

ВВЕДЕНИЕ

С самых древних времен и до наших дней одним из основных стремлений человечества было научиться сохранять продукты питания свежими как можно дольше.

Сохранение качества, вместе с ним полезные свойства продуктов зависит от трех факторов: температуры, влажности и состава воздуха. Оптимальные значения температуры, влажности и состава воздуха для хранения пищевых продуктов достигаются с помощью специальных помещений (кладовка, погреб и т.д.), технологического оборудования (в том числе холодильного) и специальной упаковочной тары.

Увеличение срока хранения продуктов питания можно достичь при помощи многочисленных способов их обработки (консервирования): заморозки, сушки, копчения, варки, соления, засахаривания, маринования, квашения и спиртования. Изменяется не только длительность хранения, но и вкусовые качества – появляются новые разновидности продуктов питания.

Из-за изменчивости свойств пищевых продуктов, действие холода на них требует особенного изучения. Свойства пищевых продуктов меняются в зависимости от их состава: количества питательных веществ и воды, которые создают благоприятную среду для жизнедеятельности и размножения микроорганизмов. Кроме этого в организме и во время жизни и после смерти протекают химические процессы, связанные с изменениями биологически активных веществ.

Даже у товаров одной группы, с одинаковым составом свойства могут значительно меняться, например, содержание влаги и жира в тканях одной и той же разновидности рыб в течение года может колебаться в пределах 20 %. Химический состав и, следовательно, свойства говядины определяются возрастом, упитанностью и значительно меняются для отдельных органов и тканей. У пищевых продуктов растительного происхождения определяющими факторами являются мера созревания и время года. Поэтому, физические и химические свойства продуктов претерпевают посмертные изменения, которые варьируются во времени в широком диапазоне значений, в зависимости от особенностей самого объекта и внешних условий.

Также нужно отметить, что многим продуктам присуща сложная микроструктура и стереометрическая неоднородность распределения составляющих частей, различных по составу и свойствам. Особо следует отметить разницу в химических и физических свойствах между пищевыми продуктами животного и растительного происхождения и, соответственно, между продуктами, получаемыми из них.

Перечисленные особенности свойств пищевых продуктов показывают, что процессы холодильной обработки описать точно не является возможным, поэтому в холодильной технологии наибольший интерес представляет задача определения всего комплекса теплофизических характеристик (ТФХ) объектов.

К основным теплофизическим характеристикам пищевых продуктов относятся: энтальпия, теплоёмкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, теплота фазовых переходов. При этом необходимо знать не только количественное значение перечисленных величин, но и их функциональную зависимость от температуры объекта исследования. Это объясняется тем, что с помощью ТФХ можно оценивать продолжительность холодильных процессов и процессов отепления, размораживания, сушки продуктов; особенности происходящих внутри продуктов фазовых превращений и их влияния на сохранность и качество. ТФХ пищевых продуктов используются при расчёте экономических и эксплуатационных возможностей установок, используемых в пищевой и холодильной промышленности. Тем самым знание ТФХ пищевых продуктов даёт возможность выбора оптимальных режимов технологической

обработки и помогает в создании рациональных конструкций технологических аппаратов и установок.

Теплофизические процессы занимают в холодильной технологии одно из ведущих мест, поскольку основу холодильной технологии составляет регулирование изменений пищевых продуктов, влияющих на их качество, посредством регулирования теплофизического параметра - температуры. Поэтому управление этим средством воздействия составляет основу теплофизических процессов.

Решение инженерных задач для создания и установления рациональных условий в камерах хранения (температуры и влажности воздуха), обеспечивающих сохранение качества и минимальные естественные потери (усушку), выбор технических средств для поддержания технологических параметров в камерах хранения, является теплофизическим.

При холодильном консервировании, процессы, происходящие в продуктах в основном являются теплофизическими процессами.

Основной целью при решении теплофизических задач холодильной технологии в области сохранения пищевых продуктов является разработка процессов внешнего воздействия на пищевые продукты при холодильной обработке и хранении и нахождение рациональных режимов такого воздействия с учетом свойств продуктов, сроков хранения и потребительского назначения.

Глава 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

1.1 Принципы холодильной обработки и хранения пищевых продуктов

Все процессы, происходящие при хранении продовольственных продуктов, вызывают количественные и качественные изменения их физических, химических свойств. В зависимости от природы изменений такие процессы можно подразделить на физические, химические, биологические.

Физические процессы – это процессы, вызывающие изменения свойств товаров под воздействием внешних факторов. К ним относятся сорбционные (сорбция и десорбция воды, кислорода и других летучих веществ), термические (охлаждение, замерзание и нагревание) и деформационные (деформация, бой, раздавливание, механические повреждения) процессы. Биохимические процессы – процессы, осуществляемые с помощью живых микроорганизмов.

При хранении сырья и продуктов должны соблюдаться требования санитарных норм в соответствии с нормативными документами. Ответственность за соблюдения и контроль санитарных правил несут руководители предприятий, которые производят и транспортируют скоропортящиеся продукты, предприятия общественного питания.

Большое значение имеет правильное размещение товаров с учетом максимального использования площади складов, возможности применения механизмов, обеспечения безопасности работы персонала, оперативного учета товарно-материальных ценностей.

Для предотвращения потерь и порчи пищевых продуктов необходимо обеспечить в складских помещениях оптимальный режим хранения товаров в соответствии с их физико-химическими свойствами. Режим хранения предполагает определенную температуру, скорость движения воздуха, относительную влажность. Следует строго следить за соблюдением сроков реализации продуктов, особенно скоропортящихся.

Одним из наиболее надежных и распространенных методов хранения является хранение с помощью искусственного холода, что обусловлено прекрасными консервирующими свойствами содержащейся в них воды, если она полностью или частично переведена в кристаллическое состояние. Общеизвестно, что для превращения свободной воды в лед достаточно охладить ее чуть ниже 0°C и поддерживать при этой температуре. Однако в пищевых продуктах лишь малая доля воды находится в свободном состоянии. Значительная часть ее сложным образом связана с основными компонентами продукта на молекулярном, клеточном и капиллярном уровнях, поэтому процесс кристаллизации (замерзания) воды происходит не при фиксированной температуре (0°C), а растягивается на широкую область температур (до минус 30°C и более), резко воздействуя на все тепловые характеристики продукта. Характер процессов кристаллизации у продуктов индивидуален, поэтому для оптимизации режимов их термической обработки нужны детальные сведения о всех тепловых и влажностных свойствах каждого вида продукта во всей области кристаллизации.

