

Vergleichseinschätzung der Fleischabkühlungs- und Gefrierungsverfahren

N.I.TSCHUMAK und S.N.ROGOWAJA

Odessker technologisches Institut für Kälteindustrie, Odessa, UdSSR

Fleischabkühlungs- und Gefrierungsverfahren wird nach der Analyse der Kapital- und Betriebsausgaben, der Energie- und Lebensmittelverlustkosten vom Eintrocknen durchgeführt. Die größte Schwierigkeit in den Berechnungen besteht in der Lebensmittelverluste vom Eintrocknen von ΔG in den verschieden-artigen Abkühlungs- und Gefrierungsverfahren. Auf der Grundlage der einzigen theoretischen Einschätzung zur Bestimmung von ΔG , die auf der Analyse der Wärmeefeuchtigkeitsvorgänge gegründet ist, sind verallgemeinerte Charakteristiken zur Lebensmittelabkühlung und Gefrierung und auch eine einzige Gleichung zur Bestimmung von ΔG erhalten.

Vergleich der in der Literatur gegebenen Versuchsdaten im Lebensmitteleintrocknen im Prozeß der Kühlbearbeitung mit den Berechnungsdaten nach den vorgeschlagenen theoretischen Abhängigkeiten zeigte eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Es wird ein Verfahren der Berechnung von ΔG der ungerpackten Lebensmitteln nach den Thermogrammen des Vorganges vorgeschlagen, die versuchswege erhalten sind.

Auf der Grundlage der Analyse der Vorgänge des Wärme- und Massenaustausches ist die früher bestimmte Behauptung bestätigt, daß für verschiedene Fleischkühlverfahren beim gleichen Wärmeabführungsverfahren das kleinste Eintrocknen der Lebensmittelmasse dort wird, wo die intensivere Lebensmittelabkühlung im Vorgangsbeginn gesichert wird. Zusätzlich ist die Möglichkeit einer weiteren Verminderung von ΔG auf Rechnung der Einwirkung auf den Massenaustausch in bestimmten Zeitpunkten im Abkühlungs- und Gefrierungsprozeß bewiesen. Auf der Grundlage der technisch-ökonomischen Einschätzung der Abkühlungs- und Gefrierungsmittel, die mittels der vorgeschlagenen Theorie durchgeführt war, ist die Zweckmäßigkeit der Einführung einiger Veränderungen in die Organisation der Wärmeabführung vom Fleisch gezeigt, um ΔG der Lebensmitteln zu vermindern und die Systemausnutzung zu vereinfachen.

Auf der Grundlage der eingeführten Verbesserungen in das Regime der Kältebearbeitung wird das wirtschaftlichste Verfahren der Abkühlung und Gefrierung im Energieverbrauch und natürlichen Lebensmittelverluste im Eintrocknen empfohlen.

Comparative estimation of methods of cooling and freezing meat

N.I.CHOOMAK and S.N.ROGOVAYA

The Odessa Technological Institute of the Refrigerating, Odessa, USSR

Technical-economical grounds of ways of cooling and freezing meat are given on the basis of the analysis of capital and operation expenses, cost of power and that of product shrinkage. The determination of product shrinkage (ΔG) in different methods of cooling and freezing which exist now is the most difficult item of calculations.

Generalized characteristics for cooling and freezing food products, as well as a general equation for the determination of ΔG are obtained on the basis of general theoretical approach to the determination of ΔG based on the analysis of heat- and humidity processes. The comparison of experimental data available in special literature which concern food products shrinkage during cold treatment with calculated ones obtained with the suggested theoretical relationships showed good agreement of results.

A method of determining ΔG of nonpacked products by means of thermograms of the process obtained experimentally is proposed.

The analysis of the heat-and-mass exchange processes allows to formulate a statement formulated before that for different methods of cooling meat which have the same way of heat removal, the shrinkage of the food product mass will be the lowest when more intense cooling of the product is provided in the beginning of the process. Moreover the possibility of further decrease of ΔG is proved, the latter is achieved by affecting the mass exchange at certain periods of time during cooling and freezing.

