

## ИССЛЕДОВАНИЕ ШТУЧНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ В ПРОЦЕССЕ ВАКУМНОЙ ЗАМОРОЗКИ

Кириллова А.В.

В статье приведены результаты аналитического исследования процесса вакуумной заморозки пищевых полуфабрикатов. К преимуществам такого способа можно отнести: продолжительность процесса замораживания и значительное снижение энергозатрат. Приведенные способы устранения недостатков метода, а именно, снижение усушки продукта, позволяют повысить актуальность данной темы.

**Ключевые слова:** технология, вакуумная заморозка, вакуумирование.

### Введение

На сегодняшний день наиболее актуальна тема вакуумной заморозки пищевых продуктов, так как этот способ является наиболее экономичным и экологически безопасным. Ещё в конце прошлого века наряду с экологическими проблемами появилась тенденция поиска холодильных установок, не приносящих вреда окружающей среде. С точки зрения безопасности наиболее оптимальными оказались природные рабочие вещества: водные растворы солей и вода. Данные вещества не позволяют использовать для сжатия их паров холодильные компрессоры, главным образом являясь положительными движущими силами в вакууме [1,2].

В настоящее время существует множество разработок вакуумных морозильных и холодильных машин с использованием воды в качестве хладагента и хладоносителя [3]. Стоит заметить, что при этом скорость технологических процессов (охлаждение, замораживание) остается неизменной. Однако ускорить данные процессы можно с помощью испаряющейся воды, находящейся внутри охлаждаемого продукта. В результате такого непосредственного контакта хладагента и продукта достигается высокая скорость охлаждения (замораживания) пищевых продуктов [4].

Цель работы заключалась в исследовании штучных полуфабрикатов в процессе вакуумной заморозки.

### Объекты и методы исследований

Изучали способ вакуумного двухстадийного замораживания штучных пищевых полуфабрикатов.

### Результаты и их обсуждение

Установили преимущества и недостатки способа вакуумной заморозки; определили зависимость внешних факторов, позволяющих снизить усушку продукта.

К преимуществам вакуумной заморозки мож-

но отнести: продолжительности процесса замораживания и значительное снижение энергозатрат. К недостаткам - снижение усушки продукта.

Процесс замораживания полуфабрикатов под вакуумом можно описать следующие образом. Давление насыщенных паров воды во всем объеме замораживаемого продукта в результате вакуумирования становится неравновесным, т. е. меньше того, которое установилось бы при фактической температуре изделия. Но при  $t = \text{const}$  продукта пони-

зить давление получится только на небольшой отрезок времени, по истечении которого оно вновь вернется к исходному значению за счет испарения свободной влаги. Таким образом можно объяснить процессы установления равновесия системы вода - пар по диаграмме ее состояния.

Стоит заметить, что в нашем случае постоянство температуры продукта ничем не поддерживается, поэтому испарение воды осуществляется с отводом тепловой энергии от изделия, тем самым вызывая его замораживание. Меньшей температуре изделия соответствует меньшее давление насыщенных паров. Поэтому по мере откачивания паров из вакуумной камеры все время происходит нарушение равновесия между фактическим давлением водяных паров и давлением их насыщенных паров, таким образом, испарение воды с поверхности продукта приводит к его замораживанию. Когда в центре продукта достигается заданная температура, вакуумирование прекращают, замороженный продукт вынимают, упаковывают и помещают для хранения в холодильник.

Для решения исходной задачи введены следующие условия. В герметичной вакуумной камере находится продукт с начальной температурой  $t_n$ ,

влажностью  $W$  и удельной ной теплоемкостью  $c_n$

. На его поверхность наморожен ледяной слой массой  $m_{л.с.}$ , теплота сублимации которого равна  $\Gamma_{суб}$

. Исходная масса продукта  $m_n$  занимает часть гер-

метичной полости, паровое пространство которой подвергается динамическому вакуумированию с понижением давления от  $P_H$  (парциальное давление паров при температуре продукта  $t_H$ ) до  $P_n$  (парциальное давление насыщенных паров в вакуумной камере).

Количество тепла  $Q_1$ , которое отдает продукт в процессе его замораживания от начальной температуры  $t_H$  до конечной температуры  $t_K$ , составит (в Дж):

$$Q_1 = m_n [c_n (t_H - t_K) + W \cdot r_3], \quad (1)$$

где  $c_n$  - удельная теплоемкость продукта, Дж/(кг·К);

$m_n$  - масса исходного продукта, кг;

$t_H$  и  $t_K$  начальная и конечная температуры продукта, К;

$W$  - влажность исходного продукта;

$r_3$  - удельная теплота затвердевания, для воды 335 кДж/кг.

Количество тепла  $Q_2$ , которое поглощается при фазовом переходе в процессе сублимации ледя-

ного слоя с поверхности продукта, выразим через произведение массы ледяного слоя  $m_{л.с.}$ , испаряющегося при остаточном давлении в вакуумной камере  $P_K$  за время  $\tau$ , на среднюю теплоту сублимации льда  $r_{суб}$  в интервале от  $t_H$  до  $t_K$ . Для этого введем поправочный коэффициент пропорциональности  $\alpha$ , который будет заменять величины  $P_K$  и  $\tau$  (в Дж):

$$Q_2 = r_{суб} \cdot m_{л.с.} \cdot (P_H - P_K) \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \tau, \quad (2)$$

где  $r_{суб}$  - средняя теплота сублимации льда в интервале от  $t_H$  до  $t_K$ , кДж/кг·°С;

$m_{л.с.}$  - масса ледяного слоя, намораживаемого на продукт, кг;

$P_H$  - парциальное давление паров при температуре продукта  $t_H$ , Па;

$P_K$  - парциальное давление насыщенных паров в вакуумной камере, Па;

$\alpha$  - введенный нами поправочный коэффициент пропорциональности, Па·ч.

