

FREEZING AS A METHOD OF FOOD PRESERVATION

ЗАМОРАЖИВАНИЕ КАК МЕТОД
КОНСЕРВИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Ishevskiy A.L., Davydov I.A.

Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, ITMO University,
St. Petersburg, Russia**Ключевые слова:** замораживание, консервирование, пищевые продукты.**Keywords:** freezing, preservation, food products.**Введение**

Основными причинами порчи свежих пищевых продуктов являются присутствие в растительных и животных тканях микроорганизмов, которые разрушающе действуют на компоненты сырья. Дополнительное влияние на эти факторы оказывают воздух, температура, свет и т. д. В зависимости от характера сырья, причин его порчи и продукта, который необходимо получить, применяются соответствующие принципы и методы консервирования. Для предохранения продуктов от порчи необходимо создать такие условия их хранения либо так видоизменить их свойства, чтобы микроорганизмы или были уничтожены, или не могли развиваться, а ферменты, регулирующие биохимические процессы, были инактивированы. Первыми методами консервирования стали естественные процессы: соление, копчение, брожение и др. В 1810 г. французский кулинар Н. Аппер опубликовал книгу о консервировании пищевых продуктов с помощью тепла. Позднее был зарегистрирован английский патент на консервирование пищевых продуктов в герметически закрытых металлических банках. Многочисленные способы сохранения пищевых продуктов заключаются в основном в регулировании жизненных процессов в самом сырье и микроорганизмах. На этом основана классификация методов консервирования растительного сырья проф. Я. Я. Никитинского. Следует обратить внимание на то, что сырье животного происхождения перед консервированием не является живым объектом и отличается от растительных объектов, в которых после сбора урожая продолжают процессы обмена веществ внутри тканей и с окружающей средой, в том числе и процесс дыхания. Поэтому не все моменты классификации методов консервирования касаются методов сохранения мяса теплокровных животных, рыбы, птицы. Регулирование жизненных процессов в этом случае касается лишь микрофлоры сырья.

Классификация

Различают три основные группы методов консервирования сырья и пищевых продуктов:

1. Методы, основанные на принципе биоза, т. е. поддержания жизненных процессов в сырье и использования его естественного иммунитета;

Introduction

The main reasons of fresh food spoilage are microorganisms that are present in plant and animal tissues and act destructively on raw material components. An additional effect on these factors have air, temperature, light and so on. Depending on the characteristics of raw materials, the reasons of their spoilage and a product that is to be produced, the appropriate principles and methods of preservation are used. To prevent product spoilage, it is necessary to create conditions of their storage or change their properties in such a way that microorganisms would be destroyed or could not develop and enzymes that regulate biochemical processes would be inactivated. The first methods of preservation were natural processes: salting, smoking, fermentation and so on. In 1810, French chef Nicolas Appert published a book on food preservation using heating. Later an English patent on food preservation in hermetically closed tin cans was registered. Multiple methods of food preservation consist mainly in regulation of vital processes both in raw materials and microorganisms. This is a basis of classification of plant raw material preservation by prof. Ya. Ya. Nikitinsky. It is necessary to pay attention to the fact that animal raw materials before preservation are not a living object and are different from plant objects, in which the processes of metabolism inside tissues and substance exchange with an environment (including the respiration process) are continued. Therefore, not all moments in classification of preservation methods are relevant to methods for preservation of meat from warm-blooded animals, fish and poultry. Regulation of life processes in this case concerns only raw material microflora.

Classification

Three main groups of methods for raw material and food preservation are distinguished:

1. Methods based on the biosis principle, i.e., maintenance of the life processes in raw materials and the use of their innate immunity.

2. Методы, основанные на принципе анабиоза, т. е. замедлении, подавлении жизнедеятельности микроорганизмов и растительного сырья при помощи различных физических, химических и биологических факторов;

3. Методы, основанные на принципе абиоза, отсутствия жизни, т. е. полном прекращении всех жизненных процессов, как в сырье, так и в микроорганизмах.

Биоз заключается в хранении продуктов в свежем виде без какой-либо специальной обработки. Принимаются лишь меры, направленные на поддержание нормальных жизненных процессов, и некоторое ограничение их интенсивности. Биоз является не методом консервирования в обычном понимании, а лишь системой мер, обеспечивающих кратковременное сохранение сырья в свежем виде при поступлении его на переработку.

На принципе анабиоза основан ряд методов консервирования: охлаждение, замораживание, создание высоких концентраций осмотически деятельных веществ, сушка, хранение в регулируемой атмосфере, маринование, спиртование, квашение и др.

При способе холодного хранения (умеренный холод) используют температуру не ниже криоскопической, при которой начинается замораживание биологической системы. Использование умеренного холода способствует замедлению биохимических процессов, протекающих в сырье и снижению активности микроорганизмов, большинство из которых развивается при температуре 37°C. При понижении температуры, снижение биологической и биохимической активности сырья и микроорганизмов объясняется зависимостью скорости химических реакций от температуры и снижением проницаемости цитоплазмы микробных клеток. Метод холодного хранения дает возможность сохранить сырье при минимальном изменении его натуральных свойств гораздо дольше, чем метод биоза.

Замораживание продукта предусматривает его охлаждение до температуры более низкой, чем криоскопическая. Это способ консервирования, заключающийся в понижении температуры биологической системы ниже точки замерзания её соков. Криоскопическая точка зависит от концентрации растворимых веществ в клеточном соке и составляет в среднем: для мяса от -0,6°C до -1,2°C; молока — 0,55°C; яиц -0,5°C; рыбы от -0,6°C до -2°C. При дальнейшем понижении температуры почти вся свободная вода замерзает, практически полностью прекращаются жизнедеятельность микрофлоры и активность ферментов, вследствие чего продукты приобретают способность к длительному сохранению их исходного качества при условии, что температура всё время остаётся на заданном температурном уровне.

Обычно свободная вода, содержащаяся в межклеточном пространстве тканей, замерзает быстрее, чем связанная, внутриклеточная. Чем быстрее замерзают пищевые продукты (при интенсивном подводе к ним охлаждающего агента), тем большее количество цен-

2. Methods based on the anabiosis principle, i.e. retardation, inhibition of the vital activity of microorganisms and plant raw materials by several physical, chemical and biological factors;

3. Methods based on the abiosis principle, i.e. total termination of all life processes both in raw materials and microorganisms.

Biosis consists in food storage in a fresh form without any special treatment. Only measures aimed at maintenance of normal life processes and some restriction of their intensity are taken. Biosis is not a method of preservation in general meaning, but only a system of measures that ensures short-term storage of raw materials in fresh form upon its entering to processing.

The anabiosis principle is a basis of several preservation methods: cooling, freezing, creation of high concentrations of osmotically active substances, drying, storage in a regulated atmosphere, pickling, alcoholization and others.

In the method of cold storage (moderate cold), a temperature not lower than cryoscopic, at which freezing of a biological system begins, is used. The use of moderated cold facilitates retardation of biological processes that occur in raw materials and reduction in the activity of microorganisms, most of which develop at a temperature of 37°C.

When decreasing a temperature, a reduction in the biological and biochemical activity in raw materials and microorganisms can be explained by dependency of a chemical reaction rate on a temperature and a decrease in microbial cytoplasmic membrane permeability. The method of cold storage gives an opportunity to preserve raw materials with minimal changes in its natural properties much longer than the biosis method.

Product freezing envisages their cooling to a temperature lower than cryoscopic. This preservation method consists in reduction of a biological system temperature lower than a point of its fluid freezing. The cryoscopic point depends on the concentration of soluble substances in the cellular fluid and on average is in a range from -0.6°C to -1.2°C for meat; -0.55°C for milk; -0.5°C for eggs; -0.6°C to -2°C for fish. Upon further reduction of a temperature, almost all free water freezes and the activity of microorganisms and enzymes virtually fully stops; as a result, it becomes possible to preserve initial quality of products for a long time provided that a temperature is constantly at an established level.

As a rule, free water contained in the intercellular space freezes faster than bound intracellular water. The faster food products freeze (upon an intensive supply of a cooling agent), the more centers of ice crystallization are

тров кристаллизации льда образуется одновременно, вследствие чего даже при почти полном замерзании в клетках и межклеточных пространствах получается много мелких кристалликов льда, которые не могут существенно повредить целости клеточных оболочек тканей продукта. Поэтому структура тканей мало изменяется, при последующем размораживании. Такие продукты лучше сохраняют свои пищевые и органолептические свойства, потери сока из них незначительны.

Замороженные пищевые продукты и сырье можно сохранять значительно дольше, чем при использовании умеренных пониженных температур. Это объясняется не только количественной разницей в низкотемпературном уровне процессов замораживания и холодного хранения, но и тем, что в замороженных пищевых продуктах большая часть влаги превращена в твердое состояние. Поэтому микроорганизмы, питание которых происходит осмотическим путем, лишаются возможности использовать пищевые продукты, содержащие небольшую долю влаги в жидком состоянии. При использовании метода замораживания сырья и пищевых продуктов принцип анабиоза относится (хотя не в полной мере) только к микроорганизмам, так как вегетативные формы микроорганизмов погибают при низких температурах, а споры выживают, впадая в анабиотическое состояние. При медленном замораживании количество выживших клеток больше, чем при быстром, однако многие из выживших микроорганизмов оказываются поврежденными и впоследствии погибают. На степень сохранения жизненных функций микроорганизмов влияют вид микроорганизма, среда, в которой он находится, скорость, температура замораживания и хранения. Повторное замораживание и размораживание приводят к уменьшению количества живых микроорганизмов.