On the basis of technical-economical estimation of ways of cooling and freezing carried out with the help of the suggested.

Theory it is shown that the introduction of some changes in the arrangement of heat removal from meat is reasonable as it will decrease ΔG of products, simplify the operation of systems.

The introduction of corrections in conditions of cold treatment gives the ground to recommend the most economic way of cooling and freezing according to power expenses and product shrinkage.

Апрéciation comparative des méthodes de refroidissement et de congélation de la viande

N.I.TCHOUMAK et S.N.ROGOVAYA

Institut technologique de recherches scientifiques du Froid, Odessa, URSS

Les arguments Technico-économiques des méthodes de refroidissement et de congélation de la viande sont faits selon l'analyse des dépenses capitales et d'exploitation, le coût de l'énergie électrique et le coût des pertes des produits alimentaires causées par le séchage.

La définition des pertes des denrées faites par le séchage (ΔG) dans les méthodes différentes de refroidissement et de congélation souffre la plus grande difficulté dans les calculs.

Selon une méthode théorique universelle de la détermination ΔG fondée a l'analyse des processus thermo-humides on a reçu des caractéristiques générales pour le refroidissement et la congélation des denrées alimentaires et même une équation universelle pour la définition ΔG .

Une bonne analogie des résultats a montré la comparaison des données expérimentales existées dans la littérature technique sur le séchage des produits pendant le processus du traitement frigorifique.

On propose une méthode de calculation ΔG des produits non emballés d'après les thermogrammes du processus obtenues de l'expériment.

Selon une analyse des processus d'échange thermique de masse on a confirmé une thèse proposée au paravant c'est que pour les méthodes différentes de congélation de la viande ayant le même mode de dérivation de la chaleur le moindre séchage de la masse des denrées aura lieu là où il y a le plus intensif refroidissement des produits au début du processus. De plus on a prouvé la possibilité de diminution ultérieure de ΔG par l'influence sur l'échange de masse aux moments fixés au cours de processus de refroidissement et de congélation. Selon l'appréciation technico-économique des modes de refroidissement et de congélation, faite à l'aide de la théorie proposée on a prouvé la valeur de l'introduction de certains modifications dans l'organisation de la dérivation de la chaleur de la viande pour diminuer ΔG des produits et simplifier l'exploitation des systèmes.

On recommande le mode le plus économique de refroidissement et de congélation selon les dépenses de l'énergie et les pertes naturelles des denrées par le séchage.

Сравнительная оценка методов охлаждения и замораживания мяса

Н.И.ЧУМАК, С.Н.РОГОВАЯ

Одесский технологический институт холодильной промышленности, г.Одесса, СССР

Технико-экономическое обоснование способов охлаждения и замораживания мяса проводится по анализу капитальных и эксплуатационных затрат, стоимости энергии и стоимости потерь продуктов от усушки.

Наибольшее затруднение в расчетах вызывает определение потерь продуктов от усушки (ΔG) в разнообразных существующих методах охлаждения и замораживания.

На основании единого теоретического подхода к определению ΔG , основанного на анализе тепловлажностных процессов, получены обобщенные характеристики для охлаждения и замораживания пищевых продуктов, а также единое уравнение для определения ΔG .

Сопоставление экспериментальных данных, имеющихся в литературе, по усушке пищевых продуктов в процессе холодильной обработки с расчетными по предлагаемому теоретическим зависимостям показало хорошую сходимость результатов.

Предложен метод вычисления ΔG неупакованных продуктов по термограммам процесса, полученным из эксперимента.

На основании анализа процессов тепло- и массообмена подтверждено ранее установленное положение, что для разных методов охлаждения мяса, имеющих одинаковый способ тепла, наименьшая усушка массы пищевых продуктов будет там, где обеспечивается более интенсивное охлаждение продукта в начале процесса. Дополнительно к этому доказана возможность дальнейшего уменьшения ΔG за счет влияния на массообмен в определенные моменты времени в процессе охлаждения и замораживания.

