

УДК: 621.565.9: 621.571

## Система воздухораспределения низкотемпературной камеры с воздушной турбохолодильной машиной

Д-р техн. наук К. П. ВЕНГЕР<sup>1</sup>, канд. техн. наук И. А. КУЗЬМИНА<sup>2</sup>,  
канд. техн. наук В. А. СТЕФАНОВА<sup>3</sup>, канд. техн. наук О. А. ФЕСЬКОВ<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>temp11@mail.ru, <sup>2</sup>irinakuzmina2012@bk.ru, <sup>3</sup>victoriavass@mail.ru, <sup>4</sup>Feskov76@mail.ru  
Московский государственный университет пищевых производств  
125080, г. Москва, Волоколамское ш., 11

*Использование для оборудования быстрого замораживания пищевых продуктов воздушной турбохолодильной машины имеет такие главные преимущества, как одновременное получение низких температур и скорости потока, а также использование дешевого, экологически нейтрального атмосферного воздуха. На базе действующей низкотемпературной камеры с воздушной турбохолодильной машиной выполнены исследования и определены рациональные параметры процесса быстрого замораживания пищевых продуктов в широком интервале условий теплообмена, обеспечиваемых воздушной турбохолодильной машиной. Разработаны конструктивные решения двух туннельных скороморозильных аппаратов, на которые получены патенты РФ. Разработана конструкция низкотемпературной камеры на модульном принципе с системой воздухораспределения от детандера воздушной холодильной машины. Получены, на базе созданного модуля камеры и воздушной турбохолодильной машины, экспериментальные данные, представленные гистограммой, позволяющие оценить степень равномерности подачи воздушных струй при различных вариантах организации системы воздухораспределения.*

*Результаты исследований доказали работоспособность и эффективность предложенного и заявленного в полученном патенте воздухораспределительного устройства низкотемпературной камеры с системой хладоснабжения от воздушной турбохолодильной машины.*

**Ключевые слова:** воздух, низкотемпературная камера, быстрое замораживание, система воздухораспределения, турбохолодильная машина, скороморозильный аппарат, модульный принцип.

### Air distribution system in refrigeration chamber with air turbo refrigeration machine

D. Sc. K. P. VENGER<sup>1</sup>, Ph. D. I. A. KUZMINA<sup>2</sup>,  
Ph. D. V. A. STEFANOVA<sup>3</sup>, Ph. D. O. A. FESKOV<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>temp11@mail.ru, <sup>2</sup>irinakuzmina2012@bk.ru,  
<sup>3</sup>victoriavass@mail.ru, <sup>4</sup>Feskov76@mail.ru  
Moscow National University of Food Production  
125080, Russia, Moscow, Volokolamskoe highway 11

*Using equipment for fast food freezing air turbo-refrigerating machine has major advantages such as the simultaneous production of low temperature and flow rate, as well as the use of cheap, environmentally neutral air. On the basis of the existing low-temperature chamber with air turbo-refrigerating machine performed research and rational parameters defined process of quick-freezing of food products in a wide range of heat transfer conditions provided air turbo-refrigerating machine. The design constructive solution of two tunnel freezers for which the patents of the Russian Federation. The design of low-temperature chamber on a modular principle with air distribution system from the expander air turbo-refrigerating machine.*

*Obtained, based on the established module of the chamber and air turbo-refrigerating machine, the experimental data presented histogram to assess the degree of uniformity of supply air jets with different variants of organization of the system of air distribution. Results of studies have proven efficiency and effectiveness of the proposed and claimed in the patent obtained low-temperature air distribution device chamber with a cooling system from air turbo-refrigerating machine.*

**Keywords:** air, low temperature freezer, quick-freezing, air distribution system, Turbo-refrigerating machine, freezers, modular approach.

В настоящее время большая часть оборудования для замораживания пищевых продуктов работает на базе парокompрессионных холодильных машин с температурами воздуха на уровне (–20... –25 °С), что далеко не во всех случаях обеспечивает условия быстрого замораживания по параметру скорости прохождения фронта кристаллизации. Для создания принудительной циркуляции воздуха внутри камеры применяются вентиляторы, которые вносят дополнительный теплоприток и увеличивают энергозатраты. Экологическая небезопасность используемых хладагентов (хладоны, аммиак) также является недостатком традиционных систем хладоснабжения.

В связи с этим, разработка и совершенствование систем хладоснабжения оборудования быстрого замораживания пищевых продуктов низкотемпературным воздухом с использованием воздушной турбохолодильной машины (ВТХМ) является актуальной задачей, решение которой гарантирует высокое качество продукции. При этом в качестве холодильного агента применяется дешевый и экологически нейтральный атмосферный воздух.