Условия и способы замораживания пищевого сырья и продукции

По продолжительности процесс замораживания может характеризоваться как медленный (тихий), интенсивный и быстрый. Эти понятия скорости процесса замораживания достаточно условны и среднюю скорость замораживания наиболее удобно рассматривать как отношение расстояния, проходимого фронтом льдообразования свободной влаги в продукте, к продолжительности его прохождения — в см/час. Условно можно принять следующее деление характера замораживания, в зависимости от скорости процесса:

- а) медленное замораживание — при скорости от 0,1 до 1 см/час;
- б) интенсивное (среднескоростное) — при скорости от 1 до 5 см/час;
- в) быстрое — при скорости от 5 до 20 см/час.

Основные требования, соблюдаемые при замораживании пищевого сырья и продуктов, формулируются следующим образом:

formed simultaneously leading to formation of many small ice crystals in cells and the intercellular space even upon almost complete freezing, which cannot damage integrity of cellular membranes of product tissues. Therefore, the tissue structure changes only slightly during the following thawing. These products better retain their nutritional and organoleptic properties and their drip losses are insignificant.

Frozen food and raw materials can be preserved much longer than when using moderately reduced temperatures. This can be explained not only by the quantitative difference in the low temperature process of freezing and cold storage but also by the fact that in frozen foods the major part of moisture is transformed into the solid state. Therefore, microorganisms, which nutrition occur in the osmotic way, are deprived of the opportunity to use foods that contain small proportion of moisture in a liquid state. When using a method of raw material and food freezing, the principle of anabiosis is relevant (although not fully) only to microorganisms as the vegetative forms of microorganisms die at low temperatures, while spores survive transforming into the anabiotic state. At slow freezing, the number of survived microorganisms is higher than at fast freezing; however, many of survived microorganisms are damaged and later die. A degree of preservation of microbial life functions is influenced by a microbial species, their environment, rate and temperature of freezing and storage. Repeated freezing and thawing lead to a decrease in the viable microbial number.

Conditions and methods of food raw material and product freezing

In terms of duration, a freezing process can be characterized as slow (quiet), intensive and fast. These terms of freezing rate are rather conditional, and it is more convenient to regard a mean freezing rate as a ratio of distance that the front of free water ice formation covers in a product to duration of its passage in cm/h.

It is possible to conditionally accept the following classification of the freezing character depending on the process rate:

- a) slow freezing at a rate of 0.1 to 1 cm/h;
- b) intensive (medium rate) freezing at a rate of 1 to 5 cm/h;
- c) fast freezing at a rate of 5 to 20 cm/h.

The main requirements that are met when freezing food raw materials and products are formulated as follows:

1. Охлаждающие среды (твердые, жидкие и газообразные), не должны оказывать вредного действия на замораживаемый продукт.
2. Тепло от продукта должно отводиться одновременно со всех сторон.
3. Скорость замораживания, должна удовлетворять условиям наилучшего сохранения качества продукта и наилучшим условиям эксплуатации.
4. Применяемые морозильные аппараты должны быть простыми и надежными в эксплуатации.

Замораживание пищевого сырья и продуктов может производиться различными методами по типу используемого хладагента:

- 1) воздухом — медленное (тихое), интенсивное и быстрое;
- 2) жидкой фазой (рассол) — контактное и бесконтактное (между охлажденными металлическими плитами);
- 3) в контакте с газообразным хладагентом с низкой температурой кипения.

Замораживание в воздухе — наиболее старый и до настоящего времени наиболее распространенный способ. Тепло отводится от продуктов воздухом, охлаждающимся в камерах с батареями или хладагента, или рассола. К воздушному замораживанию относится и способ замораживания за счет наружного воздуха, поступающего в зимнее время года. При естественной циркуляции воздуха время замораживания очень велико. Такое замораживание носит название «тихого». Ускорение процесса воздушного замораживания и более равномерное распределение температуры в камере достигают искусственной циркуляцией воздуха. При движении воздуха со скоростью до 2 м/сек, воздушное замораживание называется «интенсивным». В зависимости от температуры в камере и условий циркуляции воздуха, а также размеров и упитанности мясных туш и полутуш, длится от 24 до 32 часов [1]. Такие режимы замораживания являются медленными и сопровождаются неблагоприятными условиями льдообразования. Кристаллогидраты льда свободной влаги образуются крупными, игольчатой формы и разрывают ткани пищевого продукта. Ускорение процесса замораживания зависит, в большой степени, от температуры среды, так как скорость теплопередачи пропорциональна разности температур продукта и охлаждающей среды. Поэтому наиболее низкая температура поддерживается на протяжении всего процесса замораживания. Постоянная температура замораживания устанавливается, лишь к концу процесса. Непосредственно после загрузки камеры температура в ней резко повышается вследствие интенсивной теплоотдачи между продуктом и хладагентом, при наступлении равновесия в системе скорость отдачи тепла продуктом будет равна скорости поглощения тепла холодильным агентом в холодильной системе морозильной камеры. По мере промораживания продукта скорость отдачи

1. Cooling media (solid, liquid and gas) should not have a harmful effect on a frozen product.
2. Heat from a product should be removed simultaneously from all sides.
3. Freezing rate should satisfy the conditions of the best preservation of product quality and the best conditions of exploitation.
4. Freezers in use should be simple and reliable in exploitation.

Food raw material and product freezing can be carried out by several methods according to a refrigerant type:

- 1) by air — slow (quick), intensive and fast;
- 2) by a liquid phase (brine) — contact and non-contact (between cooled metal plates);
- 3) in contact with gas cooling agent having low boiling temperature.

Air freezing is the oldest and up to now the most common method. Heat is removed from products by air that is cooled in chambers with batteries containing a cooling agent or brine. The method of freezing by external air during the winter season also falls into the category of air freezing. At natural air circulation, freezing time is very long. This freezing is called «quiet». Acceleration of the process of air freezing and more equal distribution of temperature in a chamber are achieved by artificial air circulation. When air moves at a rate of up to 2 m/s, air freezing is called «intensive». Depending on a temperature in a chamber, air circulation conditions, size and fatness of meat carcasses and half-carcasses, air freezing lasts from 24 to 32 hours [1]. These freezing regimes are slow and accompanied with unfavorable conditions of ice formation. Formed crystalline hydrates of ice from free moisture are large, have a needle form and rupture food tissues. Acceleration of the freezing process depends to a large extent on a medium temperature as a heat transfer rate is proportional to the difference between temperatures of a product and cooling medium. Therefore, the lowest freezing temperature is maintained over the whole freezing process. The constant temperature is established only by the end of the process. Immediately after chamber loading, its temperature sharply increases due to intensive heat transfer between a product and a cooling agent; at equalization in a system, the rate of heat transfer by a product will be equal to a rate of heat absorption by a cooling agent in a cooling system of a freezing

тепла снижается, но охлаждение продолжается до тех пор, пока не установится небольшая разность между температурой камеры и температурой хладоносителя, соответствующая условиям термического сопротивления хладопередающих поверхностей. Циркуляция воздуха ускоряет замораживание, но увеличивает и усушку продукта при замораживании, поэтому при низких температурах замораживания (температура воздуха ниже -23°C), когда влияние циркуляции на характер кристаллообразования невелико, циркуляция воздуха в камерах исключается в целях сокращения величин усушки, излишнего высыхания поверхности и улетучивания ароматических веществ из продукта. Относительную влажность воздуха в камерах замораживания, исходя из необходимости снижения усушки продукта при замораживании, поддерживают на уровне от 85% до 90–92%. В последние годы все большее распространение получает быстрое замораживание в специальных скороморозильных аппаратах с быстро движущимся воздухом, имеющим низкую температуру и высокую относительную влажность: продукт в этих аппаратах укладывается на конвейерные ленты слоем небольшой высоты, или подвешивается в виде кусков небольших размеров. В ленточных скороморозильных аппаратах с воздушным охлаждением [2], продолжительность замораживания при температуре циркулирующего воздуха -50°C ... -60°C и скорости его движения 5–6 м/сек, в зависимости от толщины продукта, составляет от 0,5 час до 4 часов. Это же подтверждает Роттенберг А.Г. [3]. Для интенсификации процесса замораживания было предложено использовать эжекторные воздухоохладители [4, 5], с повышенным в 2,5–3 раза коэффициентом теплопередачи охлаждающих элементов. Эжекторные воздухоохладители представляют собой систему трубопроводов с непосредственно испаряющимся хладагентом или рассолом, интенсивно обдуваемых воздухом из эжекторов. Скорость выброса воздуха из эжекторов около 20–30 м/сек, при этом время замораживания мясных полутуш весом около 70 кг, при температуре воздуха -18°C составляет 40 часов. В целях снижения усушки при замораживании и сохранения товарных качеств продукта при воздушном замораживании могут применяться различные естественные или искусственные оболочки. Предварительная упаковка замораживаемого продукта определяет качество его дальнейшего хранения в замороженном виде. Применение глазировка замороженного продукта (2,5–3,0% от веса), повышает стойкость продукта, сокращает весовых потерь и сохраняет его качества, при последующем холодильном хранении.

