

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАКУУМА В ПРОЦЕССЕ ЗАМОРОЗКИ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Пчелинцева О.Н., Бочкарева З.А.

В данной статье сконструированы условия для решения выделенной задачи и приведены результаты аналитического исследования процесса вакуумной заморозки пищевых полуфабрикатов. Предоставляются выводы, вытекающие из проведенных расчетов по поставленной задаче. Предлагается решение, позволяющее снизить продолжительность замораживания продукта под вакуумом.

**Ключевые слова:** давление, вакуум, заморозка, охлаждение, штучные полуфабрикаты.

### Введение

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. 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.

К преимуществам вакуумной заморозки можно отнести: уменьшение процесса замораживания и значительное снижение энергозатрат. К недостаткам – усушка продукта.

Сегодня ведутся исследования по устранению данного недостатка на примере вакуумного двухстадийного замораживания штучных пищевых полуфабрикатов.

Процесс замораживания полуфабрикатов под вакуумом можно описать следующим 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 понизить 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 [3, 4].

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 [5]. 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 [6, 7]. Когда в центре продукта достигается заданная температура, вакуумирование прекращают, замороженный продукт вынимают, упаковывают и помещают для хранения в холодильник.

**Целью** работы является исследование процесса заморозки полуфабрикатов с помощью вакуума.

### Объекты и методы исследований

Для решения исходной задачи введены следующие условия: в герметичной вакуумной камере находится продукт с начальной температурой  $t_n$ , влажностью  $W$  и удельной теплоемкостью  $c_n$ . На его поверхность наморожен ледяной слой массой  $m_{л.с.}$ , теплота сублимации которого равна  $r_{суб}$ . Исходная масса продукта  $m_n$  занимает часть герметичной полости, паровое пространство которой подвергается динамическому вакуумированию с понижением давления от  $P_n$  (парциальное давление паров при температуре продукта  $t_n$ ) до  $P_n$  (парциальное давление насыщенных паров в вакуумной камере). [8, 9]

### Результаты и их обсуждение

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

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

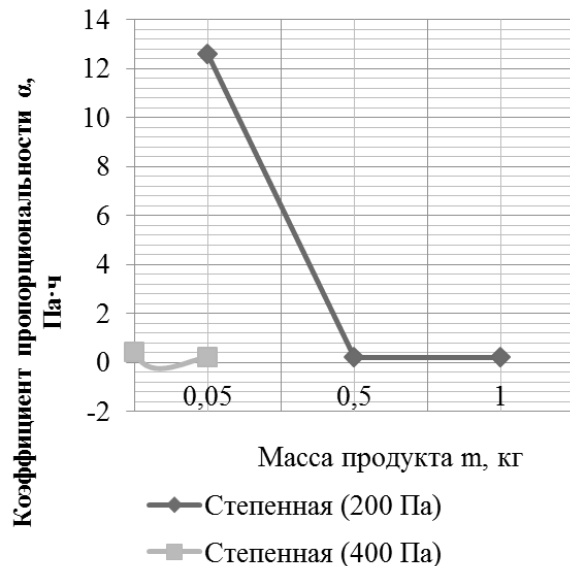


Рис. 1. Графики зависимости поправочного коэффициента пропорциональности от массы замораживаемого продукта при остаточном давлении в вакуумной камере 200 и 400 Па

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

$m_n$  – масса исходного продукта, кг;

$t_n$  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 ледяного 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  $t_n$  до  $t_k$ . Для этого введем поправочный коэффициент пропорциональности  $\alpha$ , который будет заменять величины  $P_k$  и  $\tau$  (в Дж)

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

где  $r_{суб}$  – средняя теплота сублимации льда

в интервале от  $t_n$  до  $t_k$ , кДж/кг;

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

$P_n$  – парциальное давление паров при температуре продукта  $t_n$ , Па;

$P_k$  – парциальное давление насыщенных паров в вакуумной камере, Па;

$\alpha$  – введенный нами поправочный

коэффициент пропорциональности, Па·ч.

$\tau$  – продолжительность процесса, ч.

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

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

где  $V_{пара}$  – объем насыщенных водяных паров,

м<sup>3</sup>;

$\rho_{пара}$  – плотность насыщенных водяных паров,

кг/м<sup>3</sup>; принимаем  $\rho_{пара} = const$ ;

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

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

$$m_n [c_n (t_n - t_k) + W \cdot r_3] = r_{суб} \cdot V_{в.к.} \cdot \rho_{пара} \cdot (P_n - P_k) \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \tau, \quad (4)$$

Откуда следует продолжительность процесса замораживания в вакууме  $\tau$  (ч)

$$\tau = \frac{\alpha \cdot m_n [c_n (t_n - t_k) + W \cdot r_3]}{r_{суб} \cdot V_{в.к.} \cdot \rho_{пара} (P_n - P_k)}, \quad (5)$$

На рисунке 1 отображены графики зависимости поправочного коэффициента пропорциональности  $\alpha$  от массы замораживаемого продукта при остаточном давлении в вакуумной камере.

### Выводы

В целом можно прийти к выводу, что продолжительность процесса вакуумной заморозки пищевых полуфабрикатов возрастает с увеличением его массы, влажности, удельной теплоемкости; начальной и конечной температур продукта; объема вакуумной камеры и остаточного давления. Чтобы снизить продолжительность замораживания продукта под вакуумом, необходимо понизить величину остаточного давления в вакуумной камере.