Накопленный в нашей стране опыт криогенного турбодетандеростроения позволил существенно приблизить воздушный холодильный цикл к нуждам пищевой промышленности.

Так, коллективами СКТБ «Турборефрижераторы», Института механики МГУ им. М. В. Ломоносова и кафедры холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения МГТУ им. Н. Э. Баумана разработаны методология и технические средства производства холода в диапазоне рабочих температур (–60... –20 °С) с использованием турбодетандеростроения.

тандеров. Именно для этого диапазона температур был построен ряд турборефрижеров ATR на базе типоразмерного ряда турбодетандеров RET [1].

Одним из главных преимуществ турборефрижераторных агрегатов ATR является одновременное получение низких температур воздуха и широкого диапазона скоростей его потока (от 5 до 25 м/с).

В НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова разработана и практически реализована система хладоснабжения низкотемпературной камеры на базе турбохолодильной машины, в которой процесс сжатия воздуха осуществляется с помощью винтового компрессора, а процесс адиабатного расширения с помощью разработанного турбодетандера.

На базе данной камеры специалистами кафедры «Холодильная техника» МГУ прикладной биотехнологии (после реорганизации МГУ пищевых производств) выполнены исследования процесса быстрого замораживания пищевых продуктов с использованием низкотемпературного воздуха от турбохолодильной машины. Определены рациональные параметры процесса быстрого замораживания пищевых продуктов широкого ассортимента низкотемпературным воздухом [2, 3]. Разработана конструкция туннельного скороморозильного аппарата с системой воздухораспределения от турбохолодильной машины [4].

Получены экспериментальные данные основных параметров флюидизационного слоя и процесса замораживания растительной продукции, обеспечиваемых детандером турбохолодильной машины [5]. Разработано конструктивное решение туннельного флюидизационного скороморозильного аппарата с использованием низкотемпературного потока воздуха от турбохолодильной машины [6].

Доказана, на базе выполненных исследований, перспективность использования низкотемпературного воздуха от турбохолодильной машины для предварительного замораживания в технологии сублимационной

сушки биопродуктов. Получены экспериментальные данные основных параметров процесса предварительного замораживания биопродукта с использованием низкотемпературной камеры с турбохолодильной машиной и последующей его сушкой в вакуум-сублимационной установке [7].

Полученные результаты исследований доказали, что предварительное замораживание биопродукта низкотемпературным воздухом ( $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) от турбохолодильной машины, в сравнении с режимом традиционного замораживания ( $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), позволяет значительно сократить продолжительность дальнейшей его сублимационной сушки и улучшить качество сублимированного продукта [8].

Для предприятий малого бизнеса разработана конструкция низкотемпературной камеры модульного типа для быстрого замораживания пищевых продуктов с системой воздухораспределения от детандера турбохолодильной машины [9].

Предложена для камеры система хладоснабжения воздушной машины с турбокомпрессором, взамен ранее используемого винтового компрессора, позволяющая повысить холодильный коэффициент на 36...68% в интервале температур воздуха от  $-60$  до  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$  [10].

Конструкция камеры и системы ее воздухораспределения, содержащей четыре вертикальных воздуховода, размещенных по углам камеры на примере одного из модулей показаны на рис. 1.

На рис. 2 изображена конструкция составных частей вертикального воздухораспределителя низкотемпературной камеры. Насадки 1, 2 образованы трубой конического сечения, при этом нижний насадок 2 выполнен сужающимся в конусной его части и содержит винтовые опоры 9 для вращения воздухопроводов вокруг своей оси. Насадки содержат прямоугольные щели 4 в углу конуса и жестко смонтированные пластины 7 для равномерной подачи потоков воздуха.