Замораживание в жидкой среде производится в форме замораживания в рассоле. По способу, замораживание в рассоле, разделяется на две группы:

а) контактное замораживание (продукт непосредственно соприкасается с рассолом);

chamber. As a product freezes, the rate of heat transfer reduces; however, cooling is continued until establishment of a small difference between temperatures in a chamber and a refrigerant that corresponds to the conditions of the thermal resistance of cooling surfaces. Air circulation accelerates freezing but also increases shrinkage losses in a product upon freezing; therefore, at low temperatures of freezing (an air temperature lower than -23°C), when an effect of circulation on crystal formation is not high, air circulation in chambers is excluded with the aim of lowering shrinkage losses, excessive surface desiccation and evaporation of aromatic substances from a product. Due to a necessity to reduce product shrinkage losses, an air relative humidity in freezing chambers is maintained at a range of 85 % to 90–92%. Recently, fast freezing in special quick freezers with fast moving air having a low temperature and high relative humidity has becoming more widespread: products in these units are placed on conveyor belts in a layer with a low height or are hung in a form of small sized pieces. In belt-type fast freezers with air cooling [2], the freezing duration at a circulating air temperature of -50°C ... -60°C and velocity of 5–6 m/s is 0.5–4 hours depending on a product thickness. This is confirmed by Rottenberg A.G. [3]. To intensify a freezing process, it was suggested to use ejector air coolers [4, 5] with a heat transfer coefficient of cooling elements increased by 2.5–3 times. Ejector air coolers are a system of pipelines with a directly evaporating cooling agent or brine that are intensively blown over by ejectors. The velocity of an air discharge from ejectors is about 20–30 m/s; with that, the freezing time of a meat half-carcass with a weight of 70 kg at an air temperature of -18°C is 40 hours. To reduce shrinkage losses and maintain product commercial quality during air freezing, different natural and artificial envelopes can be used. Preliminary packaging of a freezable product determines quality of its further storage in a frozen form. The use of frozen product glazing (2.5–3.0% of weight) increases product stability, reduces weight losses and preserve its quality during following cold storage.

Freezing in a liquid medium is carried out in a form of freezing in brine. Freezing in brine is divided into two groups according to a method:

a) contact freezing (product directly contact with brine);

б) бесконтактное замораживание (продукт заключается в оболочки или формы, соприкасающиеся с рассолом).

Контактное замораживание существует двух видов:

- а) замораживание погружением;
- б) замораживание орошением.

Обычно, хладагентом при контактном способе служит водный раствор поваренной соли. Использование водных растворов солей хлористого кальция или магния, недопустимо, так как они придают продукту горький вкус. Оба контактных способа имеют наряду с преимуществами (ускорением процесса и отсутствием весовых потерь) два основных недостатка:

- а) проникновение соли внутрь продукта на определенную глубину;
- б) изменение цвета, ухудшающее внешние товарные качества продукта.

Мокрое замораживание пищевых продуктов в рассоле в примитивном виде начало применяться впервые в конце XIX в. на рыбных промыслах России (в смеси льда с солью), а позднее погружения продукта в раствор соли, охлаждаемый различными хладагентами. При замораживании погружением, из-за разности осмотического давления солевого раствора и свободной влаги продукта, соль диффундирует в продукт, даже при замораживании в растворе, охлажденном до криоскопической точки. Только в насыщенном водно-солевом растворе, охлажденном до криоскопической точки, погруженный продукт, не отдает влагу и не поглощает соль, так как в системе продукт-хладагент не происходит обменной диффузии, основанной на разности осмотических давлений. При отклонении температуры системы от криоскопической точки, возникает разность осмотических давлений, и продукт начинает просаливаться. Невозможность устранения просаливания продукта определяется возникающим при замораживании перепадом температур между продуктом и хладагентом. У поверхности замораживаемого продукта хладагент всегда будет теплее остальной его части, даже если его среднеобъемная температура равна криоскопической. То есть, осмотическая диффузия соли [7] в продукт будет происходить в течение всего периода замораживания. Из-за практической невозможности поддерживать температуру рассола на криоскопической точке (отепление продуктом раствора, ухудшение теплоотдачи приборами охлаждения вследствие оседания на них льда), необходимо предварительное охлаждение продукта, и добавление к рассолу веществ, снижающих температуру замерзания, например, глицерина (каждые 5% глицерина понижают температуру замерзания на 1°C ниже криоскопической), однако продукт приобретает сладковатый привкус и на его поверхности остается тонкий слой рассола, приводящий к изменению цвета продукта при хранении. Количество и скорость

б) non-contact freezing (product is enclosed in envelopes or molds that contact with brine).

Contact freezing exists in two forms:

- a) freezing by immersion
- b) freezing by spraying

Usually, aqueous sodium chloride solution serves as a cooling agent. The use of aqueous salt solutions of sodium potassium or magnesium is unacceptable as they impart a bitter taste to a product. Although both contact methods have advantages (the acceleration of the process and absence of weight losses), they also have two main disadvantages:

- a) salt penetration into a product to a certain depth;
- b) a color change that deteriorate apparent commercial product quality.

Liquid freezing of food in brine began to be used in a primitive form for the first time at the end of the 19th century in the Russian fisheries (in mixtures of ice with salt) and later in a form of immersion of a product into a salt solution cooled by different cooling agents. During freezing by immersion, salt diffuse into a product because of the difference in the osmotic pressure of a salt solution and free moisture of a product even during freezing in a solution cooled to the cryoscopic point. However, in a saturated aqueous salt solution cooled to the cryoscopic point, an immersed product does not transfer moisture and does not absorb salt as the process of exchange diffusion based on the osmotic pressure differences does not occur in the product — cooling agent system. When a system temperature deviates from the cryoscopic point, a difference in the osmotic pressure appears and salting of a product begins. Impossibility to eliminate product salting is conditioned by a temperature difference between a product and cooling agent that arises during freezing. Near a surface of a freezable product, a cooling agent will always be warmer than its another part, even if its volume-averaged temperature is equal to cryoscopic. That is, salt osmotic diffusion [7] into a product will occur over the whole period of freezing. Since it is practically impossible to maintain a temperature of brine at a cryoscopic point (warming of a solution by a product, a decrease in heat transfer by cooling units due to ice deposition), product preliminary cooling is necessary, as well as addition into brine of substances that reduce a freezing temperature, for example, glycerol (each 5% of glycerol decrease a freezing temperature by 1°C lower than cryoscopic); however, a product gains a sweetish taste and a thin layer of brine remains on its surface leading to a product color change during storage. An amount and

проникновения соли в продукт зависят не только от температуры замерзания рассола, но и от биохимических и физико-химических характеристик продукта. Поверхностный слой жира может почти полностью предотвратить просаливание продукта. Время замораживания при контактном способе при температуре рассола $-23^{\circ}\dots-25^{\circ}\text{C}$ составляет 6–8 часов. Замораживание контактным способом орошением рассолом, предполагает три фазы:

- а) предварительное обмывание продукта душем;
- б) замораживание продукта в среде тонко распыленного форсунками рассола;
- в) смыванием под душем капиллярного слоя рассола, осевшего на продукте.

Если продукт имеет хорошо подготовленную и чистую поверхность, первая фаза необязательна. Распыление рассола, способствуя его испарению, повышает теплоотдачу.

Однако процесс замораживания орошением протекает медленнее, чем замораживание погружением. При одинаковой температуре охлаждающего рассола время замораживания орошением удлинится примерно на 50 %. Недостатки контактного замораживания в жидкой среде можно избежать, замораживая продукт в оболочках, бесконтактным способом. При этом в растворах можно применять соли с более низкой, чем у хлористого натрия, криоскопической точкой (хлористый кальций, хлористый магний и др.).

Бесконтактное замораживание. Для предохранения продукта от воздействия рассола применяются различные рассолонепроницаемые оболочки. Необходимо обеспечить максимальное удаление воздуха между поверхностью продукта и оболочкой.

Впервые замораживание продуктов в оболочках (резиновых бинтах) были проведены Д. А. Христовуло в 1933–34 гг. [8]. Туша или полутуша плотно обертывалась бинтом снизу вверх так, чтобы каждый виток находил на край нижележащего для предотвращения попадания рассола под оболочку. При температуре рассолов $-17^{\circ}\dots-22^{\circ}\dots-27^{\circ}\text{C}$ охлаждаемая полутуша говядины весом в 90 кг при орошении 0, 329 л/кг/мин, замораживалась до температуры -8°C в течение соответственно 16,4... 12 ... 9 часов; охлажденные бараньи туши весом 12–16 кг при температуре рассола -17°C в течение 6–9 часов, а охлажденные свиные полутуши весом 18–28 кг, в течение 10–12 часов, а при весе 40–45 кг, за 16–18 часов при среднем расходе рассола 0,251 л/кг/мин. Усушка при замораживании, по «способу Христовуло» [8], составляла всего 0,1–0,2%. Товарные показатели мяса, замороженного в защитных оболочках, почти не отличаются от мяса воздушного замораживания. Недостатком способа замораживания в оболочках является трудоемкая операция надевания бинтов и удаления воздуха из упаковки. Продукты, замороженные в бинтах, можно хранить в тех же оболочках, что улучшает санитарные усло-

rate of salt penetration into a product depend not only on a temperature of brine freezing, but also on the biochemical and physico-chemical characteristics of a product. A superficial fat layer can almost completely prevent product salting. Freezing duration in the contact method at a brine temperature of $-23^{\circ}\dots-25^{\circ}\text{C}$ is 6–8 hours. Freezing by the contact method using brine spraying involves three phases:

- a) preliminary washing a product using a shower;
- b) product freezing in a medium of brine finely sprayed by a nozzle;
- c) washing out of a brine capillary layer deposited on a product using a shower.

