



А.Н. МЕЩЕРЯКОВ, В.Н. МАСЛАКОВ
ООО «ФАБС Инжиниринг»

Замораживание продуктов как в воздушных, так и в плиточных скороморозильных аппаратах широко распространено. Какому виду оборудования отдать предпочтение в конкретном случае? Какова эффективность аппаратов с технической и экономической точек зрения? Чтобы ответить на поставленные вопросы, проведем сравнительный анализ воздушных и плиточных скороморозильных аппаратов.

Время замораживания. Этот показатель является наиболее важным, определяющим качество замораживаемой продукции. Оно зависит от ее теплофизических свойств, начальной, конечной температур и геометрической формы, температуры и скорости воздуха в камере при воздушном замораживании, температуры поверхности испарителя при контактном замораживании.

Известно, что интенсивность теплопередачи будет тем выше, чем больше разность температур на поверхности и в толще продукта. Поэтому чем ниже температура поверхности, тем выше скорость замораживания.

При замораживании в плиточном аппарате температура на поверхности продукта близка к температуре кипения хладагента, так как происходит непосредственный контакт испарителя с замораживаемым продуктом, а плиты и упаковочные формы изготовлены из алюминиевых сплавов с высоким коэффициентом теплопроводности.

При воздушном замораживании для охлаждения продукта используется промежуточный теплоноситель – воздух, который охлаждает

Сравнительный анализ воздушных и плиточных скороморозильных аппаратов

ся в испарителе. Температура воздуха на выходе из испарителя выше температуры кипения на 5...6 °C (рис. 1).

Температура поверхности продукта во время замораживания медленно снижается и в конце процесса она выше температуры воздуха на 5...10 °C. Существующая разность температур между хладагентом и поверхностью продукта приводит к необходимости снижения температуры кипения.

Сравним время замораживания в обоих скороморозильных аппаратах, используя для этого широко распространенную формулу Планка для бесконечной пластины:

$$\tau = \frac{L_f}{T_f - T_{\text{возд}}} \cdot \left(\frac{\delta}{2\alpha} + \frac{\delta^2}{8\lambda} \right),$$

где τ – время замораживания; L_f – удельная объемная разность энталпий;

T_f – криоскопическая температура;

$T_{\text{возд}}$ – температура воздуха;

δ – толщина пластины;

α – коэффициент теплоотдачи;

λ – коэффициент теплопроводности.

Эту формулу можно применять для расчета времени замораживания блоков, толщина которых значительно меньше ширины и длины. Представим эту формулу в виде суммы двух слагаемых:

$$\tau = \left(\frac{L_f}{T_f - T_{\text{возд}}} \cdot \frac{\delta^2}{8\lambda} \right) + \left(\frac{L_f}{T_f - T_{\text{возд}}} \cdot \frac{\delta}{2\alpha} \right) = \tau_\lambda + \tau_\alpha,$$