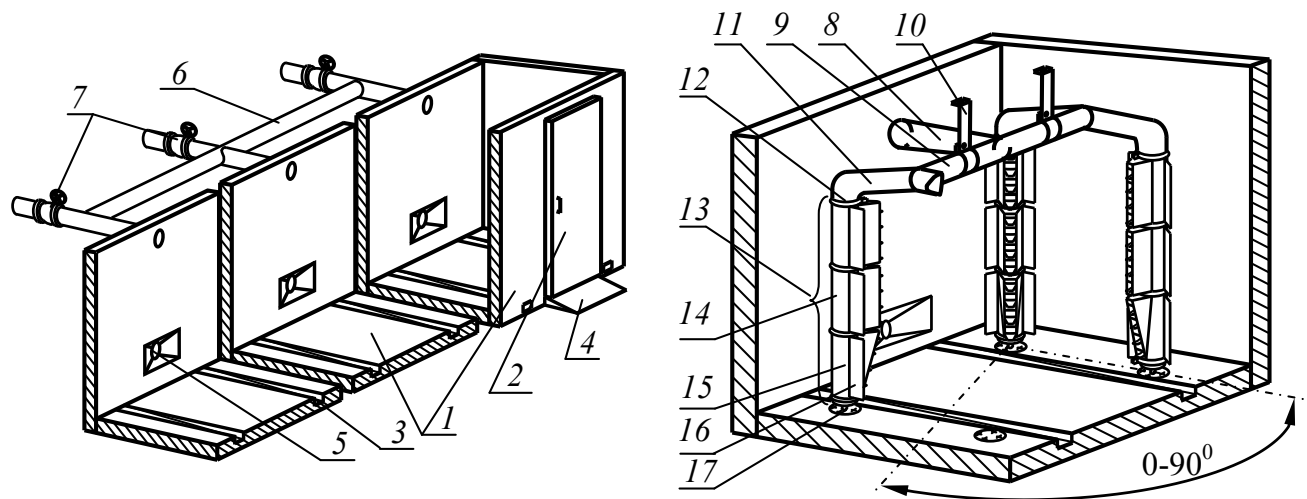


Рис. 1. Модульная конструкция низкотемпературной камеры:

1 — модуль низкотемпературной камеры; 2 — теплоизолированная дверь; 3 — дренажные стоки; 4 — пандус; 5 — отвод воздуха; 6 — подводящая магистраль; 7 — запорный вентиль; 8 — труба-переходник; 9 — коллекторная труба; 10 — потолочные крепления; 11 — ответвления; 12 — кольцевой бурт; 13 — вертикальный воздуховод; 14, 15 — вертикальные насадки; 16 — теплопоглощающее ребро; 17 — винтовые опоры

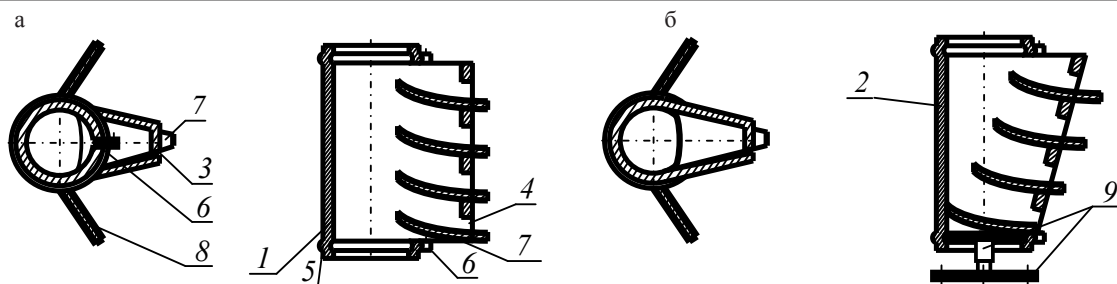


Рис. 2. Конструкция составных частей вертикального воздухораспределителя низкотемпературной камеры: а — верхний насадок; б — нижний насадок.

1 — верхний вертикальный насадок; 2 — нижний вертикальный насадок; 3 — монтажный зазор; 4 — прямоугольная щель; 5 — хомут; 6 — зажим; 7 — изогнутые жестко смонтированные пластины; 8 — теплопоглощающее ребро; 9 — винтовые опоры

На базе воздушной турбохолодильной машины, установленной в НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, создан модуль камеры быстрого замораживания пищевых продуктов. Камера оборудована системой распределения низкотемпературного воздуха от турбодетандера, при изготовлении которой использовались основные конструктивные решения, представленные в полученном патенте. На рис. 3 представлена схема такой камеры.

Воздухораспределительное устройство, внешний вид которого представлен на рис. 4, а, обладает 4-мя вертикальными распределительными каналами, в каждом из которых имеется 20 подающих сопел специальной конструкции с направляющими пластинами. При этом с помощью заглушек возможна блокировка работы одного, двух или трех вертикальных распределительных каналов (рис. 4, б).