If a product has a well prepared and clean surface, then the first phase is not necessary. Brine spraying facilitates its evaporation and increases heat transfer.

However, a process of freezing by spraying proceeds more slowly than freezing by immersion. At the same temperature of cooling brine, time of freezing by spraying is elongated approximately by 50%. Disadvantages of contact freezing in a liquid medium can be avoided by freezing a product in envelopes using a non-contact method. With that, salts (potassium chloride, magnesium chloride and others) with lower cryoscopic point than that of sodium chloride can be used in brines.

Non-contact freezing. To protect a product from an effect of brine, different brine impermeable envelopes are used. It is necessary to ensure maximum elimination of air between a product surface and an envelope.

The first product freezing in envelopes (rubber bandage) was carried out by D.A. Khistodulo in 1933–34 [8]. A carcass or half-carcass was tightly overwrapped with a bandage from the bottom to the top in such a way that each turn overlapped an edge of underlying layer to prevent brine entering under an envelope. A cooled beef half-carcass with a weight of 90 kg was frozen at a brine temperature of $-17^{\circ}\dots-22^{\circ}\dots-27^{\circ}\text{C}$ to a temperature of -8°C over 16,4... 12 ... 9 hours when spraying at 0.329 l/kg/min; cooled mutton carcasses with a weight of 12–16 kg over 6–9 hours at a brine temperature of -17°C and cooled pork half-carcasses with a weight of 18–28 kg over 10–12 hours, and half-carcasses with a weight of 40–45 kg over 16–18 hours at an average brine expenditure of 0.251 l/kg/min. Shrinkage losses upon freezing by the Khistodulo method [8] were only 0.1–0.2%. Quality indicators of meat frozen in protective envelopes were almost indistinguishable from those of meat subjected to air freezing. A disadvantage of the method of freezing in envelopes is a labor consuming operation of overwrapping with bandages and air removal from an envelope. Products

вия и снижает усушку при холодильном хранении. Замораживание продуктов в металлических формах погружением в рассол или орошением требует значительно меньше времени, по сравнению с воздушным замораживанием. Но по сравнению с контактным замораживанием оно протекает значительно медленнее (из-за неплотного прилегания продукта к форме). Для ускорения процесса необходимо понижение температуры рассола.

Распространение расфасованных продуктов, а также необходимость удобного и быстрого замораживания продуктов малых размеров и их хранения привели к применению метода бесконтактного замораживания между охлаждаемыми металлическими плитами. Основные варианты бесконтактного замораживания между двумя плитами могут быть представлены в четырех типах, в зависимости от хладагента, конструкции плит и способов охлаждения. Если хладагент воздух, то наружная сторона плиты делается либо гладкой, либо ребристой; если хладагент рассол, то он может либо орошать плиту с внешней стороны, либо проходить внутри последней. При охлаждении плит непосредственным испарением, хладагент испаряется внутри плит. Время замораживания в плиточных морозилках зависит от величины коэффициента теплопередачи между хладагентом, охлаждаемой поверхностью плиты и продуктом. Минимальное время замораживания достигается, при использовании в качестве хладагента или рассола или испаряющегося хладагента. Процесс замораживания продуктов в упаковке замедляется тепловым сопротивлением упаковочного материала и наличием изолирующих воздушных прослоек. Коэффициент теплопроводности для бумаги, картона, целлофана, при толщине 0,05–0,1 мм колеблется в пределах от 0,1 до 0,84 Дж/м час °С. При рассольном охлаждении, коэффициент теплопередачи зависит от скорости движения рассола в аппарате. Экспериментально [3] установлено, что оптимальная скорость циркуляции рассола 0,2–0,3 м/сек, поскольку при больших скоростях время замораживания снижается весьма незначительно.

В скороморозильных плиточных аппаратах фасованный продукт обычно замораживается в упаковке, так как упаковывать замороженный продукт, при низких температурах крайне трудно, а повышение температуры вызывает оттаивание продукта. Влияние теплового сопротивления тары и изолирующих воздушных прослоек может быть сведено к минимуму спрессовыванием упакованных продуктов, за счет уменьшения теплового сопротивления промежуточных слоев. При небольшом сдавливании упакованных продуктов удаление воздушных прослоек уменьшает выпадение конденсата между продуктом и упаковкой. Опыты Рютова Д.Г., и Христодуло Д.А. [8] показали, что давление на продукт, содержащий свободную влагу не должно превышать 0,1 кг/см², во избежание вы-

frozen in bandages can be stored in the same envelopes, which improves sanitary conditions and decrease shrinkage during cold storage. Product freezing in metal molds by immersion into brine or spaying requires significantly less time compared to air freezing. However, compared to contact freezing it occurs much more slowly (due to loose adherence of a product in a mold). To increase a process, it is necessary to reduce a brine temperature.

Expansion of the pre-packed products as well as a necessity of convenient and fast freezing of small-sized products and their storage led to the use of the method of non-contact freezing between cooling metal plates. The main options of non-contact freezing between two plates can be presented in four types depending of a refrigerant, plate design and methods of cooling. If a refrigerant is air, the plate external side is made either smooth or ruffle; if a refrigerant is brine, it can either flush a plate from an external side, or transit inside the latter. When cooling plates by direct evaporation, a refrigerant is evaporated inside plates. The time of freezing in plate freezers depends on a value of heat transfer coefficient between a refrigerant, a cooled surface of a plate and a product. Minimal freezing time is achieved when using either brine or an evaporating cooling agent as a refrigerant. The freezing process of products in packages is slowed down by thermal resistance of a packaging material and a presence of isolating air layers. The coefficient of heat conductivity for paper, cardboard and cellophane at a width of 0.05–0.1 mm is in a range of 0.1 to 0.84 J/m hour °C. During brine cooling, the coefficient of heat transfer depends on the brine flow rate in a unit. It was established experimentally [3] that the optimal rate of brine circulation is 0.2–0.3 m/s as at higher rates, freezing time reduces quite insignificantly.

In plate freezing units, a pre-packed product usually is frozen in a package as it is extremely difficult to package a frozen product at low temperatures, and an increase in a temperature causes product thawing. An effect of heat resistance of packages and insulated air layers can be reduced to minimum by pressing packaged products due to a decrease of heat resistance of intermediate layers. Upon slight pressing of packaged products, removal of the air layer decreases condensate dropout between a product and package. The experiments of Ryutov D.G. and Khistodulo D.A. [8] demonstrated that a pressure on a product that contains free moisture should not exceed 0.1 kg/cm² in order to avoid

жимания клеточного сока. Эксплуатация рассольных плиточных скороморозильных аппаратов осложнена коррозионной активностью рассольных систем, а аппаратов с испаряющимся хладагентом, сложностью полной герметичности непрерывно действующих систем.

При замораживании в непосредственном контакте с испаряющимся хладагентом продукт соприкасается с испаряющимся хладагентом. Первые опыты подобного замораживания были проведены в СССР в 1926 г. Н. С. Комаровым [8], который предложил замораживать продукт в углекислоте по следующей схеме: жидкая углекислота направляется в морозильную камеру, где пары углекислоты омывают замораживаемый продукт и через фильтр отсасываются компрессором. При одинаковых конечных температурах время замораживания в углекислоте меньше времени замораживания в рассоле. При относительной скорости и экономичности замораживания в углекислоте следует отметить серьезные недостатки этой технологии: опасность отравления диоксидом углерода, необходимость абсолютной герметичности и трудность регулирования холодопроизводительности скороморозильного аппарата. Помимо углекислоты для замораживания предложены другие безвредные для пищевого сырья и продуктов хладагенты (например, дифтордихлорметан, азот и др). Замораживание в испаряющихся хладагентах целесообразно применять при обезвоживании сырья, если требуется хорошая обратимость продукта или сохранение его ферментативной активности.

При сравнении различных методов и способов замораживания пищевого сырья и продуктов можно сделать следующие выводы:

1. Погружной и оросительный методы замораживания в непосредственном контакте с хладагентом в настоящее время малоприменимы по причинам практической невозможности устранения осмотических свойств водно-солевых хладагентов, громоздкости и трудоемкости процесса замораживания. При соблюдении строгих санитарных условий этим методом можно замораживать мясное сырье для куттерования в водно-солевых растворах, когда поверхностное обесцвечивание и просаливание сырья не являются критическими факторами. Для широкого практического применения этих методов необходим поиск химически пассивных водно-солевых хладагентов с малыми осмотическими коэффициентами.
2. Методы замораживания в непосредственном контакте с хладагентом в защитных оболочках отличаются громоздкостью и трудоемкостью технологического процесса, отсутствием удобных, экономически доступных оболочек. Широкое практическое применение этот метод может получить, если будет предложена недорогая защитная

cell fluid extraction. Exploitation of brine plate fast freezing units is complicated by the corrosion activity of brine systems, and exploitation of units with an evaporating refrigerant by complexity of full hermiticity of continuous systems.