Это относится ко всем технологическим процессам консервирования пищевых продуктов с помощью холода: *охлаждению, подмораживанию, замораживанию, хранению, отпелению и размораживанию* [1].

Каждый из перечисленных технологических процессов тесно связан с биохимическими, микробиологическими и биофизическими процессами, направленность которых в каждом конкретном случае определяется индивидуальными особенностями каждого вида продукта как растительного, так и животного происхождения.

В области сохранения пищевых продуктов перед холодильной технологией стоят следующие задачи:

- изучение состава, структуры и свойств пищевых продуктов;
- изучение изменений в пищевых продуктах, вызываемых понижением их температуры;
- поиск способов наиболее эффективного регулирования изменений в желаемом направлении в основном посредством понижения температуры, а если необходимо, то и с привлечением дополнительных средств, помогающих управлять этими изменениями;
- разработка рациональных, с точки зрения сохранения питательных свойств продукта, процессов холодильной обработки и хранения продуктов;
- нахождение наиболее благоприятных режимов осуществления таких процессов в соответствии со всеми особенностями каждого вида продукта и свойственных ему изменений.

Для успешного выполнения перечисленных выше задач необходимо знать свойства различных материалов и продуктов, которые подвергаются хранению и дальнейшей технологической обработке. Среди них важное место занимают теплофизические свойства и их количественные характеристики. Развитие, совершенствование и интенсификация процессов холодильной обработки базируются на общем принципе современной технологии: от знания и анализа теплофизических свойств материалов (продуктов) как объектов обработки - к выбору методов и оптимальных режимов процесса, и на этой основе - к созданию рациональной конструкции технологических аппаратов и установок.

Сырье, материалы и продукты пищевой промышленности представляют собой сложные объекты обработки. Это обычно гетерогенные системы - твердые тела разнообразной структуры и жидкие растворы различной концентрации, в которых могут находиться и газовые включения.

1.2 Структура и состав пищевых продуктов

Структура пищевых продуктов. Пищевые отрасли перерабатывают огромное количество сырья – от простых минеральных соединений до живых организмов. Естественно, что для направленной обработки столь сильно различающегося по свойствам сырья необходимо использовать разнообразные технологические операции, существенно различающиеся по формам воздействия, интенсивности и характеру подведения энергии к обрабатываемым материалам.

Все сырье по происхождению можно разделить на две большие группы: органическое (растительное), животное (неорганическое).

В зависимости от группы строение, химический состав и структура продуктов весьма разнообразны по качественному и количественному составу.

Во всём огромном многообразии мира растений, животных, грибов и бактерий обнаружено единство их строения. Оно заключается в том, что в основе строения почти всех организмов лежит биологическая структурная единица - клетка.

Клетка - мельчайшая жизнеспособная единица живого организма, это элементарный организм, основная частица, которая сохраняет все возможности целого организма. Клетка может существовать как самостоятельный организм (одноклеточные водоросли) или же формировать многоклеточные организмы, в которых они выполняют различные функции. К продуктам клеточного строения, или волокнистым пищевым продуктам, относят пищевые продукты, содержащие волокнистые структуры, образующие нерегулярный каркас (сетку), определяющий в основном консистенцию продукта.

Говоря о продуктах клеточного строения животного происхождения, подразумевается мышечные ткани животных.

Структура продуктов растительного происхождения образована растительными волокнами. Волокна, из которых состоит структурный каркас продукта, имеют большую прочность сравнительно с другими его частями, что является определяющим фактором для его структурно-механических свойств. Структурно-волоконистая сетка имеет нерегулярный характер, так как её образование зависит от вида, возраста, созревания продукта, так что прочностные свойства и консистенция продукта одного вида, возраста могут варьировать в широких пределах.

Волокнистая клеточная структура начинает развиваться с мелких, легко разделенных клеток с тонкими стенками. Далее стенки клеток становятся толще, и в результате прочно соединенные группы клеток образуют грубые, одревесневшие и длинные волокна.

На образование и огрубление волокон влияют условия выращивания, в том числе температура и влажность и стадия зрелости.

Однотипные растительные клетки, объединенные по анатомо-физиологическому принципу, образуют комплексные ткани плодов и овощей. Основными тканями плодов и овощей являются покровные, запасающие, механические, проводящие.

Покровные ткани располагаются снаружи плодов и овощей, защищают внутренние ткани от неблагоприятных внешних воздействий и от действия фитопатогенных микроорганизмов. К покровным тканям относят эпидермис (вместе с кутикулой) и перидерму.

Запасающая (паренхимная) ткань состоит из паренхимных клеток, в которых сосредоточены питательные вещества. Запасающая ткань занимает особое место в плодах и овощах. В паренхимных клетках луковиц, корневищ, клубней, корнеплодов, листовых и плодовых овощей и сочных плодов накапливаются и хранятся различные углеводы, кислоты, жиры, белки, витамины, танины и другие вещества. Они используются клеткой для дыхания и других обменных процессов. Паренхимные клетки довольно просты, они не имеют особой специализации. Оболочки запасающих тканей тонкие, целлюлозные, они имеют по всем направлениям приблизительно одинаковый диаметр.

Механическими тканями являются колленхима и склеренхима.

Мышечные ткани животных и человека состоят из мышечного волокна (клетка), которые являются их основным структурным элементом. В то же время содержание соединительной ткани неодинаково в различных частях туши. Биологическая ценность, перевариваемость, усвояемость и вкусовые качества мяса во многом определяются структурой и состоянием соединительной ткани и составляющих её компонентов.

Состав пищевых продуктов. Вещества, входящие в состав пищевых продуктов, делятся на неорганические и органические. К неорганическим веществам относятся вода и минеральные вещества, к органическим – белки, углеводы, жиры, кислоты, витамины, ферменты, фенольные, красящие, ароматические и другие вещества.

