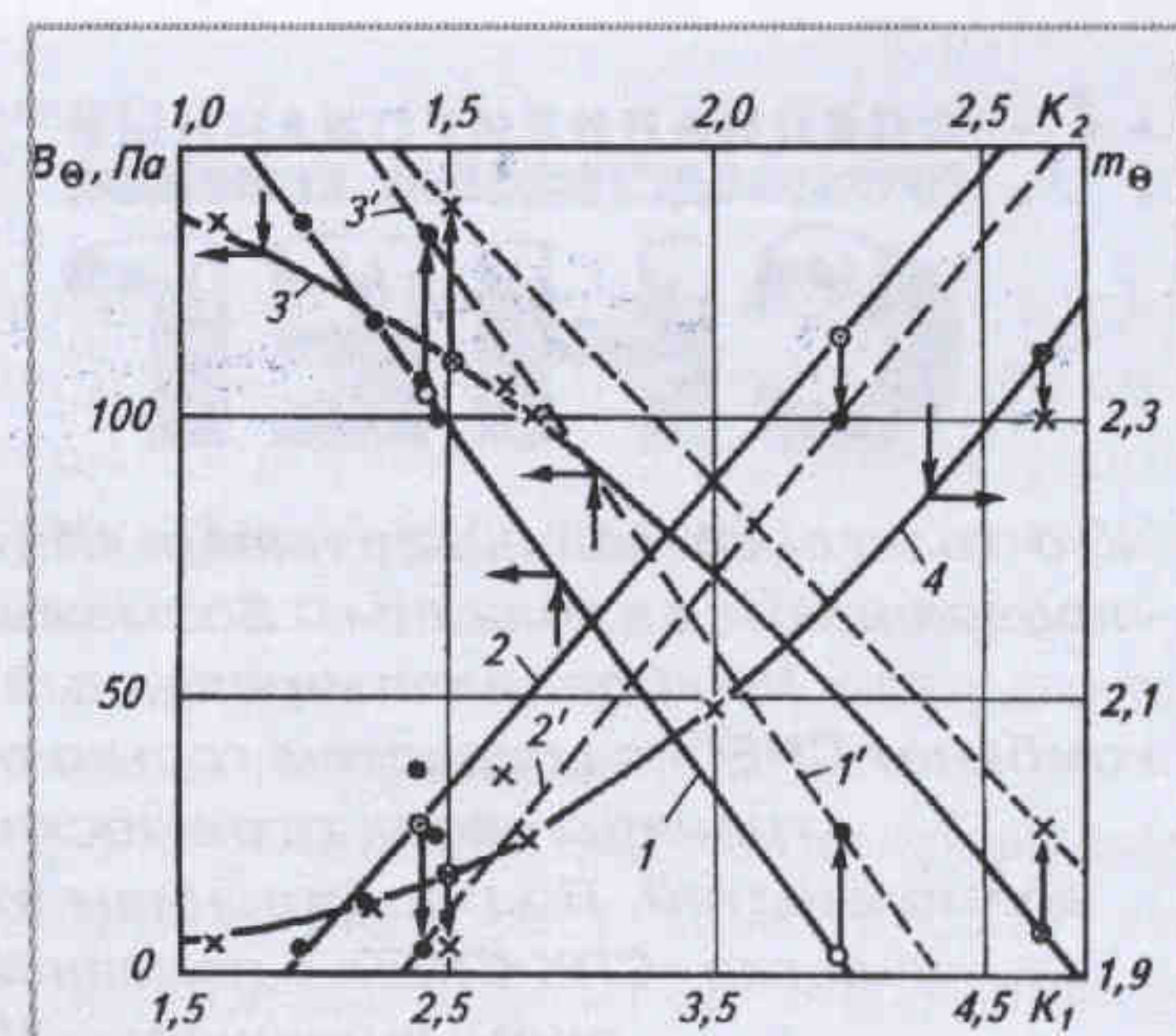


Рис. 2. Зависимость B_0 при температуре $t = -1$ °C и изменения m_0 от комплексных показателей химического состава:

1, 1' — $B_0 = f(K_1)$; 2, 2' — $m_0 = f(K_1)$; 3, 3' — $B_0 = f(K_2)$; 4 — $m_0 = f(K_2)$; 1, 2, 3, 4 — для однородного гомогенного мороженого; 1', 2', 3' — для мороженого с дисперсной фазой в виде упругоэластичной добавки

Зависимость B_0 и m_0 от показателя K_1 характеризуют прямые 1 и 2 (см. рис. 2), обработка которых позволила получить следующую обобщенную зависимость для определения ПНС мороженого:

$$\theta_0 = [(262 - 66 K_1) + 220 C_{у.э.}] \times (-t)^{1,48 + 0,224 K_1 - 0,69 C_{у.э.}}. \quad (7)$$

Мороженое шоколадное, ванильное, периковое и кокосовое с ананасом без сахара имеет степень взбитости 100 %.

Проведенные специальные исследования влияния степени взбитости C (%) на консистенцию перечисленных видов мороженого фирмы «Баскин Роббинс» при температурах закаливания $-6...-30$ °C позволили установить, что скорость изменения ПНС m_0 от C практически остается постоянной, а B_0 является переменной величиной и подчиняется следующей зависимости:

$$B_0^* = B_0 [1,4/(C - 76) + 0,942], \quad (8)$$

где B_0^* — предельное напряжение сдвига мороженого при степени взбитости от 80 до 120 %.

Полученные математические уравнения позволяют прогнозировать консистенцию мороженого при температуре закаливания по реологическим характеристикам в зависимости от химического состава, температуры и степени взбитости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Егоров А.В., Косой В.Д. Инструментальный метод оценки консистенции мороженого // Молочная промышленность. 2001. № 6.
- Егоров А.В., Косой В.Д. Определение консистенции мороженого по реологическим характеристикам // Молочная промышленность. 2001. № 10.