На основании технико-экономической оценки способов охлаждения и замораживания, выполненной с помощью предложенной теории, показана целесообразность введения некоторых изменений в организацию отвода тепла от мяса с тем, чтобы уменьшить ΔG продуктов, упростить эксплуатацию систем.

На основании введенных коррективов в режимы холодильной обработки рекомендуется наиболее экономичный способ охлаждения и замораживания по затрате энергии и естественным потерям продуктов от усушки.

К сравнительной оценке методов охлаждения и замораживания мяса

Н.И. ЧУМАК, С.Н. РОГОВАЯ

Одесский технологический институт холодильной промышленности, Одесса, СССР

Наиболее перспективной может явиться сравнительная оценка методов холодильной обработки мяса, основанная на сопоставлении величины естественных потерь продукта от усушки (ΔG) и величины затрачиваемой энергии (N). При этом затруднения вызывает определение ΔG /1,2,4/. Это объясняется тем, что существующие многочисленные способы определения величины усушки аналитическим путем не отражают физики протекания нестационарных процессов массообмена.

Для решения вопроса нами на основании тепловлажностной характеристики процесса холодильной обработки продуктов и введения в него осредняющего коэффициента $\varepsilon\delta$ получены уравнения для определения естественной убыли мяса при охлаждении и замораживании:

$$\begin{aligned} \text{охлаждение} \quad \Delta G &= \frac{0,8 Q_{\text{общ.}} \varepsilon\delta}{\xi (\tau - t_w)} \quad , \quad (1) & \text{замораживание} \quad \Delta G &= \frac{Q_{\text{общ.}} (1 - \frac{1}{\xi}) \varepsilon\delta}{\tau - t_w} \quad , \quad (2) \\ \Delta G &= \frac{Q_{\text{общ.}} (1 - \frac{1}{\xi_{\text{max}}}) \Delta t_{\text{ср}} \varepsilon\delta}{\Delta t_{\text{max}} (\tau - t_w)} \quad (3) \end{aligned}$$

В уравнения входят следующие величины:

ξ и ξ_{max} — соответственно коэффициент влагоотдачи средний за процесс и максимальный, характерный для начального момента времени;

$\varepsilon\delta$ — осредненный коэффициент, равный $\frac{Q_{\text{max}} Q_{\text{ср}}}{\Delta G_{\text{max}} \Delta G_{\text{ср}}}$ и учитывающий степень отклонения тепловых и массообменных процессов от средних значений

$$\Delta t_{\text{max}} = t_{\text{нов}}^H - \bar{t}_K, \quad \Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{нов}}^H + t_{\text{нов}}^K}{2} - \bar{t}_K;$$

$t_{\text{нов}}^H, t_{\text{нов}}^K$ — соответственно температура поверхности продукта в начальный и конечный периоды, °С;

$Q_{\text{общ.}}$ — общий тепловой поток, Вт.

Для определения погрешности при нахождении ΔG , согласно зависимостям 1 и 3, расчеты, проведенные по рекомендуемым формулам, сравнивались с экспериментальными данными Г.Лорентце-на, С.Росвика, С.Г. Чуклина, В.Яспара, А.П.Шеффера.

Предлагаемые формулы просты по своей структуре и позволяют с достаточной точностью до $\pm 15\%$ проводить расчеты усушки в процессе холодильной обработки продукта.

Количественная характеристика величины естественных потерь продукта от усушки позволяет лишь косвенно оценить эффективность процесса. Для полного качественного сравнения необходимо располагать данными, определяющими расход электроэнергии за процесс.

Введем понятие — энергетическая эффективность процесса $\vartheta = \frac{G - \Delta G}{N}$, где G — количество продукта, поступающего на холодильную обработку, а N — расход электроэнергии на охлаждение (замораживание) массы продукта G .