Каждое из этих веществ, входящие в состав пищевых продуктов, имеет для организма человека определенное значение: одни обладают питательными свойствами (белки, углеводы, жиры), другие придают продуктам определенные вкус, аромат, окраску и играют соответствующую роль в воздействии на нервную систему и органы пищеварения (органические кислоты, дубильные, красящие, ароматические вещества и др.), некоторые вещества обладают бактерицидными свойствами (фитонциды).

Белки являются наиболее сложной и биологически важной составной частью всех пищевых продуктов. С белками связаны разнообразные жизненные проявления живого организма - пищеварение, движение, сокращение мышц, раздражимость, способность к росту и размножению. Белковые вещества состоят из двадцати известных аминокислот и состоит в трех состояниях: твердом (кожа, волосы, шерсть), сиропообразном (яичный белок) и жидком (молоко и кровь). Белковые вещества в воде не растворяются, а только набухают в воде. Набухания белков в воде важно при изготовлении теста в хлебопечении и в

макаронном производстве, при производстве солода. Белки свертываются и выпадают в осадок под действием температуры, органических растворителей, кислот или солей. Процесс свертывания и выпадения белков в осадок называется *денатурацией*.

Поэтому, пищевые продукты, обработанные высокими температурами, содержат денатурированный белок. Данное свойство используется при выпечке хлеба и кондитерских изделий, при сушке плодов, овощей, грибов, молока, рыбы. Биологическая ценность белков характеризуется аминокислотным скором, по которому судят о незаменимых аминокислотах, которые организмом не вырабатываются. Наиболее полноценными являются белки мышечной ткани мяса, молока, сои, бобов, гороха, гречневой крупы, рыбы, яиц, картофеля. Белки кукурузы, проса и другие являются неполноценными. Примерное содержание белков в пищевых продуктах колеблется: в сыре - 22-27 %, в мясе - 15-22,5, в рыбе - 14-22, в твороге - 16,1, в яйцах - 12,5, в хлебе - 6-10,3, в картофеле - 2, в плодах и овощах - 0,5-6,5 %.

Усвояемость белков колеблется от 70 % (картофеля и круп) до 96 % (молочных продуктов и яиц). Ценность питания повышается при сочетании белков животного и растительного происхождения. На долю животных белков - основного источника качественной сбалансированности аминокислотного состава пищевого рациона - должна приходиться половина общего количества белков.

Углеводы являются органическими веществами, они имеют в своем составе водород и кислород, углерод и являются необходимой составной частью пищи человека и животных. Состав углевода в продуктах растительного происхождения углеводы составляют до 80% от сухой части, а в продуктах животного происхождения не более 2%. Углеводы принято делить на две группы: простые и сложные.

Углеводы образуются при фотосинтезе в зеленых листьях растений из углекислого газа воздуха и получаемой из почвы воды. В растениях на долю углеводов приходится до 90 % сухой массы. В продуктах животного происхождения их значительно меньше - около 2 % сухой массы (за исключением меда). Углеводы являются основным источником энергии в организме человека и в рационе питания занимают первое место. В зависимости от строения молекул углеводы подразделяют на три класса: простые углеводы, или моносахариды, олигосахариды и полисахариды. К *моносахаридам* относятся углеводы, молекулы которых построены из трех, четырех, пяти или шести углеродных атомов (соответственно триозы, тетрозы, пентозы, гексозы). Наиболее важными из них являются гексозы (глюкоза, галактоза и фруктоза) и пентозы (арабиноза, ксилоза, рибоза и дезоксирибоза). В пищевых продуктах в свободном виде в значительных количествах встречаются только *глюкоза* и *фруктоза*. *Глюкоза* (виноградный сахар) в продуктах питания чаще всего находится совместно с фруктозой. В чистом виде она усваивается организмом лучше других углеводов. Содержится в плодах, овощах, меде, является составной частью свекловичного сахара, мальтозы, лактозы, клетчатки, крахмала. *Фруктоза* (плодовый сахар) в свободном состоянии находится главным образом во фруктах, ягодах и овощах. В некоторых плодах и овощах (яблоках, грушах, арбузах) она является преобладающим сахаром. Из продуктов животного происхождения значительное количество фруктозы содержится в меде. Она обладает более сладким вкусом, чем сахароза, и этим объясняется высокая сладость меда. Глюкоза и фруктоза являются хорошими восстановителями и относятся к редуцирующим сахарам, которые, обладая высокой реакционной способностью (соединяются с аминокислотами) и гигроскопичностью, могут быть причиной потемнения и увлажнения продуктов. Поэтому содержание этих углеводов в сахаре, карамели, халве и других продуктах ограничивается. *Олигосахариды* - это углеводы, молекулы которых состоят из моносахаридов. К ним относят сахарозу, мальтозу, лактозу. Сахароза (свекловичный или тростниковый сахар) является самым распространенным сахаром в продуктах растительного происхождения. В промышленном масштабе ее получают из сахарной свеклы или сахарного тростника. Она находится также в плодах (до 2-3 %), арбузах и дынях (до 4-5 %). При гидролизе сахарозы