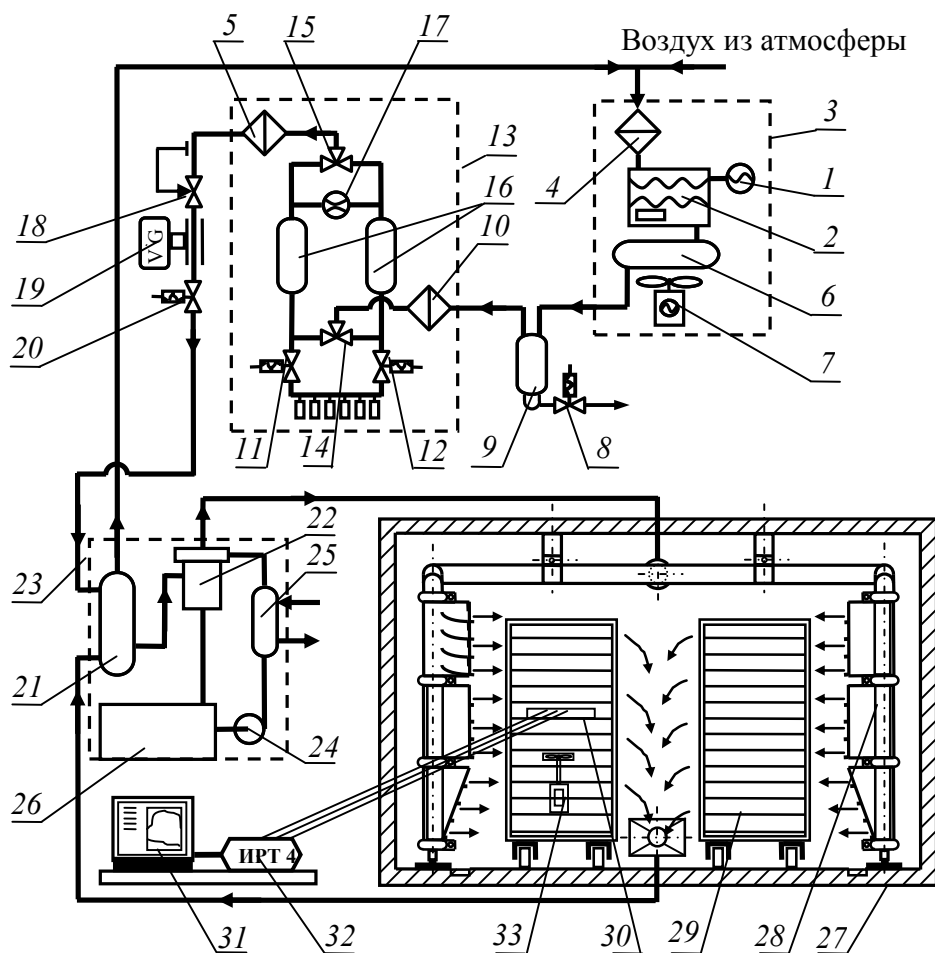


Рис. 3. Принципиальная схема модуля низкотемпературной камеры с воздушной турбохолодильной машиной:

1 — электродвигатель; 2 — винтовой компрессор; 3 — компрессорный агрегат; 4,5 — фильтр; 6 — конечной холодильник; 7 — вентилятор; 8 — клапан отвода конденсата; 9 — влагоотделитель; 10 — масляный фильтр; 11, 12, 14, 15 — клапаны; 13 — блок осушки; 16 — сосуд-осушитель; 17 — дюза; 18 — ПИД регулятор; 19 — расходомер; 20 — клапан автоматической защиты турбодетандера; 21 — теплообменник; 22 — турбодетандер; 23 — турбодетандерный агрегат; 24 — масляный насос; 25 — масляный холодильник; 26 — масляный бак; 27 — модуль низкотемпературной камеры; 28 — воздухораспределительное устройство; 29 — тележка; 30 — продукт; 31 — компьютер; 32 — измеритель температуры; 33 — анемометр

В данной статье представлены выполненные исследования аэродинамических показателей работы воздухо-распределительного устройства камеры.

Использовались два варианта размеров сечения сопла —  $10 \times 10$  мм и  $20 \times 20$  мм. Направляющие пластины, имеющие форму прямоугольника шириной 10 мм или 20 мм (в зависимости от сечения сопла), монтировались под углом  $90^\circ$  относительно оси симметрии канала вертикального распределителя.

Дополнительно, для проведения сравнительных исследований, были изготовлены вертикальные распределительные каналы, имеющие воздуховыпускные отверстия круглой формы ( $d = 22$  мм) без направляющих пластин.

В ходе проведения исследований использовались следующие варианты схем расположения вертикальных каналов и геометрических параметров сопел (рис. 5):

Для регистрации экспериментальных данных сопла каждого канала имеют нумерацию, при этом отсчет начинается от верхней части распределителя, и характеризуется безразмерной величиной  $h_{от}$  — относительная высота положения (рис. 6):

$$h_{от} = h_c / l_k,$$

где  $h_c$  — расстояние от верхней точки вертикального канала до сопла, м;  $l_k$  — длина канала, м.

При проведении экспериментальных исследований температура воздуха, подаваемого в камеру, находилась на уровне  $t_v = -60 \dots -62$  °С. Значения температуры  $t_v$  контролировались с помощью прибора ИРТ-4, путем размещения термодпары непосредственно в сопло вертикального канала.