When freezing in the direct contact with an evaporating refrigerant, a product comes in touch with an evaporating refrigerant. The first experiments of this way of freezing were carried out in the USSR in 1926 by N.S. Komarov [8], who suggested freezing a product in carbon dioxide according to the following scheme: liquid carbon dioxide is sent to a freezing chamber, where carbon dioxide vapors flow around a freezing product and is drawn off through a filter by a compressor. At the same final temperatures, time of freezing in carbon dioxide is less than time of freezing in brine. With the relative quickness and efficiency of freezing in carbon dioxide, it is necessary to mention serious disadvantages of this technology: a risk of carbon dioxide poisoning, a necessity of absolute hermiticity and difficulties in regulation of refrigerating capacity of a fast freezer. Besides carbon dioxide, several other refrigerants that are safe for food raw materials and products were proposed (for example, dichlorodifluoromethane, nitrogen and others). It is expedient to use freezing in evaporating refrigerants upon raw material desiccation if a good turnover of a product or preservation of its enzyme activity is required.

When comparing different methods and ways of freezing food raw materials and products, the following conclusions can be made:

1. Immersion and spray freezing methods in the direct contact with a refrigerant are seldom used nowadays due to practical impossibility to eliminate osmotic properties of aqueous salt refrigerants, awkwardness and labor intensity of a freezing process. When adhering to strict sanitary conditions, these methods can be used for freezing meat raw materials, which are intended for processing in a cutter, in aqueous salt solutions, when surface discoloration and salting of raw materials are not critical factors. For practical application of these methods, the search for chemically passive aqueous salt solutions with low osmotic coefficients is necessary.
2. Methods of freezing in a direct contact with a refrigerant in protective envelopes are distinguished by awkwardness and labor intensity of the technological process, an absence of convenient and economically affordable envelopes. This method can gain wide

Table 1. Duration of product freezing in brine and air

Таблица 1. Продолжительность замораживания продуктов в рассоле и в воздухе

Product width, mm Толщина продукта в мм	Freezing duration, hours Продолжительность замораживания в часах		Ratio $T_{af} : T_{bf}$ Отношение $T_{ав} : T_{зр}$
	T_{af} (air freezing) $T_{ав}$ (в воздухе)	T_{bf} (brine freezing) $T_{зр}$ (в рассоле)	
50	3.3	0.48	7
150	12.0	3.20	3.75
300	29.0	19.00	1.5

оболочка, влаго- и жиронепроницаемая, прочная и эластичная, выдерживающая весь технологический цикл по схеме «упаковка-замораживание-хранение-транспортировка-реализация».

3. В настоящее время промышленное значение имеют методы замораживания непрямого контакта продукта с хладагентом (с холодными металлическими плитами и в потоке холодного воздуха). Причем скороморозильные аппараты непрямого контакта, рассольные или с непосредственным испарением хладагента, имеют преимущества перед воздушными только при замораживании продуктов небольшой толщины, причем при увеличении толщины продукта преимущество уменьшается.

Замораживание с использованием промежуточного хладоносителя применяются для замораживания штучной продукции. В основном это воздушные скороморозильные аппараты конвейерного типа, представляющие собой теплоизоляционный короб внутри которого расположен воздухоохладитель и конвейер, по которому движется продукт. Аппараты подразделяются на туннельные, с ленточным многоярусным конвейером, и спиральные. Для сокращения габаритных размеров туннельных аппаратов конвейер делается многоярусным, продукт поступает на верхний ярус, и, падая на последующие нижние ярусы, перемещается внутри аппарата. Отдельно стоят флюизационные аппараты, используемые для замораживания малогабаритной продукции, конструктивно аналогичные ленточным, отличающиеся направлением подаваемого «холодного» воздуха: воздух подается снизу ленты, при этом продукт как бы «парит» над лентой за счет чего происходит равномерный контакт между продуктом и потоками воздуха.

Криогенные аппараты на базе жидкого азота, использующие многозонный принцип действия, характеризуют современные тенденции в развитии и использовании скороморозильной техники. Многозонная система обеспечивает сокращения расхода азота за счет использования холодильного потенциала газообразного азота, полученного в результате испарения жидкого. Преимуществами криогенного замораживания, являются: малая продолжительность процесса, минимальная усушка при замораживании, экологическая безопасность. Использование криогенного метода позволяет с малыми капитальными затратами приблизить производство быстрозамороженной про-

ductual application, if one proposes a cheap protective envelope that would be moisture- and fat- impermeable, strong, elastic and stable during the whole technological cycle under the scheme «packaging-freezing-storage-transportation-realization».

3. At present, the methods of freezing upon indirect contact of a product with refrigerants (cold metallic plates and in a cold air flow) are of industrial significance. With that, fast freezers of indirect contact with the use of brine or direct evaporation of refrigerants have advantages compared to air freezers only when freezing products with small width; with an increase in a product width, this advantage is reduced.

Freezing with the use of an intermediate refrigerant is applied for freezing of single-piece products. Largely, these are air quick freezers of conveyor type, which represent heat-insulated box with an air cooler and conveyor inside, along which a product moves. Apparatuses are classed as tunnel, with belt-type multilevel conveyor and spiral. To reduce overall dimensions of tunnel apparatuses, a conveyor is made multilevel; a product is transferred to the top layer and falling to the next following lower layers moves inside an apparatus. Fluidization freezers used for freezing of small-sized products stand apart. In terms of design, they are similar to belt-type freezers but differ in a direction of supplied cold air; air is supplied from the bottom of a belt and a product is «floating» over a belt, which results in a uniform contact of a product and air flows.

Cryogenic apparatuses based on liquid nitrogen, which use multi-zone principle of action, characterize the modern trends in the development and use of quick-freezing technique. The multi-zone system ensures a decrease in nitrogen expenditure due to the use of cooling potential of gas nitrogen produced as a result of liquid nitrogen evaporation. Advantages of cryogenic freezing are low duration of the process, minimal shrinkage losses during freezing and ecological safety. The use of the cryogenic method allows bringing frozen product manufacture into proximity

дукции к сырьевым базам. Себестоимость холодильной обработки азотом составляет 3–5 % от общей себестоимости продукции.

В основу конструкции туннельного криогенного аппарата заложена трехзонная схема замораживания, что позволяет, для предварительного охлаждения и выравнивания температуры по объёму продукта, использовать пары азота после его испарения в зоне замораживания. Замораживание продукта осуществляется за счет подачи жидкого азота через систему форсунок в зону замораживания; газообразный азот с помощью циркуляционных осевых вентиляторов направляется в зону предварительного охлаждения продукта, а также в зону выравнивания температуры по объёму продукта. Отсос отработанных паров азота осуществляется через систему вентиляционных коробов, установленных со стороны входа продукта. Основные преимущества азотных скороморозильных аппаратов по сравнению с машинными системами:

- а) экологическая чистота;
- б) уменьшение в 2–3 раза капитальных затрат;
- в) высокое качество замороженного продукта;
- г) минимальная усушка продукта при замораживании;
- д) универсальность, позволяющая работать с разными видами сырья и продукции;

Особенности замораживания и хранения сырья и продукции из животного белка

Белок и жир, содержащие необходимые питательные вещества, идеальная среда для роста микроорганизмов. Кроме того, жировая ткань восприимчива к окислению, приводя к прогорканию и обезвоживанию всей массы продукта. Удлинению срока годности сырья и продукции из животного белка происходит при замедлении движения летучих частиц, ослаблении или приостановлении биологической активности компонентов. Этот эффект достигается при замораживании. Бактерии прекращают рост примерно при -8°C , а при -18°C прекращается химическая активность и деятельность микроорганизмов. Кристаллы льда, образующиеся в диапазоне температур $0...-5^{\circ}\text{C}$, нарушают стенки клеток, разрушая ткань продукта. Быстрое замораживание уменьшает риск этого разрушения, за счет образования мелких, не игольчатых кристаллогидратов льда. Снижение температуры замедляет активность микроорганизмов, процесс испарения и химические реакции, связанные с окислением. При температуре 0°C и относительной влажности 85 % нежирное мясо может храниться примерно 21 день, а жирное лишь 14. При температуре 5°C эти сроки сокращаются до 1 суток [11, 12, 13]. Важным фактором, ассоциирующимся со свежестью, является цвет мяса. Различные оттенки красного цвета связаны с состоянием окисления миоглобина. Свежее мясо обычно имеет пурпурно-красный цвет, из-за небольшого дефицита кислорода. Обработка избыточным количеством кислорода при-

with raw material bases with low capitalizable costs. Costs of cold treatment are 3–5 % of total product costs.

The basis of the tunnel cryogenic apparatus design is three-zone scheme of freezing, which makes it possible to use nitrogen vapors after its evaporation in the freezing zone without preliminary cooling and temperature equalizing over a product volume. Product freezing is carried out due to liquid nitrogen supply through a system of nozzles into the freezing zone; gas nitrogen is directed to the zone of product preliminary cooling as well as to the zone of temperature equalizing using circulating axial-flow fans. Exhaust steam is removed using a system of ventilation skips installed from the side of product input. The main advantages of the nitrogen quick-freezing apparatuses compared to machine systems are:

- a) ecological purity;
- b) a 2–3 time decrease in capitalizable costs;
- c) high quality of a frozen product;
- d) minimal shrinkage of a product upon freezing;
- e) universality that allows working with different types of raw materials and products.