образуется равное количество глюкозы и фруктозы. Эта смесь Сахаров называется инвертным сахаром. Мальтоза (солодовый сахар) встречается в свободном виде в патоке и сое. Получают ее кислотным или ферментативным гидролизом крахмала. Мальтоза обладает менее сладким вкусом, чем сахароза. Лактоза (молочный сахар) имеет большое физиологическое значение, так как содержится в молоке и молочных продуктах. Это наименее сладкий сахар. *Полисахариды* состоят из шести и более остатков моносахаридов. К ним относятся крахмал, гликоген, инулин, целлюлоза (клетчатка). *Крахмал* является одним из важнейших резервных углеводов растений. Он синтезируется растениями и накапливается в виде крахмальных зерен в клубнях, плодах, зерне хлебных злаков. Содержание крахмала колеблется от 12-24 % в клубнях картофеля до 68-82 % в зернах риса. В различных растениях крахмальные зерна имеют различную величину, форму и строение. Наиболее крупные крахмальные зерна у картофеля, мелкие - у риса и гречихи. В картофеле, крупах, хлебе крахмал является основным углеводом. Кроме того, из зерна и картофеля вырабатывают различные виды крахмала, который используется как самостоятельный пищевой продукт. *Гликоген* (животный крахмал) является запасным углеводом животных, который откладывается в мышечной ткани (до 4 %) и печени (до 20 %). Все жизненные процессы сопровождаются гликолизом - биохимическим расщеплением гликогена. Этот процесс протекает после убоя животных и влияет на качество мяса и рыбы при созревании. Инулин содержится в земляной груше (около 17 %) и в цикории (13-17 %). Он хорошо растворяется в горячей воде, образуя при этом коллоидный раствор. При гидролизе инулин превращается во фруктозу. Он рекомендуется для больных, страдающих диабетом. Целлюлоза (клетчатка) - распространенный полисахарид. Большая часть клетчатки организмом человека не усваивается. Повышенное содержание ее в продукте снижает его усвояемость, пищевую ценность, ухудшает вкус. Суточное потребление клетчатки - 25 г. В пищевых продуктах содержание целлюлозы колеблется от 0,5-2,8 % (в плодах и овощах) до 11,5-13 % (в гречихе).

Жиры. По происхождению делят на растительные (масла) и животные. Жиры и жироподобные вещества по химической природе представляют собой сложные эфиры глицерина и жирных кислот. По консистенции жиры делят на жидкие и твердые. Жидкая консистенция их объясняется содержанием в жирах большого количества ненасыщенных жирных кислот, имеющих двойные связи. К твердым растительным жирам относят масло кокосовое, пальмовое, какао-масло; к жидким - подсолнечное, хлопковое, оливковое, льняное; к твердым животным жирам относят жир говяжий, бараний, свиной, масло коровье; к жидким - жиры рыб и морских животных. Характерной особенностью всех жиров является то, что они легче воды, не растворяются в ней, а только в органических растворителях.

Жиры легко подвергаются омылению, окислению, прогорканию, гидрированию и другим процессам, поэтому при хранении необходимо учитывать эти свойства. Жирами богаты растительные и коровье масла, топленые и кулинарные жиры, маргарин, орехи, семена масличных культур и др. Мало жиров в плодах и овощах (до 0,5 %), в зернах злаков (1,5-6,0 %), в макаронных и хлебобулочных изделиях (до 1 %). В зависимости от температуры плавления различные жиры усваиваются организмом неодинаково. Так, чем ниже температура плавления жира, тем он легче усваивается. Температура плавления жира составляет (в градусах С): коровьего - 26-32, говяжьего - 42-52, свиного - 33-46, бараньего - 44-55.

В организме человека они находятся в виде протоплазматического вещества и запасного жира, при окислении выделяют большое количество энергии и одновременно служат растворителями жизненно необходимых человеку веществ.

Липиды состоят из жиров и жироподобных веществ (липоидов). Они содержатся в каждой клетке организма, участвуют в обмене веществ и синтезе белков, используются для построения мембран клеток и жировой ткани. В продуктах питания из липидов преобладают жиры, которые имеют большое значение в питании, так как обладают самой высокой

энергетической ценностью (37,7 кДж). Дневная потребность человека в жирах - 90-100 г, в том числе растительного и сливочного масел - по 25, жиров молока, мяса и других продуктов - 25-30, маргарина или кулинарных жиров - 15-20 г.

Из липоидов в пищевых продуктах в значительных количествах встречаются фосфолипиды, стерин и воска. Большинство из них входит в состав нервной ткани мозга, сердца и печени. Наиболее часто встречаются фосфолипиды *лецитин* и *кефалин*, из стеринов - *холестерин*. Много его в мозге, яичном желтке, в плазме крови. Холестерин способствует эмульгированию жира, а также обезвреживанию бактериальных гемотоксинов в организме. Избыточное накопление холестерина в организме может привести к атеросклерозу, к желчекаменной болезни. В растительных клетках и дрожжах содержится эргостерин, который под действием ультрафиолетовых лучей превращается в витамин D.

Воском покрывают поверхность плодов и овощей, предохраняя их от проникновения микроорганизмов и испарения влаги; они содержатся в растительных жирах и затвердевают при низких температурах хранения, вызывая помутнение. Пищевой ценности они не имеют.

Кислоты в пищевых продуктах содержатся органические и неорганические. Из органических кислот преобладают муравьиная, уксусная, молочная, щавелевая, винная, бензойная. Они придают продуктам кислый вкус, участвуют в обмене веществ в живых растительных и животных организмах, используются для консервирования. Пища, содержащая кислоты, оказывает возбуждающее действие на пищеварительные железы и хорошо усваивается организмом. Дневная потребность человека в кислотах составляет 2 г. Больше всего органических кислот содержится в плодах и овощах. *Уксусная кислота* содержится в плодово-ягодных и овощных соках, хлебе, вине; *молочная* - находится в молоке, кисло-молочных продуктах, хлебе, мясе, рыбе, квашеных плодах и овощах; *яблочная* - встречается в яблоках, винограде, рябине, томатах и др.; *винная* - в винограде, айве, косточковых плодах; *лимонной кислотой* богаты лимоны, клюква, апельсины, земляника. Содержание и состав кислот в продуктах при хранении изменяются. При длительном хранении пищевых жиров в неблагоприятных условиях увеличивается количество свободных жирных кислот. При хранении плодов в условиях низких температур кислоты обычно раньше других веществ расходуются на дыхание, в результате чего нарушается присущее плодам соотношение сахара и кислоты, ухудшается их вкус. Повышенное содержание кислот в продуктах свидетельствует об их несвежести. Так, содержание в виноградных винах летучих органических кислот в количестве до 0,1 % улучшает их аромат, а при 0,2 % появляется резкий кислый вкус.