Путем несложных преобразований уравнения 1 — 3 можно представить в обобщенном виде

$$\vartheta = \frac{G}{N} - A \frac{K_e}{\xi}, \quad (4)$$

где K_e — холодильный коэффициент;

A — коэффициент, равный соответственно для процесса охлаждения и замораживания:

$$A_{\text{охл}} = 2,82 \cdot 10^{-4};$$

$$A_{\text{зам}} = 1,54 \cdot 10^{-4} (1 - \bar{\xi}).$$

При существующих и прогнозируемых методах интенсификации холодильной обработки продукта следует стремиться к повышению величины ΔG .

Рост величины ΔG за счет сокращения ΔG ограничен самим характером изменения усушки и в пределе, когда $\Delta G \rightarrow 0$, числитель соотношения левой части уравнения (4) становится равным массе продукта, поступающего на обработку холодом. Следует иметь в виду, что по мере уменьшения величины ΔG темп изменения её значительно снижается. Но при этом растет мощность, затрачиваемая в цикле холодильной машины на выработку холода.

На примере уравнения I проведем анализ величин, входящих в уравнение, и оценим роль каждой в снижении величины ΔG .

Как видно из формулы, переменными величинами, обуславливающими качественную оценку естественных потерь от усушки, являются $(\alpha - \alpha_w)$, ξ , $Q_{обл}$. Использование в основных уравнениях (I + 3) среднего значения величины $(\alpha - \alpha_w)$, равного 2862 Дж/кг, как показали расчеты, приводит к увеличению (уменьшению) относительной ошибки при определении ΔG в пределах $\pm 2\%$.

С точки зрения осуществления влияния на величину ΔG и выбора экономически целесообразного режима холодильной обработки мяса, наибольший интерес представляет коэффициент влагоотдачи ξ .

На рис. I показано изменение коэффициента влагоотдачи со стороны продукта (ξ_s) и со стороны камерного оборудования (ξ_d) в зависимости от температуры воздуха камеры. Графическая интерпретация $\xi_s = f(\bar{t}_k)$ и $\xi_d = f(\bar{t}_k)$ построена на основании опытных данных отечественных и зарубежных ученых. Темп изменения коэффициента влагоотдачи $m_\xi = \frac{\Delta \xi}{\Delta \bar{t}_k}$ в исследуемом диапазоне температур $+4 \div -35^\circ$ имеет различную интенсивность:

$$+4 > \bar{t}_k > -8^\circ \quad m_\xi = 0,045 \text{ I/}^\circ\text{C} \quad (5)$$

$$-8 > \bar{t}_k > -20^\circ \quad m_\xi = 0,0245 \text{ I/}^\circ\text{C} \quad (6)$$

$$-20 > \bar{t}_k > -35^\circ \quad m_\xi = 0,031 \text{ I/}^\circ\text{C} \quad (7)$$

Это позволяет уже в первом приближении рекомендовать рациональный режим охлаждения мяса в диапазоне температур воздуха $-8 > \bar{t}_k > -20^\circ$.

Участки кривых $\xi_s = f(\bar{t}_k)$ и $\xi_d = f(\bar{t}_k)$ (рис. I) можно представить в форме эмпирических зависимостей 8+10 (табл. I), позволяющих получить ряд модификаций для оценки количественной эффективности примененного метода обработки.

Коэ

Таблица I Table 1

№ формул Equation N°	Диапазон изменения темпера- туры воз- духа каме- ры, $^\circ\text{C}$ Range of temperatu- re measure- ment of the air	Эмпирическая зависимость функции Empirical relation of the function		Примечание Note
		$\xi_s = a \bar{t}_k + b$	$\xi_d = a_1 \bar{t}_k + b_1$	
8	$+4 \div -8^\circ$	$\xi_s = 0,048 \bar{t}_k + 2,23$	$\xi_d = 0,037 \bar{t}_k + 1,61$	$\xi_s / \xi_d = 1,4$
9	$-8 \div -20^\circ$	$\xi_s = 0,021 \bar{t}_k + 2,0$	$\xi_d = 0,016 \bar{t}_k + 1,43$	$\xi_s / \xi_d = 1,41$
10	$-20 \div -25^\circ$	$\xi_s = 0,036 \bar{t}_k + 2,3$	$\xi_d = 0,00576 \bar{t}_k + 1,43$	