Peculiarities of freezing and storage of raw materials and products from animal protein

Protein and fat that contain all necessary nutrients are an ideal medium for microbial growth. Moreover, the fat tissue is susceptible to oxidation leading to rancidity and desiccation of the whole product mass. The shelf-life of raw materials and products from animal protein is extended upon retardation of volatile particle movement, weakening or slowing down the biological activity of components. This effect is achieved upon freezing. The bacterial growth is stopped at -8°C , and at a temperature of -18°C , the chemical activity and microbial activity are stopped. Ice crystals that are developed in a temperature range of $0...-5^{\circ}\text{C}$, damage cell walls destructing a product tissue. Fast freezing reduces the risk of this destruction due to formation of small ice crystalline hydrates that do not have needle shape. A decrease in a temperature slows down the microbial activity, evaporation process and chemical reactions associated with oxidation. At a temperature of 0°C and relative humidity of 85 %, lean meat can be stored approximately 21 day, while fat meat only 14 days. At a temperature of 5°C , the duration is reduced to 1 day [11, 12, 13]. An important factor that is associated with freshness is meat color. Different hues of red color are linked with the state of myoglobin oxidation. Fresh meat usually has

дает оксимиоглобину ярко-вишневый цвет. В действительности оба состояния окисления безвредны, но потребителям больше нравится ярко-красный цвет. Поэтому упаковщики используют полимерные пленки, которые допускают проникновение безвредного количества кислорода, для создания привлекательного внешнего вида свежего мяса.

При замораживании и холодильном хранении мясного сырья возникали следующие проблемы:

1. Присутствие в мясном сырье психрофильных бактерий.
2. Животный (особенно хребтовой) жир легко окисляется.
3. Протеины белого куриного мяса не являются настолько стабильными, как протеины красного мяса.

Охлаждение не влияет на активность психрофильных бактерий в такой степени, как на мезофильные типы, поэтому возможности сохранения качества парного мяса являются ограниченными. В целях обеспечения контроля за психрофильными бактериями замороженное белое мясо и мясо механической обвалки (ММО) обычно хранится при более низких температурах (-30°C), чем другое белоксодержащее замороженное сырье и продукты.

Хранение в холодильнике протеиновых продуктов может вызвать сублимацию льда и серьезное обезвоживание их, называемое «холодильным ожогом». Плотно прилегающая упаковка с хорошим барьером влажности и минимальным свободным воздушным пространством уменьшит обезвоживание при хранении. Во избежание образования льда внутри упаковки и обезвоживания продукта необходимо полное заполнение упаковки. Упаковки для замороженных мясных продуктов должны изготавливаться из термолабильных материалов, сохраняющих гибкость при температурах замерзания, обеспечивающих защиту от влаги и плотно прилегающих к продукту. Если в качестве элемента упаковки используется картон, он должен быть обильно парафинирован или покрыт полиэтиленом в целях защиты от влаги, неизбежно присутствующей в процессе замораживания. Хорошим примером упаковки замороженных продуктов могут служить ПВХ-пакеты с высокими барьерными свойствами, используемые для упаковки и холодильного хранения птицы. Разделанная птица упаковывается в пакеты и проходит через вакуумную машину. В результате пленка облегает продукт, как вторая кожа. Непроницаемый барьер предотвращает потерю воды и «холодильный ожог» в течение 30–45 суток, препятствует прохождению кислорода, окисляющего животные жиры.

Особенности замораживания и хранения продукции мясо-растительного происхождения

Растительное сырье продолжает «дышать» и созревать в послеурожайном периоде. Кроме того, оно содержит большое количество воды и вянет при из-

purple red color because of a slight deficiency of oxygen. Treatment with an excessive amount of oxygen gives oxymyoglobin a bright cherry red color. In fact, both oxidation states are harmful; however, consumers like more bright red color. Therefore, packagers use polymer films that allow penetration of safe quantity of oxygen for formation of attractive appearance of fresh meat.

The following problems arise upon freezing and storing meat raw materials:

1. Psychrophilic bacteria are present in meat raw materials.
2. Animal fat (especially, back fat) easily oxidizes.
3. Proteins of white chicken meat are not as stable as red meat proteins.

The activity of psychrophilic bacteria is not affected by cooling to the same degree as that of the mesophilic types; therefore, the possibilities of hot meat storage are limited. To ensure control of psychrophilic bacteria, frozen white meat and mechanically deboned meat (MDM) are usually stored at lower temperatures (-30°C) compared to other protein containing frozen meat raw materials and products.

Cold storage of protein products can cause ice sublimation and their serious desiccation, the so-called «cold burn». Tight packaging with a good barrier for humidity and minimal head space will reduce desiccation during storage. To avoid ice formation inside a package and product desiccation, it is necessary to fill a package fully. Packages for frozen meat products should be made of heat labile materials that maintain flexibility at freezing temperatures, provide protection from moisture and tightly fit a product. If cardboard is used as a package element, it should be richly paraffinized or covered with polyethylene to protect from moisture that is inevitably present in the process of freezing. A good example of frozen product packaging are PVC packages with good barrier properties, which are used for packaging and cold storage of poultry. After cutting, poultry is packed in packages and moves through a vacuum machine. As a result, a film tightly fits a product like a second skin. The impermeable barrier prevents water losses and «cold burn» for 30–45 days, as well as penetration of oxygen that oxidizes animal fats.

Peculiarities of freezing and storage of products of meat-plant origin

Plant raw materials continue «breathing» and ageing after harvesting. Moreover, they contain a large amount of water and wither upon excessive desiccation. The rate

лишнем обезвоживании. Скорость биологических и абиотических изменений зависит от конкретного вида растительного сырья. Горошек, зеленые бобы и овощи, имеющие листья, «дышат» гораздо быстрее, чем стебли, клубни и корни. Картофель, свекла и морковь «дышат» медленно, и поэтому их легко хранить. Салат гораздо быстрее теряет влагу, чем свекла, — из-за большой площади поверхности. Овощное сырье имеет оптимальную температуру созревания (около 20 °С) и пороговую температуру, ниже 5 °С, препятствующую созреванию. В соответствии с эмпирическим правилом, снижение температуры на 10 °С, увеличивает срок хранения в три раза (при условии недопущения замораживания) [9,10]. Замораживание некоторых овощных культур приводит к разрушению структуры клеток, и после размораживания они очень быстро портятся. Созревание овощных культур контролируется различными способами. Скорость «дыхания» может быть снижена за счет уменьшения количества кислорода, но, тем не менее, какое-то количество кислорода должно всегда присутствовать для сохранения нативного состояния сырья. Такие технологии используются при упаковке хранения в модифицированной газовой среде (МГС). Этилен, выделяемый растительными тканями, связан с созреванием многих видов растительного сырья, и контроль его содержания в упаковке эффективно используется для замедления или ускорения процесса созревания. Крахмалсодержащее сырье сохраняется в течение шести месяцев в атмосфере, содержащей 5% кислорода и 3% диоксида углерода (остальные 92% приходятся на азот) [10], но при отсутствии этилена. Такое сырье будет дозревать, если их поместить в условия, содержащие этилен в долях нескольких частей на миллион. Контроль, за атмосферой и температурой хранения, является ключевым условием для увеличения срока хранения растительного сырья. При влажности около 90% усиливается рост бактерий и грибов. Кроме того, заваренные пластиковые пакеты (мешки) подвергаются конденсации и увлажнению. Эти факторы усугубляют проблему хранения растительного сырья и продукции. Компромиссом во многих случаях может стать использование перфорированных пластиковых оберток или оберток с отверстиями. Это позволяет продукту «дышать», при известном риске загрязнения и потери влаги. Другим решением является выбор пленочных упаковочных материалов с высокой газопроницаемостью.

Методы размораживания пищевых продуктов

В настоящее время на пищевых предприятиях России применяется несколько способов размораживания, при которых теплоносителями являются воздух, паровоздушная среда, вода и рассол. Известны также способы размораживания с помощью ультразвука, инфракрасных лучей, электрического тока высокой, сверхвысокой и промышленной частоты и под вакуум-

of biological and abiotic changes depends on a particular type of plant raw materials. Pea, green legumes and vegetables that have leaves «breathe» much faster than stems, tubers and roots. Potato, beet and carrot «breathe» more slowly; therefore, it is much easier to store them. Salad loses moisture much faster than beet due to a large surface area. Vegetable raw materials have an optimal ageing temperature (about 20 °C) and a threshold temperature lower than 5 °C, which prevents ageing. According to the empirical rule, a 10 °C decrease in a temperature increases shelf-life threefold (on condition that freezing is prevented) [9, 10]. Freezing of certain vegetable crops leads to destruction of the cell structure and after thawing they are spoiled very quickly. Ageing of vegetable crops is controlled by several ways. A «breath» rate can be reduced by decreasing an oxygen amount; however, a certain amount of oxygen should always be present for maintenance of the native condition of raw materials. Such technologies are used when packaging and storing in the modified gas atmosphere (MGA). Ethylene produced by plant tissues is associated with ageing of many types of plant raw materials and control of its content in a package is effectively used for retardation or acceleration of the ageing process. Starch containing raw materials are preserved over six months in an atmosphere that contains 5% of oxygen and 3% of carbon dioxide (nitrogen accounts for the rest 92%) [10], but in the absence of ethylene. These raw materials will be additionally aging if they are placed in conditions with the ethylene content at a level of several parts per million. Control of the storage atmosphere and temperature is a key condition for prolongation of plant raw material storage. At 90% humidity, a growth of bacteria and fungi increases. Moreover, sealed plastic packages (bags) are subjected to condensation and humidification. These factors complicate a problem of raw material and product storage. A compromise in many cases can be the use of perforated plastic envelopes or envelopes with holes. That allows a product to «breathe» upon a known risk of contamination and moisture loss. Another solution is a choice of film packaging materials with high gas permeability.