Для исследуемых вариантов конструкции воздухо-распределительного устройства с помощью анемометра АПР-2 снимались значения скорости приточного воздуха  $\omega_0$  каждого сопла. Результаты отражены в диаграмме распределения значений скорости приточного воздуха  $\omega_0$  в зависимости от положения сопла (рис. 7), которая позволяет оценить степень равномерности подачи воздушных струй по высоте распределителя в зависимости от конструкции и геометрических параметров сопел (формы и размеров).

Как видно из гистограммы, применение вертикальных каналов, содержащих сопла с направляющими пластинами, способствует относительно равномерному

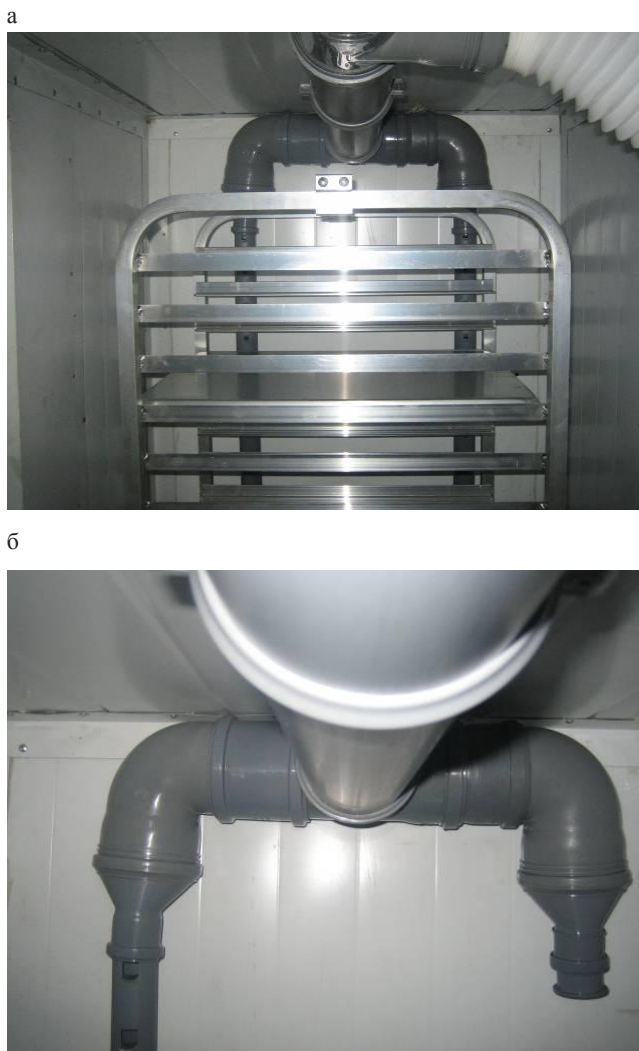


Рис. 4. Воздухораспределительное устройство камеры

истечению струй приточного воздуха. В данном варианте неравномерность скорости приточных воздушных струй по высоте вертикального канала составила порядка 8...12% от среднего значения  $\omega_0$ .

Для каналов с круглыми соплами диаметром 22 мм отмечается более значительная неравномерность значений скорости приточного воздуха в зависимости от высоты, которая соответствует 40...50% от ее среднего значения.

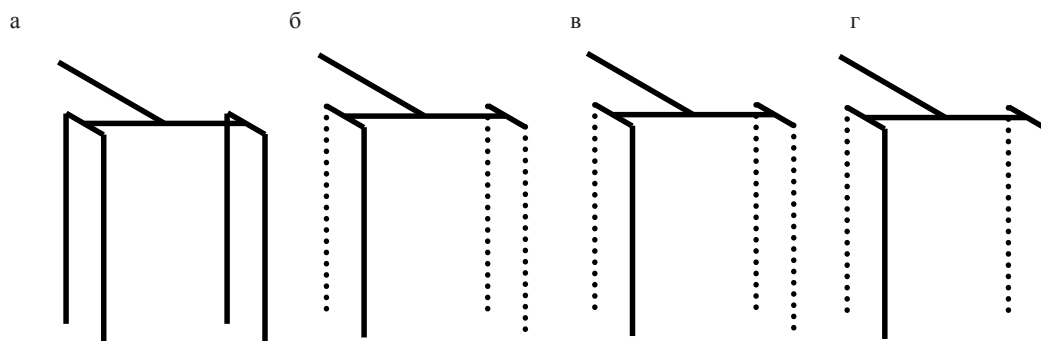


Рис. 5. Схемы расположения вертикальных каналов воздухо-распределительного устройства:

- а — четыре вертикальных канала, квадратное сечение сопла  $10 \times 10$  мм;
- б — один вертикальный канал, квадратное сечение сопла  $10 \times 10$  мм;
- в — один вертикальный канал, квадратное сечение сопла  $20 \times 20$  мм;
- г — один вертикальный канал, круглое сечение сопла диаметром 22 мм