Коэффициент влаговыпадения является функцией $\bar{t}_k$ и $\bar{t}_s$ и $\bar{t}_s$ — температуры поверхности продукта. Величина $\bar{t}_s$ зависит от ряда факторов, в том числе и от средних параметров воздуха, т.е. от применяемого в данном конкретном случае метода холодильной обработки. В свою очередь $\bar{t}_s$ обуславливает временную характеристику процесса. На рис. 2 представлена зависимость $\bar{t}_s = f(\tau)$ по данным [4].

Как видно из рисунка, существует равновесная температура поверхности продукта, обусловленная $\bar{t}_k, G$. Чем ниже температура воздуха в камере или меньше масса продукта, тем раньше наступает равновесная температура поверхности.

Следовательно, чтобы уменьшить величину ΔG , следует форсировать момент наступления равновесной температуры продукта ($\bar{t}_s$) и затем вести процесс при постоянной $\bar{t}_s$.

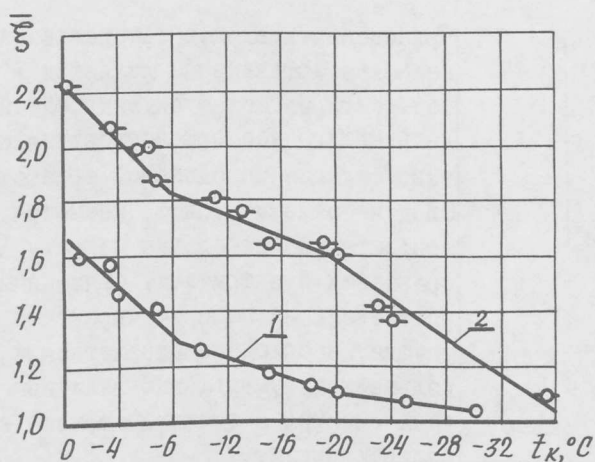


Рис.1 Зависимости: $\xi_\delta = f(\bar{t}_k)$ - кривая 1 и $\xi_\varepsilon = f(\bar{t}_k)$ - кривая 2.

Fig.1. Relations $\xi_\delta = f(\bar{t}_k)$ - Curve 1 and $\xi_\varepsilon = f(\bar{t}_k)$ - Curve 2

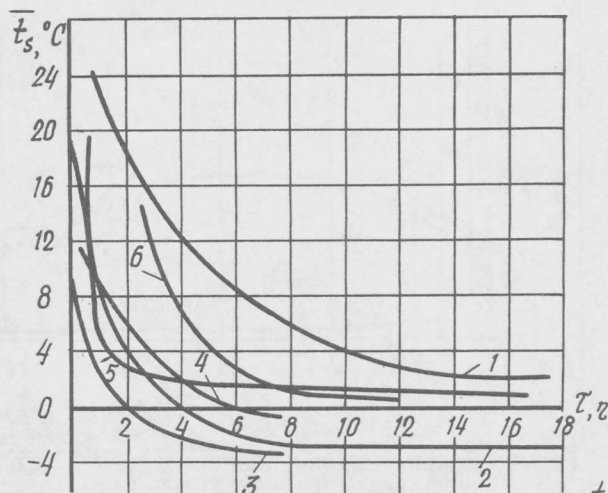


Рис.2 Изменение температуры поверхности t_s в процессе охлаждения мяса по данным [5].