Methods of food thawing

At present, the Russian food enterprises use several thawing methods, when heating media are air, a steam-air medium, water and brine. Other methods are also known such as thawing methods using ultrasound, infrared beams, electric current with high, ultra-high and industrial

мом. В отличие от отепления, которое проводят исключительно в воздухе с контролируруемыми параметрами, размораживание возможно в различных средах и при использовании разнообразных источников тепла.

Существующие способы размораживания могут быть разбиты на три основные группы. К первой группе относятся все методы, использующие конвективный нагрев теплоносителями с различными теплофизическими свойствами, при ведении которых возникает температурный градиент. Вторая группа — методы размораживания, в основе которых нагрев происходит путем преобразования энергии разного вида в тепловую, непосредственно в обрабатываемом продукте. К таким видам энергии относятся энергия электрического поля различной частоты и энергия ультразвуковых колебаний. При использовании энергии переменного электрического поля может осуществляться равномерный по всему объему, безградиентный нагрев продукции. В третью группу входят комбинированные методы, использующие одновременно конвективный и безградиентный нагрев. При комбинированном способе размораживания может использоваться воздушный, микроволновый, вакуумный, электроконтактный и другой нагрев.

В продуктах животного происхождения воздействие тканевых ферментов проявляется в основном ростом гидролитического распада белков, в результате которого создаются благоприятные условия для развития гнилостной микрофлоры. Микробиологические процессы в быстрозамороженном мясе протекают после размораживания почти с такой же скоростью, что и в охлажденном мясе при тех же условиях хранения. Конденсация водяного пара при размораживании вызывает ускоренное развитие микроорганизмов, а в медленно замороженном мясе эти процессы протекают быстрее, что объясняется большей ферментативной активностью такого мяса.

Для пищевых продуктов с тканевой структурой (мясо, рыба, птица) наиболее важным показателем обратимости свойств, при размораживании является величина потерь сока. Потери сока рассматриваются как внешний признак денатурации белковых веществ. Основным компонентом сока является вода, не поглощенная продуктом при размораживании, а также вода, выделяющаяся из продукта под воздействием сжатия при размораживании. Выделение сока из продуктов может сопровождаться значительными потерями растворимых веществ — витаминов, ферментов, минеральных веществ, белков саркоплазмы и др. [15].

Потери сока при размораживании мяса зависят от его вида. Так, максимальные потери сока отмечаются в говядине, более низкие — в телятине и баранине, минимальные — в свинине. При этом потери сока мяса более высокого качества при размораживании, как правило, ниже, чем низкокачественного. В целом количество мясного сока составляет около 5 % общего

frequency, and vacuum. In contrast to warming, which is carried out exclusively in air with controlled parameters, thawing is possible in different media and with the use of different heat sources.

Available methods of thawing can be divided into three main groups. The first group includes the methods that use convection heating by heating media having different thermo-physical properties with different thermal gradients arising at their introduction. The second group consists of the thawing methods, which are based on heating by transformation of different types of energy into thermal energy directly in a processed product. These types of energy include the energy of electric field with different frequencies and the energy of ultrasonic vibrations. When using the energy of the alternating electric field, a homogeneous non-gradient heating of a product over the whole volume can be performed. The third group consists of the combined methods that use simultaneously convective and non-gradient heating. In a combined method of thawing, air, microwave, vacuum, electrical contact heating can be used among others.

In products of animal origin, an effect of tissue enzymes is manifested, mainly, by an increase in hydrolytic breakdown of proteins, as a result of which, favorable conditions for spoilage microflora are created. Microbiological processes occur in fast frozen meat after thawing almost with the same rate as in cooled meat at the same conditions of storage. Water vapor condensation upon thawing causes the accelerated development of microorganisms and, in slowly frozen meat, these processes proceed faster, which can be explained by higher enzyme activity in this meat.

For food products with the tissue structure (meat, fish, poultry), the most important indicator of reversibility of properties upon freezing is a value of drip loss. Drip losses are considered an external sign of protein substance denaturation. The main component of drip is water that was not absorbed by a product upon thawing as well as water that is released from a product under an effect of compressing when thawing. Drip losses can be accompanied by high losses of soluble substances — vitamins, enzymes, minerals, sarcoplasmic proteins and so on [15].

Drip losses in meat depend on its type. For example, the maximal drip losses are found in beef, lower in veal and mutton and minimal in pork. With that, drip losses in high quality meat, as a rule, are lower, than that in poor quality meat. In general, drip losses are 5% of the total volume

количества замороженного мяса, у не полностью созревшего мяса может увеличиваться до 40 %. Однофазное замораживание, проводимое до начала развития процессов посмертного окоченения, замедляет развитие гликогенолиза и явления сжатия при размораживании, связанного с повышенным выделением сока [15].

Потери сока при размораживании мяса птицы зависят от физиологического состояния мышц, в момент замораживания они максимальны на стадии окоченения и менее значительны на других стадиях. Зависят они также от скорости замораживания. При медленном замораживании в воздухе потери увеличиваются в 3 раза по сравнению с иммерсионным методом [15].

Потери сока при размораживании ММО подчиняются тем же закономерностям, что и при размораживании мяса, но в целом они выше, чем у мяса. Величина потерь зависит от вида и состава ММО, наличия в нем костного жира, содержания белка, формы и размера замороженного брикета и др. [15].

Качество размороженного растительного сырья зависит от вида, условий хранения, и в некоторых случаях методы замораживания имеют второстепенное значение. В то же время установлено, что для белоксодержащего растительного сырья наиболее оптимальным является метод диэлектрического размораживания, а наименее — воздушный. При оценке качества белоксодержащего растительного сырья, размороженных различными методами, установлено, что диэлектрически размороженная продукция отличалась более высоким содержанием неповрежденного сырья, лучшей консистенцией, меньшими потерями витамина С. Интенсивность качественных изменений в размороженных продуктах обусловлена, прежде всего, динамикой микробиологических и ферментативных процессов. В зависимости от многих взаимодействующих факторов активность последних может, как увеличиваться, так и уменьшаться. Сохраняемость растительного сырья после размораживания меньше, чем продуктов животного происхождения, поскольку они обладают меньшей стойкостью по отношению к микробиологическим процессам. Поэтому размороженные мясо — растительные продукты вследствие быстрой порчи и ухудшения товарного вида должны быть максимально быстро использованы или реализованы [10].

Анализ различных методов размораживания показывает, что при применении любого теплоносителя (воздух, вода) ускорение процесса ограничено. При размораживании пищевых продуктов, замороженных в блоках, для промышленных целей по общепринятой ускоренной технологии нагревания за счет тепловой конвекции воздуха или подогреванием водой возможны загрязнение и порча продуктов. Совершенствование техники размораживания связано с изменением методов обработки, необходимостью дальнейшей

of frozen meat, and in partly aged meat they can increase to 40%. Single stage prerigor freezing retards the development of glycogenolysis and a phenomenon of compression upon thawing, which is associated with increased drip losses [15].

Drip losses in poultry depend on the muscle physiological state; at the moment of freezing they are maximal at the stage of rigor mortis and less significant at other stages. They also depend on freezing rate. Upon slow air freezing, losses increase 3 times compared to immersion method [15].

Drip losses during MDM thawing are subject to the same regularities as during meat thawing; however, as a rule, they are higher than in meat. A drip loss value depends on a MDM type and composition, the presence of bone fat in it, protein content, shape and size of frozen block and so on [15].

Quality of thawed plant raw materials depends on its type and storage conditions; in several cases, freezing methods have secondary significance. At the same time, it was established that for protein containing raw material, the most optimal method is dielectric thawing and the least optimal method is air thawing. In quality assessment of protein containing plant raw materials thawed by different methods, it was established that dielectrically thawed products were distinguished by higher content of intact raw materials, better consistency and less losses of vitamin C. The intensity of qualitative changes in thawed products is conditioned first of all by dynamics of microbiological and enzyme processes. Depending on many interacting factors, the activity of the latter can both increase and decrease. Storability of plant raw materials after thawing is less than that of animal products as they are less resistant to microbiological processes. Therefore, thawed meat-and-plant products have to be maximally quickly used or realized due to rapid spoilage and deterioration of marketable appearance [10].

Analysis of different thawing methods shows that when using any heat transfer medium (air, water), process acceleration is limited. When thawing food product frozen in blocks for industrial purposes under the conventional accelerated technology of heating due to air convection or warming with water, product pollution and spoilage are possible. An improvement of the thawing technique is associated with changes in processing methods, a necessity of the further process intensification and development of

интенсификации процесса, созданием конструкций агрегатов непрерывного действия. При этом важнейшим условием должно быть максимальное сохранение исходного качества продукта.