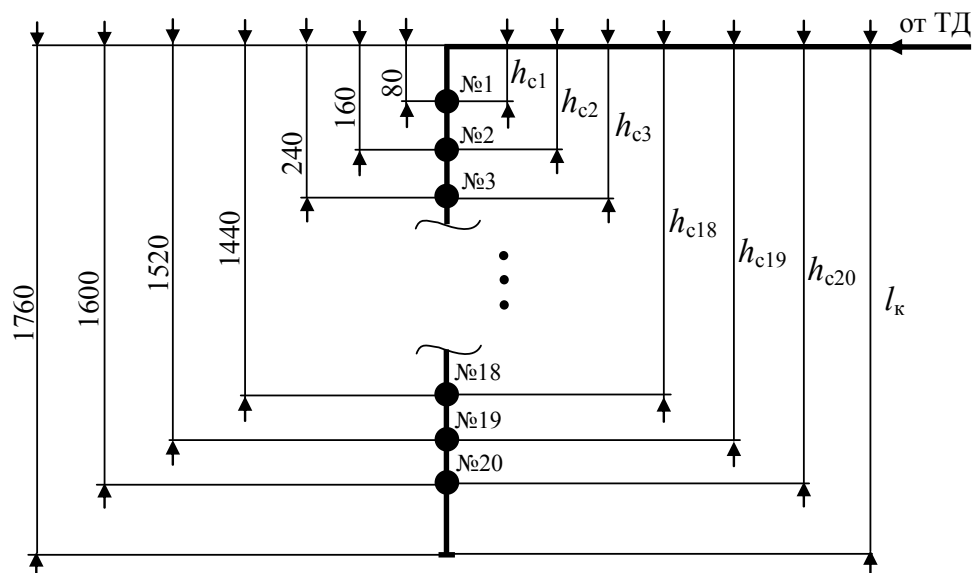


Рис. 6. Расположение и порядок нумерации сопел вертикального канала

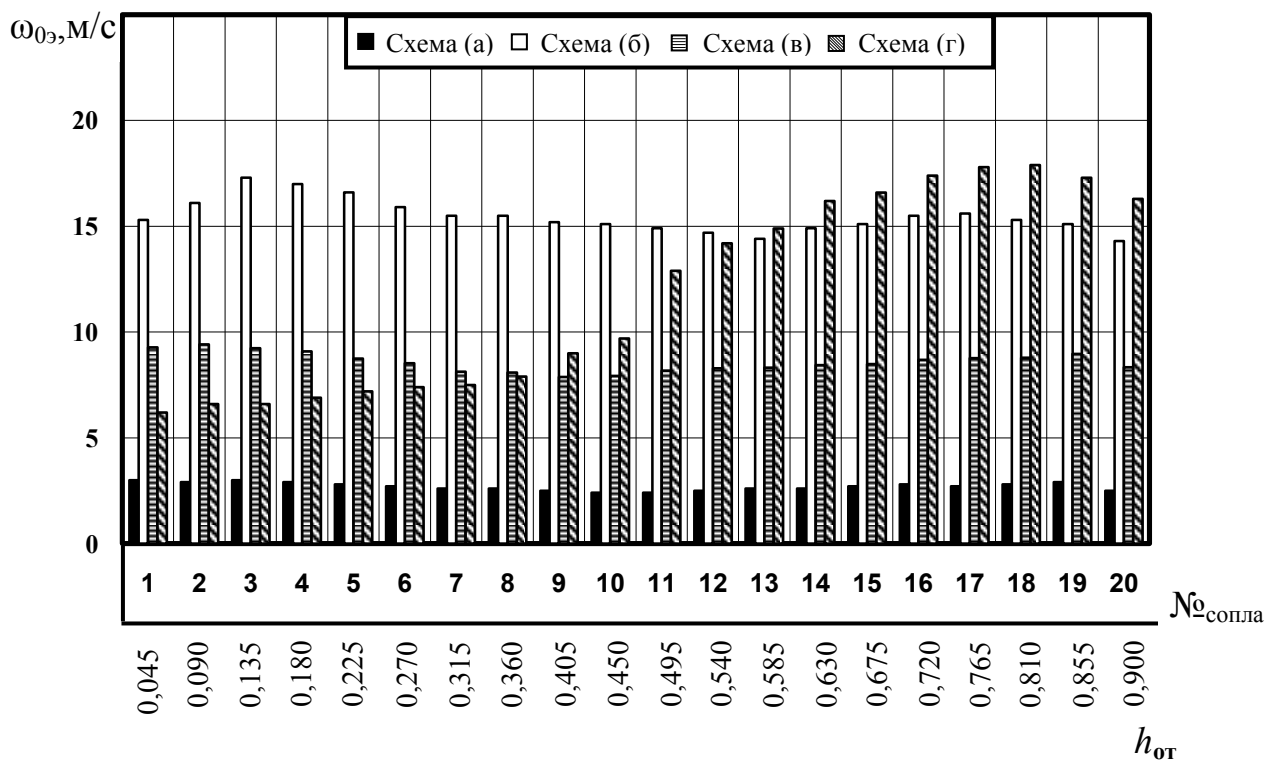


Рис. 7. Гистограмма распределения скорости приточного воздуха  $\omega$  по высоте канала в зависимости от относительной высоты положения сопла  $h_{от}$  и порядкового номера сопла для схем расположения вертикальных каналов а, б, в, г (рис. 5)

Проведенные экспериментальные исследования доказали работоспособность и эффективность заявленной в патенте конструкции воздухораспределительного устройства низкотемпературной камеры для быстрого замораживания продуктов.

Конструкция камеры удобна для формирования заданной производительности, что достигается путем ее компоновки из отсеков-модулей, экологически