Fig.2. Surface temperature changes (t_s) during meat chilling

- Кр.1 $G = 73$ кг; $\bar{t}_k = -3,2^\circ\text{C}$; $w = 3,0$ м/с;
 Кр.2 $G = 73$ кг; $\bar{t}_k = -6,4^\circ\text{C}$; $w = 3,0$ м/с;
 Кр.3 $G = 47$ кг; $\bar{t}_k = -8,5^\circ\text{C}$; $w = 2,1$ м/с;
 Кр.4 $G = 100$ кг; $\bar{t}_k = -5,7^\circ\text{C}$; $w = 1,9$ м/с;
 Кр.5 $G = 52$ кг; $\bar{t}_k = -5,3^\circ\text{C}$; $w = 1,3$ м/с;
 Кр.6 $G = 72$ кг; $\bar{t}_k = -5,5^\circ\text{C}$; $w = 1,0$ м/с.

Целесообразным является также использование одновременно на первой стадии обработки продукта приборов камерного оборудования, обеспечивающих конвективно-радиационный отвод тепла. Согласно данным проф. Н.А. Герасимова, доля радиационного теплового потока составляет от 25 до 30% суммарного. В этом случае при экономически наиболее выгодном ступенчатом режиме охлаждения обеспечение конвективно-радиационного отвода тепла позволит снизить усушку на I стадии процесса в 2,1 раза.

Одновременно с оценкой величины ΔG и факторов, обеспечивающих ее снижение, рассмотрим закономерность изменения величины N .

Как известно, расход мощности на I т обрабатываемой продукции в результате интенсификации, например, за счет понижения температуры испарения, имеет тенденцию увеличиваться, хотя затрачиваемая N на процесс может при этом не только увеличиваться, но и уменьшаться. Это зависит от количественной и качественной характеристики интенсифицирующего фактора и обусловленной им продолжительности процесса. Сказанное иллюстрирует кривая рис.3.

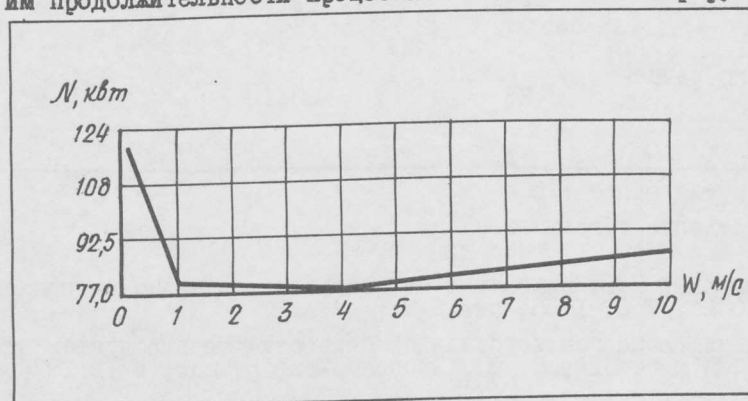


Рис.3 Зависимость величины энергетических затрат в процессе замораживания мяса при постоянной температуре испарения и переменной скорости движения воздуха.

Fig.3. Energy consumption during meat freezing at the constant temperature of evaporation and variable rate of air movement

Как видно из рисунка, увеличение подвижности среды выше 4-5 м/с при постоянной температуре t_0 вызывает увеличение расхода электроэнергии на процесс холодильной обработки. Это подтверждают данные, полученные в работе [3] при исследовании влияния интенсификации процессов охлаждения и замораживания мяса на энергетические показатели.

В результате стоимостного соотношения затрат за процесс по двум основным определяющим характеристикам ΔG и N за счет интенсификации может перераспределяться (рис.4).

В качестве примера рассмотрены различные режимы (табл.2) процесса замораживания. Как видно из рисунка, среди