### Список литературы

- [1] Пчелинцева О. Н. Инновационные процессы и технологии в пищевых производствах О. Н. Пчелинцева, Е. А. Сарафанкина, Д. О. Полежаев // Состояние и перспективы развития современной науки: Социально-экономические, естественнонаучные исследования: сб. мат.– Пенза, Международная научно-практическая конференция, 2016.– С. 149–155.
- [2] Пчелинцева О. Н. Процессы воздухоочистки на пищевых производствах, О. Н. Пчелинцева, Е. А. Сарафанкина, К. В. Левцов // Состояние и перспективы развития современной науки: Социально-экономические, естественнонаучные исследования: сб. мат.– Пенза, Международная научно-практическая конференция, 2016.– С. 145–149.
- [3] Бочкарева З. А. Моделирование критериальной оценки биологической ценности мясных рецептурных композиций З. А. Бочкарева, О. Н. Пчелинцева // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сб. мат.– VIII Международная научно-практическая конференция, 2012.– С. 20–22.
- [4] Шленская Т. В. Использование продукта экструзионной обработки пшеничных отрубей при производстве мясных рубленых изделий / Т. В. Шленская, З. А. Бочкарева // Пищевая промышленность.– 2006.– № 6.– С. 64.
- [5] Куткина М. Н. Шкафы «шоковой» заморозки/ М. Н. Куткина, С. А. Елисеева, Д. В. Смирнов // Питание и общество.-2007.-№ 7.– С. 24–25.
- [6] Елисеева С. А. Регенерация быстрозамороженной кулинарной продукции/ С. А. Елисеева, М. Н. Куткина, Н. Я. Карцева, Е. Л. Иванов: Сборник научных трудов. Региональные вопросы развития технологии продуктов и организация общественного питания.– СПб.: СПб ТЭИ, 2007.– С. 25–29.
- [7] Стеле, Р. Сроки годности пищевых продуктов: расчет и испытание / Под ред. Р. Стеле. Пер. с англ. В. Широкова. Под общей ред. Ю. Г. Базарновой. СПб: Профессия.– 2006.– 500с.

## THE STUDY OF THE VACUUM FREEZING PROCESS SEMI-FINISHED PRODUCTS

*Pchelinceva O.N., Bochkareva Z.A.*

---

In this article, the conditions for the solution of the selected problem are designed and the results of the analytical study of the process of vacuum freezing of food semi-finished products are presented. Are the conclusions resulting from the carried out calculations for the task at hand. A solution is proposed to reduce the duration of freezing the product under vacuum.

*Keywords: pressure, vacuum, freezing, cooling, piece semi-finished products.*

---

### References

- [1] Pchelintseva O. N. Innovatsionnye protsessy i tekhnologii v pishchevykh proizvodstvakh O. N. Pchelintseva, E. A. Sarafankina, D. O. Polezhaev // Sostoyanie i perspektivy razvitiya sovremennoi nauki: Sotsial'no-ekonomicheskie, estestvennonauchnye issledovaniya: sb. mat.– Penza, Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, 2016.– pp. 149–155.
- [2] Pchelintseva O. N. Protsessy vozdukhoochistki na pishchevykh proizvodstvakh, O. N. Pchelintseva, E. A. Sarafankina, K. V. Levtsov // Sostoyanie i perspektivy razvitiya sovremennoi nauki: Sotsial'no-ekonomicheskie, estestvennonauchnye issledovaniya: sb. mat.– Penza, Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, 2016.– pp. 145–149.
- [3] Bochkareva Z. A. Modelirovanie kriterial'noi otsenki biologicheskoi tsennosti myasnykh retsepturnykh kompozitsii Z. A. Bochkareva, O. N. Pchelintseva // Agropromyshlenni kompleks: sostoyanie, problemy, perspektivy: sb. mat.– VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, 2012.– pp. 20–22.
- [4] Shlenskaya T. V. Ispol'zovanie produkta ekstruzionnoi obrabotki pshenichnykh otrubei pri proizvodstve myasnykh rublenykh izdelii / T. V. Shlenskaya, Z. A. Bochkareva // Pishchevaya promyshlennost'.– 2006.– № 6.– p. 64.
- [5] Kutkina M. N. Shkafy «shokovoi» zamorozki/ M. N. Kutkina, S. A. Eliseeva, D. V. Smirnov // Pitanie i obshchestvo.-2007.-№ 7.– pp.24–25.
- [6] Eliseeva S. A. Regeneratsiya bystrozamorozhennoi kulinarnoi produktsii/ S. A. Eliseeva, M. N. Kutkina, N. Ya. Kartseva, E. L. Ivanov: Sbornik nauchnykh trudov. Regional'nye voprosy razvitiya tekhnologii produktov i organizatsiya obshchestvennogo pitaniya.– SPb.: SPb TEI, 2007.– pp.25–29.
- [7] Stele, R. Sroki godnosti pishchevykh produktov: raschet i ispytanie / Pod red. R. Stele. Per. s angl. V. Shirokova. Pod obshchei red. Yu. G. Bazarnovoi. SPb: Professiya.– 2006.– 500 p.