$\tau$  - продолжительность процесса, ч.

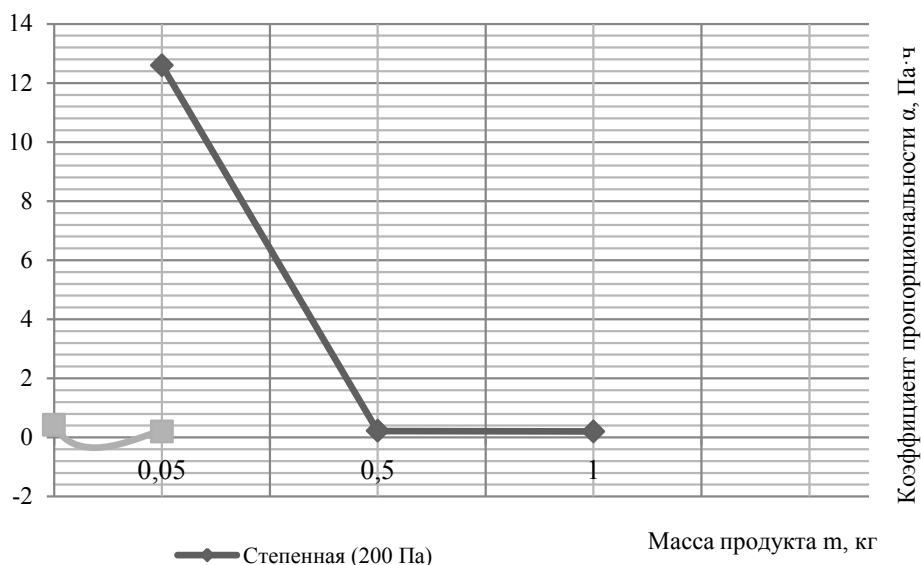


Рис. 1. Графики зависимости поправочного коэффициента пропорциональности  $\alpha$  от массы замораживаемого продукта  $m_n$  при остаточном давлении в вакуумной камере 200 и 400 Па.

В условиях фазового перехода оптимальную массу ледяного слоя в формуле (2) можно представить следующим образом:

$$m_{\text{л.с.}} = V_{\text{пара}} \cdot \rho_{\text{пара}} = V_{\text{в.к.}} \cdot \rho_{\text{пара}} \quad (3)$$

где  $V_{\text{пара}}$  - объем насыщенных водяных паров, м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{пара}}$  - плотность насыщенных водяных паров, кг/м<sup>3</sup>; принимаем  $\rho_{\text{пара}} = \text{const}$  ;

$V_{\text{в.к.}}$  - объем вакуумной камеры, м<sup>3</sup>.

Тогда, приравняв значения  $Q_1$  и  $Q_2$ , получим

$$\begin{aligned} m_{\text{п}} [c_{\text{п}} (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}) + W \cdot r_3] = \\ = \gamma_{\text{суб}} \cdot V_{\text{в.к.}} \cdot \rho_{\text{пара}} (P_{\text{н}} - P_{\text{к}}) \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \tau \end{aligned} \quad (4)$$

#### Список литературы

- [1] Данилин, Б. С. Основы конструирования вакуумных систем / Б. С. Данилин, В. Е. Минайчев; под ред. Р. А. Нилендера. – М.: Энергия, 1971. – 392 с.
- [2] Пипко, А. И. Основы вакуумной техники / А. И. Пипко, В. Я. Плисковский, Б. И. Королев. – 2\_е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 306с.
- [3] Розанов, Л. Н. Вакуумная техника: учебник / Л. Н. Розанов. – 3\_е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2007. – 391 с.
- [4] Курочкин А.А., Фролов Д.И., Воронина П.К. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4 (32). С. 172–177.

## STUDY OF PIECE SEMI-FINISHED PRODUCTS IN THE PROCESS OF VACUUM FREEZE

*Kirillova A.V.*

The article presents the results of an analytical study of the process of vacuum freezing of food products. The advantages of this method include: the duration of the freezing process and a significant reduction in energy consumption. The above methods of eliminating the disadvantages are increasing the relevance of this topic.

**Keywords:** *technology, vacuum freezing, vaccuming.*

#### References

- [1] Danilin B. S., Minaichev V. E. Basic design of vacuum systems [Vacuum Technology]. Moscow, Energy, 1971. 392 p.
- [2] Pipko, I. A., Pliskovsky V. Ya., Korolev I. B. Basics of vacuum technology [Vacuum Technology]. Moscow, Energoizdat, 1981. – 306 p.
- [3] Rozanov, L. N.. Vacuum Technology [Vacuum Technology]. Moscow, Higher school, 2007. – 391 p.
- [4] Kurochkin A.A., Frolov D.I., Voronina P.K. Opredelenie osnovnykh parametrov vakuumnoi kamery modernizirovannogo ekstrudera // Vestnik Ul'yansovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2015. № 4 (32). Pp. 172–177.