где τ_λ – время, за которое температура в толще продукта достигает

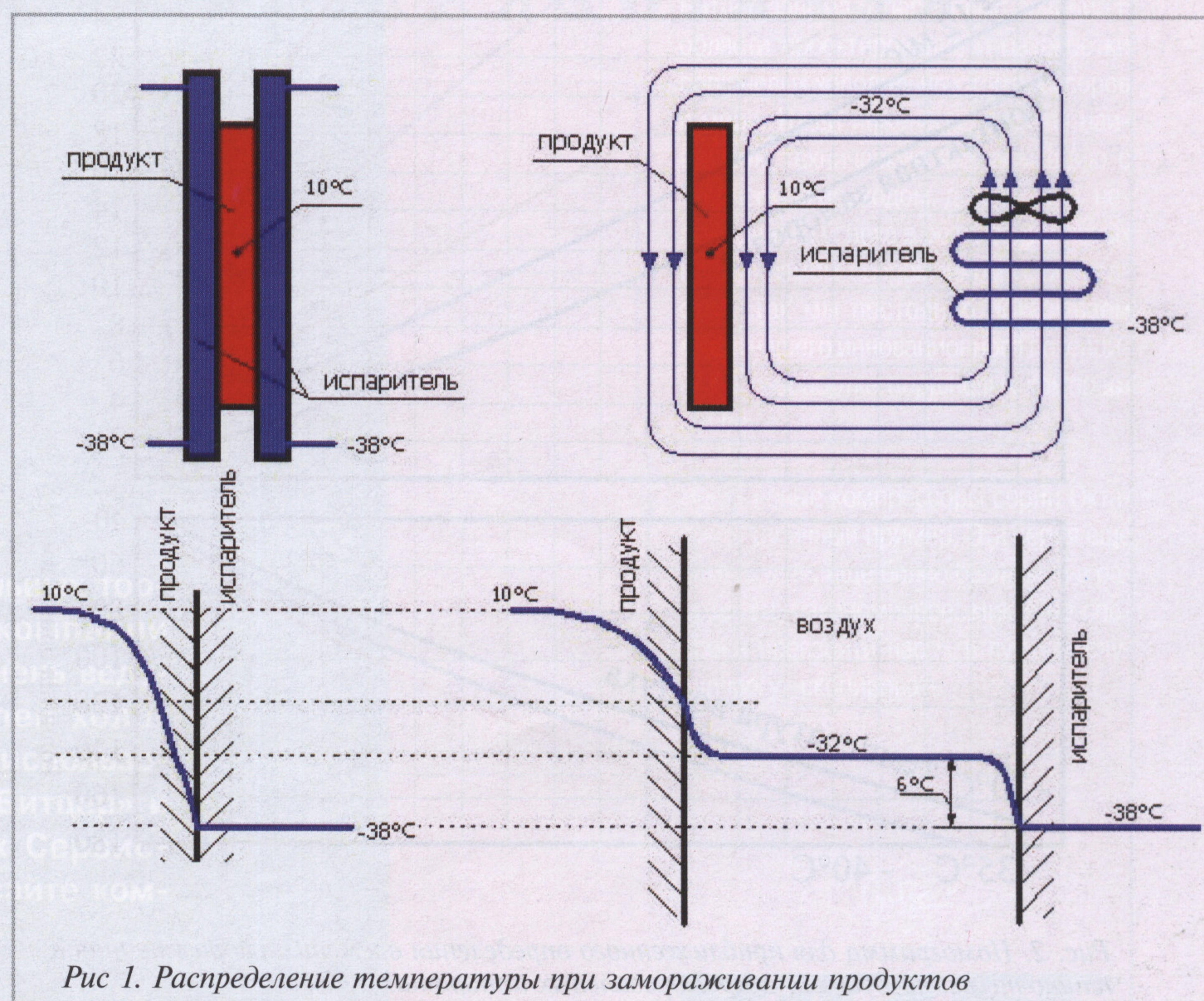
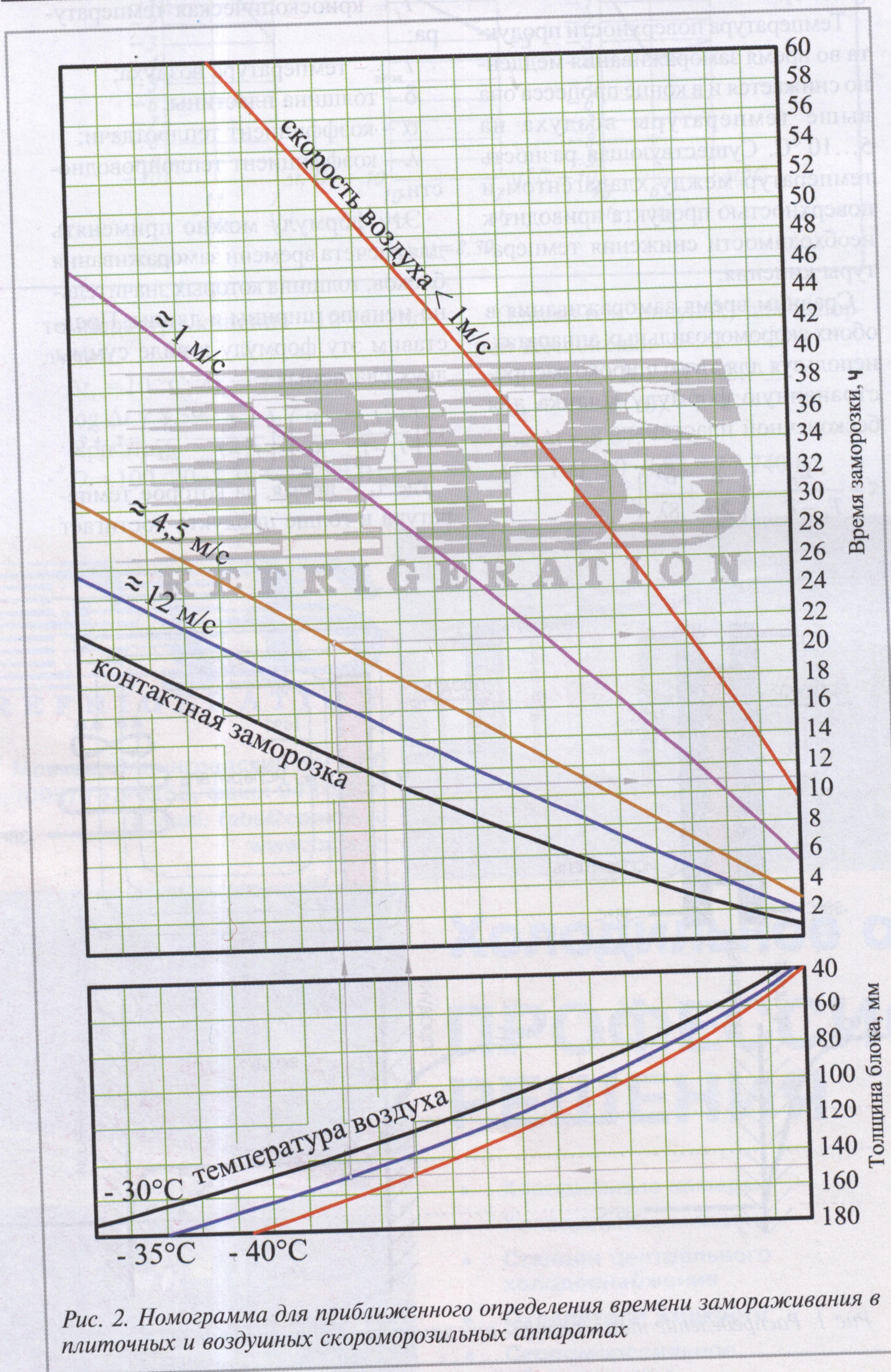