безопасна, за счет использования в качестве хладагента атмосферного воздуха, а применение воздухопроводов разработанной конструкции позволяет обеспечить равномерный симметричный обдув продукта, что при-

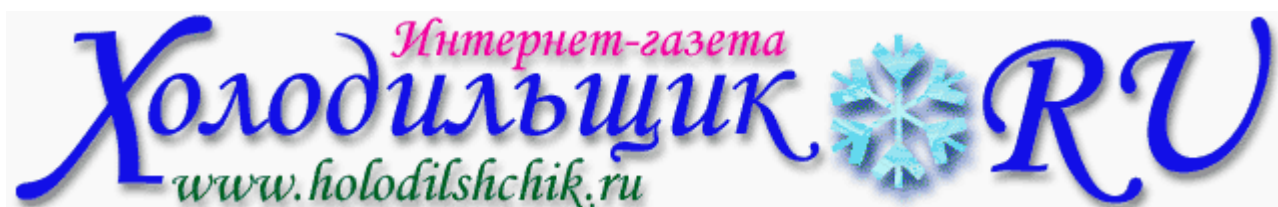
водит, как показали дальнейшие исследования, к увеличению интенсивности теплообмена и уменьшению продолжительности процесса, и, следовательно, к сокращению затрат на производство быстрозамороженной продукции.

### Список литературы

1. Архаров А. М. Новые установки быстрого замораживания пищевых продуктов низкотемпературным воздухом, расширенным в турбодетандере/А. М. Архаров, А. Ш. Кобулашвили, Т. М. Розеноер, И. Н. Журавлева, К. П. Венгер, А. А. Антонов // Холодильная техника. 2004. №9. с. 2–7.