Витамины - это физиологически активные низкомолекулярные органические соединения, небольшое количество которых способно обеспечивать нормальное течение физиологических и биохимических процессов в организме человека. Они регулируют обмен веществ в клетках организма человека и способствуют повышению его сопротивляемости заболеваниям, так как являются катализаторами биохимических реакций. Вырабатываются витамины главным образом растениями, некоторые могут синтезироваться клетками животных тканей и органов или микрофлорой желудочно-кишечного тракта. Организмом человека витамины не вырабатываются. Суточная потребность в различных витаминах ничтожно мала и составляет 0,1-0,2 г. В настоящее время известно более 50 витаминов. Каждый из них имеет буквенное обозначение и название, соответствующее его химическому составу или действию на организм человека. В зависимости от способности к растворению витамины подразделяют на две группы: растворимые в жирах - А, D, E, K и растворимые в воде - C, PP, B1, B3, B6, B9, B12, B15 и др.

Сохранность витаминов в пищевых продуктах в течении срока хранения может использоваться в качестве показателя, использующего метод хранения. Наилучшим можно признать метод, обеспечивающий максимальную сохранность витаминов в хранимых продуктах.

Ферменты - это специфические белки, наделенные каталитической активностью, способствующие превращениям высокомолекулярных соединений в организме человека с целью получения энергии для жизнедеятельности. Любая живая клетка выполняет свои жизненные функции под действием ферментов. По сравнению с неорганическими катализаторами ферменты обладают более сильным действием. Сущность действия фермента заключается в том, что он, направляя реакцию обходными путями, снижает энергию активации, необходимую для протекания данной реакции. Ферменты действуют строго специфично - для каждой реакции требуется определенный фермент. В настоящее время открыты и изучены более 1000 ферментов. Все они разделяются на две большие группы: однокомпонентные и двухкомпонентные. К первой относят ферменты, состоящие только из белка, обладающего каталитическими свойствами, ко второй - ферменты, которые состоят из белка и небелковой части - протетической или активной группы.

Минеральные соли входят в состав межклеточной жидкости и регулируют осмотическое давление, создавая необходимую реакцию среды. Количество минеральных солей в пищевых продуктах невелико - около 1% от общей массы.

Вода входит в состав всех пищевых продуктов, но содержание ее различно. Так, в свежих плодах и овощах ее находится 72-95 %, в мясе - 58-78, в рыбе - 62-84, в молоке - 88, в хлебе - 35-50, крахмале - 14-20, в зерне, муке, крупе - 10-14, в поваренной соли - 3, в сахарепеске - 0,14 %. Количество воды в пищевых продуктах влияет на их качество и сохраняемость. Скоропортящиеся продукты с повышенным содержанием влаги без консервирования длительное время не сохраняются. Вода, содержащаяся в продуктах, способствует ускорению в них химических, биохимических и других процессов. Продукты с малым содержанием воды лучше сохраняются.

Содержащуюся в пищевых продуктах воду делят на свободную и связанную. *Свободная вода* активно участвует в процессах, протекающих в клетках, легко испаряется. *Связанная вода* прочно соединена с другими компонентами пищевых продуктов и испаряется из них с большим трудом. Вода в пищевых продуктах находится в трех формах связи: в химической (ионная и молекулярная связи), физико-химической (влага набухания, адсорбционная) и физико-механической (влага смачивания, влага в макро- и микрокапиллярах).

В растительных и животных тканях преобладает свободная вода. Так, в свежих плодах и овощах ее содержится до 95 %, поэтому их можно сушить до содержания остаточной влажности 8-20 %, так как свободная вода из них легко удаляется.

Содержание воды в пищевых продуктах в процессе их перевозки и хранения не остается постоянным. В зависимости от особенности самих продуктов, а также условий внешней среды они теряют влагу или увлажняются. Высокой гигроскопичностью (способностью поглощать влагу) обладают продукты, содержащие много фруктозы (мед, карамель), а также сушеные плоды и овощи, чай, поваренная соль. Эти продукты хранят при относительной влажности воздуха не выше 65-70%.

Количество воды во многих продуктах, как правило, нормируется стандартами с указанием верхнего предела ее содержания, так как от этого зависят не только качество и сохраняемость, но и пищевая ценность продуктов.

В зависимости от количественного содержания минеральных элементов в пищевых продуктах различают макро-, микро- и ультрамикроэлементы.

Макроэлементы содержатся в продуктах в значительных количествах (более 1 мг%). К ним относят калий, кальций, магний, фосфор, железо, натрий, хлор и др.

Микроэлементы находятся в продуктах в небольших количествах (не более 1 мг%). Элементами этой группы являются барий, бром, йод, кобальт, марганец, медь, молибден, свинец, фтор, алюминий, мышьяк и др.

Ультрамикроэлементы содержатся в продуктах в ничтожно малых количествах (в гаммах). К ним относятся уран, торий, радий и др. Они становятся ядовитыми и опасными, если содержатся в продуктах в повышенных дозах.

Содержание минеральных веществ определяют массовой долей золы, получающейся после полного сжигания навески продукта. Зольность характеризует качество муки, крахмала, конфет, карамели, халвы, сахара, пряностей и др.

Азотистые вещества. Вещества, в состав которых, кроме углерода, водорода и кислорода, входит азот. Их подразделяют на собственно белковые соединения и соединения, содержащие азот, но не относящиеся к белковым веществам (небелковые аминокислоты, алкалоиды и др.).

Дубильные вещества относятся к полифенольным соединениям с молекулярной массой от 600 до 2000. Способность некоторых из них в соединении с белками давать прочные осадки нашла применение при дублении шкур. Полифенолы обладают фунгитоксическим действием. Терпкий вкус зеленых плодов связан с высоким содержанием в них дубильных веществ. Во время хранения плодов происходит размягчение их мякоти, переход свободных дубильных веществ в связанное состояние и исчезновение терпкого вкуса. Много дубильных веществ в чае, хурме, терне, айве, рябине, смородине, яблоках, грушах. При повреждении тканей плодов дубильные вещества в них подвергаются ферментативному окислению с образованием коричневых и красных веществ - флорафенов. Дубильные вещества чая обладают Р-витаминной активностью.

Красящие вещества делят на хлорофиллы, каротиноиды и флавоноиды. Разнообразная окраска плодов, овощей и других растений обуславливается растительными пигментами - красящими веществами.