Рис. 1. Распределение температуры при замораживании продуктов

Время воздушного замораживания в зависимости от толщины блока и коэффициента теплоотдачи продукта (в сравнении с контактным замораживанием)

α , Вт/(м ² · К)	Относительное время воздушного замораживания при толщине блока δ , мм				
	50	75	100	125	150
10	9,00	6,33	5,00	4,20	3,67
20	5,00	3,67	3,00	2,60	2,33
30	3,67	2,78	2,33	2,07	1,89
40	3,00	2,33	2,00	1,80	1,67
50	2,60	2,07	1,80	1,64	1,53



конечной величины (за счет теплопроводящих свойств продукта);

τ_α – время, за которое теплота отводится от продукта за счет вынужденной конвекции холодного воздуха.

В плиточных аппаратах время замораживания определяется только одним слагаемым τ_λ . Следовательно, при воздушном охлаждении это вре-

мя больше в $\left(1 + \frac{4\lambda}{\alpha\delta}\right)$ раз. Если время контактного замораживания условно принять за единицу, то время воздушного замораживания в зависимости от толщины и коэффициента теплоотдачи можно определить по таблице.

Данные, приведенные в таблице, были получены при $\lambda = 1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Для большинства продуктов коэффициент теплопроводности лежит в пределах 0,5...1,5 Вт/(м·К).

Высокие коэффициенты теплоотдачи α соответствуют высоким скоростям воздуха, которые обычно не превышают 5 м/с. Но увеличение скорости воздуха приводит к значительной усушке продукта, к более интенсивному обмерзанию испарителя, что требует применения мощных вентиляторов.

Неравномерность скоростей и температуры воздуха над поверхностью продуктов вызывает переохлаждение одних и недоохлаждение других продуктов. Для устранения этого недостатка приходится увеличивать свободное пространство между блоками, усложнять систему циркуляции воздуха и т.д.

Кроме того, при воздушном замораживании продукты, как правило, пакуют в картонную тару. Так как картон является теплоизоляционным материалом, время замораживания увеличивается.

На рис. 2 представлена номограмма, по которой в первом приближении можно оценить время замораживания для плиточных и воздушных скороморозильных аппаратов.

Продолжение следует