Анализ существующих способов и опыт зарубежных фирм по использованию СВЧ-энергии для размораживания пищевых продуктов показали преимущества данного метода перед другими: экономия производственных площадей; точное регулирование конечной температуры внутри продукта; простота обслуживания установки; уменьшение трудовых затрат благодаря размораживанию пищевых продуктов в упаковке. Оценка качества и санитарного состояния готовой продукции показала, что СВЧ-размораживание позволяет уменьшить потери белковых веществ и витаминов, предотвратить развитие микрофлоры, улучшить нежность мяса, что особенно важно при производстве из размороженного сырья вареных колбасных изделий. Отмечено также увеличение времени хранения и срока реализации пищевых продуктов из сырья, размороженного с помощью СВЧ-энергии. Выбор способа размораживания определяется мощностью предприятия, его возможностями и видом обрабатываемого продукта.

В мировой практике ассортимент продуктов, консервируемых быстрым замораживанием, чрезвычайно широк. Производство быстрозамороженных продуктов в развитых странах ежегодно увеличивается на 5–7 %. [14]. Производство такой продукции организовано на поточных технологических линиях, включающих на завершающем этапе процесс быстрого поштучного замораживания. В настоящее время производством быстрозамороженной продукции занимаются более 500 различных компаний мира. Ведущее место в производстве такой продукции занимают США, Голландия, Франция, Германия, Италия, Венгрия, Польша. К сожалению, развитие производства быстрозамороженных продуктов в России до настоящего времени не достигло желаемого уровня, ни по ассортименту и объемам производства, ни по технологической оснащенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Головкин Н.А., Чижов Г.Б. Холодильная технология пищевых продуктов. — М.: Госторгиздат. — 1963. — 240 с.
2. Кульбин И.Н. Морозилка для быстрого замораживания преимущественно мясных туш. Авторское свидетельство №.77128. Опубликовано в «Бюлетене изобретений» № 11, 1952.
3. Ротенберг, А.Г. Скороморозильный гравитационный конвейерный аппарат ГКА-4/ А.Г.Ротенберг // Холодильная техника. — 1974.-№4. — С. 19–25.
4. Мещеряков Ф.Е. Основы холодильной техники и холодильной технологии. — М.: Пищевая промышленность. — 1975. — 560 с. (С. 459–463)
5. Шеффер А.П. Современное оборудование для замораживания мяса и субпродуктов в блоках, полуфабрикатов и готовых блюд. — М.: ЦНИИТЭИмясомолпром. — 1973. — 45 с.
6. Шеффер А.П., Саатчан А.К., Кончаков Г.Д. Интенсификация охлаждения, замораживания и размораживания мяса. — М.: Пищевая промышленность. — 1972. — 375 с.

continuous units. With that, the most important condition of food thawing should be maximum preservation of the initial product quality.

Analysis of available methods and an experience of foreign companies in using the microwave energy for food freezing demonstrated advantages of this method over others: saving of production space, strict regulation of the final temperature inside a product; simplicity of unit maintenance and a decrease in labor expenditures due to food thawing in packaging. Assessment of quality and sanitary condition of finished products showed that microwave thawing allows reducing losses of protein substances and vitamins, preventing microbial growth and improving meat tenderness, which is especially important in production of cooked sausages from thawed raw material. A choice of a thawing method is conditioned by a capacity of an enterprise, its possibilities and a type of processed product.

In the world practice, an assortment of products that are preserved by fast freezing is extremely wide. Production of fast-frozen products in developed countries increases annually by 5–7 % [14]. Production of such products is organized on the flow-type technological lines that include a process of fast single-piece freezing at the final stage. At present, more than 500 different world companies manufacture fast-frozen products. The USA, the Netherlands, France, Germany, Italy, Hungary and Poland occupy the leading place in production of such products. Unfortunately, up to now, the development of fast-frozen products manufacture in Russia has not achieved a desirable level in terms of assortment, production volumes and technological equipment.

REFERENCES

1. Golovkin N.A., Chizhov G.B. Refrigeration technology of food products. — M.: Gostorgizdat. — 1963. — 240 pages.
2. Kul'bin I.N. Freezing chamber for fast freezing of mainly meat carcasses. Certificate of authorship No. 77128. Published in "Bulletin of inventions" No. 11, 1952.
3. Rotenberg A.G. Gravity conveyor quick-freezing system GKA-4/ A.G. Rotenberg // Kholodil'naya Tekhnika. — 1974. — No. 4. — pp. 19–25.
4. Meshcheryakov F.E. Principles of refrigerating engineering and refrigeration technology. — M.: Food Industry. — 1975. — 560 pages (pp.459–463).
5. Sheffer A.P. Modern equipment for freezing meat and by-products in blocks, semi-prepared products and ready dishes. — M.: TSNITEImyzsomoprom. 1973. — 45 pages.
6. Sheffer A.P., Saatchan A.K., Konchakov G.D. Intensification of meat cooling, freezing and thawing. — 1972. — 375 pages.

7. Куцакова В.Е., Фролов С.В. Осмотические явления в пищевых продуктах. Посол рыбы и мяса.: Учеб.-метод. пособие. — СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ. — 2014. — 41 с.
8. Рютов Д.Г., Христовуло Д.А. Быстрое замораживание мяса. — М.: Пищепромиздат. — 1936. — 197 с.
9. Ишевский А.Л., Давыдов И.А. Использование консервантов в производстве мясных продуктов // Мясной ряд — 2016. — № 2(64). — с. 34–37
10. Ишевский А.Л., Доморацкий С.С., Гришина И.В. Экспресс-оценка сроков хранения пищевых продуктов // Мясные технологии — 2011. — № 2. — с. 28–30
11. Вода в пищевых продуктах. Под редакцией Р.Б. Дакурта — пер. с английского., М., Пищевая промышленность, 1980, 376 с.
12. Ишевский А.Л., Черников Е.М., Базарнова Ю.Г. Оценка интегральных показателей конкурентоспособности мясных паштетов // Мясные технологии — 2011. — №5. — с. 62–64.
13. Кайм Г. Технология переработки мяса. Немецкая практика. Перевод с немецкого Г.В. Соловьевой, А.А. Куреленкова. — СПб.: Профессия. — 2008. — 488 с.
14. Перспективы использования жидкого азота для быстрого замораживания пищевых продуктов. [Электронный ресурс: <http://www.ptechnology.ru/MainPart/PishaTech/PishaTech19.html> Дата обращения 15.05.2017]
15. Классификация методов размораживания пищевых продуктов [Электронный ресурс: <http://www.xiron.ru/content/view/30178/28/> Дата обращения 23.05.2017]

7. Kutsakova V.E., Frolov S.V. Osmotic processes in food products. Fish and meat salting: Study guide — SPb.: NIU ITMO; IKhiBT. — 2014. — 41 pages.
8. Ryutov D.G., Khristodulo D.A. Fast freezing of meat -M.: Pishepromizdat-1936. — 197 pages.
9. Ishevskiy A.L., Davydov I.A. The use of preserving agents in meat product manufacture // Myasnoy ryad — 2016. — No. 2(64). — pp. 34–37.
10. Ishevskiy A.L., Domoratsky S.S., Grishina I.V. Express assessment of food shelf-life // Meat technology — 2011. — No. 2. — pp. 28–30
11. Water Relations of Foods. Under the editorship R. B. Duckworth (Translation from English), M., Food Industry, 1980, 376 pages.
12. Ishevskiy A.L., Chernikov E.M., Basarnova Yu.G. Assessment of intergral indicators of meat pâté competitiveness // Meat technology — 2011. — No.5. — pp. 62–64.
13. Kaim G. Technology of meat processing: German practice. Translation from German by G.V. Solovyova, A.A. Kurelenkova — SPb.: Profession, 2006 — 488 pages.
14. Prospects for liquid nitrogen using for food fast freezing. [Electronic resource: Date of access 15.05.2017]
15. Classification of food thawing methods [Electronic resource: <http://www.xiron.ru/content/view/30178/28/> Date of access 23.05.2017]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Ишевский Александр Леонидович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии мясных, рыбных продуктов и консервирования холодом, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Университет ИТМО 191002, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова д. 9
Тел.: +7-812-315-23-81
E-mail: ishev.53@mail.ru

Давыдов Илья Алексеевич — аспирант кафедры технологии мясных, рыбных продуктов и консервирования холодом, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Университет ИТМО 191002, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9
Тел.: +7-812-315-23-81
E-mail: davi92@mail.ru

Критерии авторства

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 30.05.2017

AUTHOR INFORMATION

Affiliation

Ishevskiy Alexander Leonodovich — doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Meat and Fish Processing and Refrigeration, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, ITMO University 191002, St. Petersburg, Lomonosov str., 9
Tel.: +7-812-315-23-81
E-mail: ishev.53@mail.ru

Davydov Ilya Andreevich — PhD student, Department of Meat and Fish Processing and Refrigeration, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, ITMO University 191002, St. Petersburg, Lomonosov str., 9
Tel.: +7-812-315-23-81
E-mail: davi92@mail.ru

Contribution

The authors equally contributed to the writing of the manuscript and are equally responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 30.05.2017