Ароматические вещества обуславливают аромат пищевых продуктов. Они легко перегоняются с водяным паром, летучи, поэтому их запах ощущается даже при ничтожно малом содержании. Общее их количество в пищевых продуктах определяется десятками и сотыми долями процента. В пищевых продуктах находится более 400 летучих соединений. В плодах и овощах ароматические вещества входят в состав эфирных масел [1].

1.3 Режимы и способы хранения пищевых продуктов

Хранение продуктов с минимальными потерями массы и без ухудшения качества возможно только при содержании каждого из них в оптимальных условиях. Изучение подобных условий, разработка и совершенствование режимов и способов хранения продуктов – важнейшая задача теории и практики хранения. При решении этих задач прежде всего обращаются к свойствам самого продукта как объекта хранения, а затем определяют режимы и способы хранения.

Свойства продукта при хранении зависят от его химического состава, физической структуры и реакции на воздействие факторов окружающей среды. Сельскохозяйственные продукты хранить сложно, т.к. в их состав входят различные группы органических соединений, минеральные вещества и вода. Большая часть этих продуктов представляет собой многоклеточные живые организмы (клубни, корнеплоды), в тканях которых протекают различные процессы обмена веществ с участием ферментов. Хранение осложняется и наличием значительного количества свободной воды.

Кроме того, сохраняемые продукты легко доступны микроорганизмам. Так, все растения имеют пожизненную эпифитную микрофлору, а большие – и соответствующих возбудителей инфекции. При уборке урожая микрофлора пополняется микробами из окружающей среды (из почвы). При хранении все эти микроорганизмы могут активно

размножаться и влиять на величину, массу и качество продуктов. Многие продукты (зерно, семена) – хорошая питательная среда для вредителей запасов (насекомых, клещей). Активное развитие их грозит огромными потерями массы и качества.

К основным факторам, влияющим на жизнедеятельность клеток и тканей продукта, микроорганизмов, насекомых и клещей относятся температура, влажность и газовый состав окружающей среды. Поэтому все режимы и способы хранения продуктов базируются на изучении взаимосвязей между хранимым объектом и окружающей средой.

Таким образом, при хранении продуктов потребительская ценность и размеры потерь зависят главным образом от следующих причин: интенсивности биохимических процессов в тканях продукта, степени воздействия на продукт микроорганизмов, развития в массе продукта насекомых и клещей. Потери массы и качества продуктов значительно возрастают при доступе к ним грызунов и птиц.

Принципы хранения продуктов, классификация хранения продуктов. Способы хранения продуктов основаны на частичном или полном подавлении протекающих в них биологических процессов. В основе этих процессов (по классификации проф. Я.Я. Никитинского) лежат четыре принципа: *биоиз, анабиоз, ценоанабиоз и абиоз*. Каждый из этих принципов имеет по несколько модификаций.

Принцип биоиза (продукт сохраняется в живом виде). Подразделяется на 2 вида: истинный (полный) – зубиоз и частичный - гемибиоиз.

Зубиоз. Сохранение живых организмов до момента их использования. Этот метод включает мероприятия по предубойному содержанию и транспортировке скота, птицы, рыбы и других организмов. Так содержат домашний скот, птицу, сохраняют живую рыбу. При этом необходимо соблюдать рациональные условия содержания и режим кормления.

Этот принцип дает возможность планомерно загружать перерабатывающие предприятия и холодильники. Нарушение условий зубиоза – недостаточное кормление и поение животных, неправильное содержание и транспортирование – наносит большой ущерб, так как скот и птица теряют массу и общую упитанность.

Гемибиоиз. Метод заключается в хранении плодов и овощей в свежем виде без какой-либо специальной обработки. Применяют лишь меры, направленные на поддержание нормальных жизненных процессов, и некоторое ограничение их интенсивности для уменьшения расхода питательных веществ в связи с дыханием и снижения потерь массы в результате испарения влаги. Поддержание нормальных жизненных процессов и ограничение их интенсивности сводятся к определенному режиму складирования и хранения сырья. Биоиз не является методом консервирования в обычном понимании; это лишь система мер, обеспечивающих кратковременное сохранение плодов в свежем виде при поступлении сырья на завод. Для этого создаются условия, замедляющие развитие биологических процессов и исключающие заметное обезвоживание продуктов, а именно поддерживается температура, близкая 0°C и определенная влажность. Правильное применение принципа гемибиоиза позволяет снабжать население свежими растительными продуктами.

Принцип анабиоза (принцип скрытой жизни). Это приведение продукта в состояние, при котором резко замедляются или совсем не проявляются биологические процессы. Таким методом является холодильное хранение сырья и пищевых продуктов. В этой группе методов холодильное хранение имеет наибольшее промышленное значение. В таком продукте слабо протекают процессы обмена веществ в клетках, приостановлена деятельность микроорганизмов. В подобном состоянии живые организмы не уничтожены и при более благоприятных условиях могут вновь активизироваться.

Термоанабиоз - хранение продуктов при пониженных и низких температурах. Оно основано на чувствительности живых организмов и их ферментативных систем к температуре. Различают два вида термоанабиоза: психро- и криоанабиоз.

При *психроанабиозе* продукты находятся в охлажденном состоянии при температурах, близких к 0°C, но так, чтобы они не замерзли. Применяют для сохранения овощей и плодов, яиц, молочных продуктов, мяса, рыбы, продовольственного и кормового зерна. Оптимальная температура хранения овощей и плодов –1...5°C.

Криоанабиоз (хранение в замороженном состоянии). Обеспечивает сохранность продуктов в течение длительного времени. Перед употреблением их по определенным правилам оттаивают (дефростируют). Существенную роль играют как температура замораживания, так и скорость процесса. При замораживании в продукте происходят процессы изменения физического и коллоидного характера, а также изменения в составе микрофлоры. От режима и способа замораживания зависят потери массы продукта, его пищевые и вкусовые достоинства после дефростации. Термоанабиоз применяют для хранения зерна, плодов и овощей с использованием природного холодного воздуха (активное вентилирование), а также искусственного холода (холодильные установки).