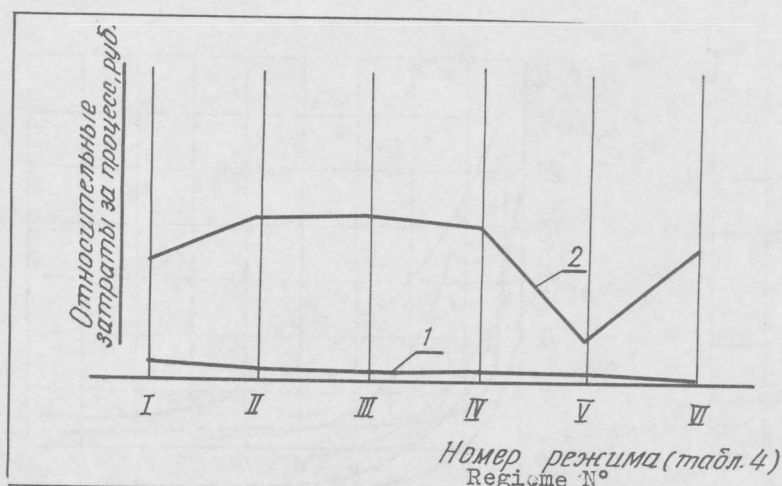


Рис. 4 Сравнительная оценка затрат в процессе замораживания при различных технологических параметрах (табл. 2): кривая 1 – затраты на электроэнергию, кривая 2 – затраты на естественную убыль продукта от усушки
Comparative evaluation of expenses during freezing at different technological parameters (Table 2):

Приведенных методов замораживания наиболее эффективным является У метод, который может служить базой для дальнейшего усовершенствования и интенсификации холодильной обработки. Следует отметить, что, несмотря на относительно небольшие затраты S_z в сравнении с затратами, связанными с естественными потерями продукта от усушки, необходимо стремиться к дальнейшему уменьшению величины S_z , т.к. энергия в отличие от мяса не воспроизводима.

Curve 1 – electricity, Curve 2 – natural shrinkage

Таблица 2
Table 2

№ пп	Основная характеристика процесса замораживания /3/ The basic characteristics of freezing process (3)	Температура испарения, °C Evaporation temperature, °C	Расход электрической мощности на 1 т мяса, кВт Electricity consumption/t meat, Kwatt	Величина естественных потерь продукта от усушки с 1 т мяса, кг Natural shrinkage per t of meat, kg
1	2	3	4	5
1.	Однофазное, $\bar{t}_k = -30^\circ\text{C}$, распределение воздуха через щели ложного потолка Single-phase, air distribution through slits in the false ceiling	-40	56,41	11,6
2.	Однофазное, $\bar{t}_k = -26,6^\circ\text{C}$, распределение воздуха методом воздушного душирования Single-phase, air distribution by air showering	-36,6	53,3	15,7
3.	Однофазное, $\bar{t}_k = -26,6^\circ\text{C}$, естественная конвекция Single-stage, natural convection	-36,6	53,0	15,7
4.	Однофазное, $\bar{t}_k = -25,8^\circ\text{C}$, потолочные воздухоохладители Single-phase, ceiling air-coolers	-35,8	51,7	15,6
5.	Однофазное, $\bar{t}_k = -35^\circ\text{C}$ распределение воздуха методом воздушного душирования Single-phase, air distribution by air showering	-45	62,9	4,6
6.	Однофазное, $\bar{t}_k = -23^\circ\text{C}$ конвективно-радиационное охлаждение Single-phase, convection-radiation chilling	-33	33,1	12,9

Л и т е р а т у р а

1. Андре Гак и Жан-Пьер Тупан. Охлаждение говяжьего мяса.
2. Головкин Н.А., Шаган О.В., Алямовский И.Г. Изменение естественных потерь мяса при охлаждении. "Мясная индустрия СССР", № 6, 1955, стр. 6–8.
3. Ефимов А.В. Влияние интенсификации процессов холодильной обработки мясопродуктов на энергетические затраты. ЦНИИ ТЭИ мясомолпром, М., Экспресс-информация, № 12, 1976, стр. 13–19.
4. Шеффер А.П., Саатчан А.К., Кончаков Г.Д. Интенсификация охлаждения, замораживания и размораживания мяса. М., Изд. "Пищевая промышленность", 1972.
5. Шеффер А.П., Рютон Д.Г. Снижение потерь мяса при его охлаждении, замораживании и хранении. Симпозиум МИХЛ, 1971, стр. 20–25.