## References

2. Венгер К. П. Скороморозильный туннельный аппарат с воздушным турборефрижераторным агрегатом/К. П. Венгер, В. А. Стефанова, О. А. Феськов, А. А. Антонов // Холодильная техника. 2006. № 11. с. 42–44.
3. Венгер К. П. Быстрое замораживание пищевых продуктов низкотемпературным воздухом от турборефрижераторного агрегата/К. П. Венгер, В. А. Стефанова, О. А. Феськов, А. А. Антонов // Мясная индустрия. 2007. № 7. с. 43–47.
4. Патент РФ № 2278336 «Воздушный туннельный скороморозильный аппарат»/А. А. Антонов, К. П. Венгер, В. А. Стефанова, О. А. Феськов./Опул. в БИ ФИПС № 17 от 20.06.05.
5. Венгер К. П. Воздушный турбохолодильный агрегат для быстрого замораживания растительной продукции во флюидизационном слое/К. П. Венгер, О. А. Феськов, Г. Б. Шахмеликян, Н. С. Шишкина // Вестник Международной академии холода. 2007. № 3. с. 26–31.
6. Патент РФ № 2278337 «Скороморозильный флюидизационный аппарат»/К. П. Венгер, Г. Б. Шахмеликян, О. А. Феськов./Опул. в БИ ФИПС № 17 от 20.06.05.
7. Венгер К. П. Низкотемпературная камера для быстрого замораживания мясных полуфабрикатов/К. П. Венгер, Н. Б. Панышин, Х. М. Слама, О. А. Феськов // Мясная индустрия. 2011. № 4. с. 50–52.
8. Венгер К. П. Предварительное замораживание в технологии сублимационной сушки биопродуктов/К. П. Венгер, В. В. Колпакова, Г. В. Семенов, Х. М. Слама // Мясная индустрия. 2011. № 4. с. 46–48.
9. Патент РФ № 2337281 «Устройство для замораживания пищевых продуктов»/К. П. Венгер, А. П. Викулов, Н. Б. Панышин, О. А. Феськов./Опул. в БИ ФИПС № 30 от 27.10.08.
10. Венгер К. П. Совершенствование системы хладоснабжения низкотемпературной камеры с использованием воздушной турбохолодильной машины/К. П. Венгер, Н. Б. Панышин, Т. М. Розеноер // Вестник Международной академии холода. 2008. № 3. с. 33–35.
1. Arharov A. M. Novye ustanovki bystrogo zamorazhivaniya pishhevyyh produktov nizkotemperaturnym vozduhom, rasshirenym v turbodetandere/A. M. Arharov, A. Sh. Kobulashvili, T. M. Rozenoer, I. N. Zhuravleva, K. P. Venger, A. A. Antonov. *Holodil'naja tehnika*. 2004. No 9. p. 2–7.
2. Venger K. P. Skoromorozil'nyj tunnel'nyj apparat s vozdushnym turborefrizheratornym agregatom/K. P. Venger, V. A. Stefanova, O. A. Fes'kov, A. A. Antonov. *Holodil'naja tehnika*. 2006. No 11. p. 42–44.
3. Venger K. P. Bystroe zamorazhivanie pishhevyyh produktov nizkotemperaturnym vozduhom ot turborefrizheratornogo agregata/K. P. Venger, V. A. Stefanova, O. A. Fes'kov, A. A. Antonov. *Mjasnaja industrija*. 2007. No 7. p. 43–47.
4. Patent RF № 2278336 «Vozdushnyj tunnel'nyj skoromorozil'nyj apparat»/A. A. Antonov, K. P. Venger, V. A. Stefanova, O. A. Fes'kov./Opuл. v BI FIPS № 17 ot 20.06.05.
5. Venger K. P. Vozdushnyj turbokolodil'nyj agregat dlja bystrogo zamorazhivaniya rastitel'noj produkcii vo fljuidizacionnom слое/K. P. Venger, O. A. Fes'kov, G. B. Shahmelikjan, N. S. Shishkina. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2007. № 3. s. 26–31.
6. Patent RF № 2278337 «Skoromorozil'nyj fljuidizacionnyj appa-rat»/K. P. Venger, G. B. Shahmelikjan, O. A. Fes'kov./Opuл. v BI FIPS № 17 ot 20.06.05.
7. Venger K. P. Nizkotemperaturnaja kamera dlja bystrogo zamorazhivaniya mjasnyh polufabrikatov/K. P. Venger, N. B. Pan'shin, H. M. Slama, O. A. Fes'kov. *Mjasnaja industrija*. 2011. No 4. p. 50–52.
8. Venger K. P. Predvaritel'noe zamorazhivanie v tehnologii sublimacionnoj sushki bioproduktov/K. P. Venger, V. V. Kolpakova, G. V. Semenov, H. M. Slama // *Mjasnaja industrija*. 2011. No 4. p. 46–48.
9. Patent RF № 2337281 «Ustrojstvo dlja zamorazhivaniya pishhevyyh produktov»/K. P. Venger, A. P. Vikulov, N. B. Pan'shin, O. A. Fes'kov./Opuл. v BI FIPS № 30 ot 27.10.08.
10. Venger K. P. Sovershenstvovanie sistemy hladosnabzheniya nizkotemperaturnoj kamery s ispol'zovaniem vozdushnoj turbokolodil'noj mashiny/K. P. Venger, N. B. Pan'shin, T. M. Rozenoer. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2008. No 3. p. 33–35.



Свидетельство о регистрации СМИ Эл № ФС 77-20452 от 22 марта 2005 года

<http://www.holodilshchik.ru> (<http://холодильщик.рф>)

e-mail: [info@holodilshchik.ru](mailto:info@holodilshchik.ru)

#### ПЕРВАЯ В РОССИИ ИНТЕРНЕТ-ГАЗЕТА ПО ХОЛОДИЛЬНОЙ И БЛИЗКОЙ ЕЙ ТЕМАТИКЕ

- холодильные новости;
- искусственные и природные хладагенты;
- бытовое, торговое и промышленное холодильное оборудование;
- холодильные масла;
- холодильники;
- качество пищевых продуктов;
- охладители жидкости (чиллеры);
- сервис холодильных систем;
- оснащение и строительство супермаркетов;
- литература по холодильной и близкой ей тематике;
- холодильный транспорт;
- модульная, баннерная, видео- и аудиореклама;
- кондиционирование и вентиляция;
- выставки, конференции, семинары;
- обучающие курсы для холодильщиков и многое другое...