Ксероанабиоз. Это хранение продуктов в сухом состоянии. Частичное или полное обезвоживание приводит к полному прекращению в нем различных биохимических процессов, лишает микроорганизмов возможности развиваться. При значительном обезвоживании прекращается жизнедеятельность насекомых и клещей. При влажности зерновых продуктов менее 10% не развиваются многие насекомые, неактивны микроорганизмы. Таким образом, при обезвоживании продуктов происходит повышение концентрации субстрата до таких пределов, при которых нет условий для нормального обмена веществ в клетках самого продукта, клетках микробов и в организме насекомых.

Влагу из продукта часто удаляют испарением, т.е. сушкой.

Сушка – старейший способ сохранения продуктов. Используя солнечные лучи, теплый сухой или подогретый воздух, обогревательные приборы люди еще в старину сушили плоды, овощи, мясо. В н.в. возможна сушка таких продуктов, как молоко, яйца, соки. В последние годы разработаны и широко применяются методы *сублимационной сушки* (вымораживанием), сушка токами высокой частоты, инфракрасными лучами и др. Современные методы и режимы сушки позволяют получать полноценные продукты с сохранением их природных свойств. Нередко сушеные продукты имеют преимущества перед свежими. Они занимают меньший объем, содержат питательные вещества в концентрированном виде и лучше усваиваются, более транспортабельны. При сушке многими способами в продуктах остаются живыми различные микроорганизмы и их споры (бактерии, дрожжи, плесневые грибы). При создании благоприятных условий микробы активизируются, развиваются и портят продукт.

Осмоанабиоз. Метод основан на создании повышенного осмотического давления в среде. Повышение давления защищает продукт от воздействия микроорганизмов и тем самым – от микробиологических процессов (гниение, плесневение). С повышением давления в клетках микробов нарушается тургор, наступает плазмолиз (отдача влаги в окружающий субстрат). Разные группы микроорганизмов выдерживают различные концентрации субстрата. Так, молочнокислые бактерии и дрожжи выдерживают значительно большие концентрации, чем гнилостные бактерии. Это позволяет регулировать ход микробиологических процессов в продукте и останавливать их. Повышения осмотического давления достигают введением соли или сахара.

Соление применяют для консервирования рыбы, овощей и т.п. Причем при солении овощей применяют такую концентрацию соли, которая угнетает гнилостные бактерии, но не ограничивает развитие молочнокислых бактерий. Так, при квашении капусты вводят соль 1,6-2% массы капусты.

Для полного консервирования продуктов методом посола требуется 8-12% массы продукта. Соль применяют в сухом виде (сухой посол) или в растворе (мокрый посол). При сухом посоле мясо или рыбу натирают солью, укладывают в тару и пересыпают солью. Растворяясь, она проникает в ткани продукта, из него выделяется вода, в результате

образуется рассол (тузлук). При мокром посоле готовят рассол (искусственный тузлук), которым и заливают продукт.

Для консервирования плодов и ягод используют сахар в большом количестве, так как дрожжи, находящиеся в ягодах, способны выдержать очень высокое осмотическое давление. Так при консервировании кипящим сиропом его нужно не менее 60% массы продукта. При консервировании без кипячения в продукт вводят удвоенное количество сахара.

Ацидоанабиоз. Метод основан на создании в продуктах более кислой среды введением пищевых кислот. Гнилостные бактерии успешно развиваются при pH, близком к 7, хорошо существуют в щелочной среде (pH более 7) и значительно хуже в кислой среде. При pH ниже 5 большинство из них не размножается. В качестве пищевых кислот используют уксусную кислоту, виноградный и плодово-ягодный уксусы.

Применение уксусной кислоты совместно с пряностями называют маринованием. Маринуют продукты с пастеризацией или без нее. В последнем случае увеличивают количество уксусной кислоты. Ее содержание в продуктах должно составлять 0,2-0,9%. При испарении или разложении уксусной кислоты маринады очень быстро портятся.

Наркоанабиоз. Основан на анестезирующем действии на организмы паров некоторых веществ (хлороформа, эфира). Отсутствие кислорода (аноксигенация) исключает возможность развития аэробных микроорганизмов (плесеней), насекомых и клещей. Дыхание клеток самого продукта приобретает анаэробный характер и вскоре прекращается совсем. Таким образом, происходит консервация продукта, сопровождающаяся гибелью многих организмов.

На практике аноксигенация создается при содержании продуктов в герметических условиях. В емкости с продуктами для ускорения консервации вводят диоксид углерода, азот, вытесняя кислород. Возможна и самоконсервация продукта, наступающая после периода, в течение которого кислород расходуется при дыхании компонентов продукта. Этот метод применяется при хранении зерна продовольственного и кормового назначения, плодов, мяса в специальных герметизированных камерах. Состав газовой среды для хранения строго определяют по соотношению кислорода, азота и диоксида углерода. Разработаны режимы регулируемых газовых сред (РГС).

Принцип ценоанабиоза. Создавая благоприятные условия для определенной группы микробов, желательных для развития, предупреждают размножение других, портящих продукт. Иногда для создания определенной направленности микробиологических процессов в продукт вводят чистую культуру или массу микробов.

Обычно используют две группы микроорганизмов: молочнокислые бактерии и дрожжи. Первые развиваясь в продукте, накапливают в нем молочную кислоту до 1-2%. Вторые выделяют значительное количество этилового спирта (до 10-14%) – сильного яда для бактерий. Часто эти оба процесса проходят параллельно. При достижении максимальной концентрации в продукте молочной кислоты или спирта прекращают свою жизнедеятельность и микроорганизмы, продуцирующие данные вещества.

Ацидоценоанабиоз. Метод широко используется при изготовлении и сохранении молочнокислых продуктов, соленоквашеных овощей и моченоквашеных плодов. В качестве сопутствующего брожения наблюдается и спиртовое.

Алкоголеценоанабиоз. В чистом виде используют в виноделии. Сбраживанием виноградного, плодового или ягодного соков (сусла) дрожжами получают натуральные столовые вина, содержащие до 9-14 объемных процентов спирта. При этом сохраняются все полезные свойства сока. Более крепкие вина (крепленые, в которые добавляют спирт) также проходят этап сбраживания суслы.

Принцип абиоза. Этот принцип предусматривает отсутствие живых начал в продукте. При этом возможны разнообразные вариации. Либо весь продукт превращается в мертвую и стерильную органическую массу, либо в нем или на его поверхности уничтожаются

определенные группы организмов, например, насекомые или микробы. Этот принцип имеет много модификаций.

Термостерилизация (термоабиоз). Это обработка продуктов повышенной температурой. При нагревании продуктов до температуры 1000С и выше все живое гибнет. Для разных продуктов, в зависимости от их физического состояния, химического состава и обсемененности микроорганизмами, необходимы и различные температурные воздействия.

Наиболее распространенный способ – это **консервирование** в герметической (жестяной или стеклянной) таре. Консервы стерилизуют в автоклавах, насыщенных паром при повышенном давлении, что обеспечивает получение температуры выше 100°С. При наименьшей температуре (100°С) стерилизуют плодовые консервы, при 112-120°С – мясные и рыбные. Продолжительность нагрева зависит от природы продуктов, их консистенции, размера и материала банок. За единицу условной консервной банки принята жестяная банка вместимостью 353 мл. При производстве некоторой продукции (соки, пюре, маринады, сахарная продукция) условная банка равна 400 г.

Применяют и другие способы стерилизации. Так, используют токи высокой частоты (ВЧ) и ультравысокой частоты (УВЧ). Консервы в стеклянной таре помещают в поле УВЧ с длиной волны менее 10 м всего на 30-120 с. за данное время продукт нагревается до кипения, стерилизуется. При этом генерация тепла происходит внутри стерилизуемого материала. Правильно приготовленные консервы хранят длительное время без изменения пищевых и вкусовых достоинств.

Термостерилизацию проводят и при более низкой температуре. Если желательно сохранить продукт в свежем виде сравнительно короткое время, его нагревают 10-30 мин до температуры 65-85°С. В результате гибнут все вегетативные клетки микробов, а в продукте не наблюдается изменений, происходящих при нагреве его до температуры 100°С и выше. Прием получил название пастеризации (по имени Л. Пастера – основоположника методов консервирования). Пастеризацию применяют в молочной промышленности, в пивоварении и т.п.

Химстерилизация (химабиоз). Продукты обрабатывают химическими средствами: антисептиками, убивающими микроорганизмы, или инсектицидами, убивающими насекомых. Так как многие химические соединения ядовиты, то их применение ограничено.

Для консервирования плодов, соков, безалкогольных напитков и некоторых кондитерских изделий применяют бензойно-натриевую соль. В больших количествах в плодоовощном производстве используют сернистую кислоту. Свежие яблоки и виноград обрабатывают сернистым ангидридом. Обработку плодов и овощей соединениями серы называют сульфитацией.

Плоды и ягоды консервируют сорбиновой кислотой. Сорбаты тормозят развитие плесневой и дрожжевой микрофлоры. Добавление сорбатов при засолке овощей способствует большей устойчивости готовой продукции при хранении.

Для консервирования зерна кормового назначения с повышенной влажностью используют препараты, содержащие серу (пиросульфат натрия), и препараты карбоновых кислот.

Химические средства применяют для уничтожения в пищевых продуктах насекомых. Зерно, муку и крупу обрабатывают препаратом 242 и др. Семена стерилизуют заблаговременно или перед посевом. Такая обработка защищает их во время хранения от активного развития плесневых грибов и другой микрофлоры. Химабиоз применяют для консервирования козювенного сыра.

Химическими средствами в жидком, аэрозольном или парообразном состоянии дезинфицируют плодо- и овощехранилища и проводят дезинсекцию зернохранилищ. Химические соединения используют и для уничтожения крыс и мышей. Газовое затравливание грызунов и применение отравленных приманок – широко распространенные

мероприятия. Для химической стерилизации пригодны только вещества, разрешенными органами здравоохранения. При этом учитывают допустимые дозировки и соблюдают технику применения веществ.

К средствам химического абиоза относят **копчение**. Его применяют для консервирования изделий из мяса и рыбных продуктов. Дым, образующийся при сжигании древесины различных пород, - хороший антисептик. В нем содержатся фенолы и метиловые эфиры, альдегиды (муравьиный, фурфурол), кетоны (ацетон), спирты (метиловый), кислоты (уксусная, пропионовая, масляная и др.), смолы и др. соединения.

Бактерицидное действие дыма очень велико. Бактерии, не образующие спор, погибают при копчении в течение 2-3 час. Даже споры сенной палочки выдерживают копчение не более 8-10 час. Стойкость копченых продуктов возрастает и вследствие их частичного обезвоживания. Особенно большой консервирующий эффект наблюдается при холодном копчении (20-40°C), когда продукт находится в коптильной камере несколько дней.

Механическая стерилизация. Микроорганизмы удаляют из продукта фильтрованием или центрифугированием. Пропуская через обеспложивающие фильтры, задерживающие дрожжевые клетки плодово-ягодных соков, эти соки частично стерилизуют без нагревания.

Лучевая стерилизация. Новый прием абиоза, направленный на уничтожение микроорганизмов или насекомых. Для этого применяют ультрафиолетовые, инфракрасные, рентгеновские и гамма-лучи. Облучение скоропортящихся продуктов или окружающей их среды ультрафиолетовыми лучами позволяют некоторое время сохранять продукты без применения холода.

Разработаны методы дезинсекции и дезинфекции некоторых продуктов облучением инфракрасными лучами.

Хороший стерилизующий эффект без изменения вкусовых и пищевых достоинств продукта дают определенные дозы бета- и гамма- лучей.

Созданы промышленные установки для лучевой стерилизации товарного зерна и других продуктов. Однако этот метод требует совершенствования.

Холодильное хранение. В пищевой промышленности применяют искусственный холод в двух модификациях, соответствующих создаваемым температурам: 1) умеренным действием которых сырье и продукты его переработки охлаждаются до температуры не ниже криоскопической, т.е. той температуры, при которой сырье и пищевые продукты замерзают; 2) более низким температурам, под действием которых сырье и пищевые продукты замерзают.

В связи с этим различают хранение в охлажденном состоянии и хранение в замороженном состоянии.

Хранение в охлажденном состоянии. При пониженных температурах сильно замедляются биохимические процессы, протекающие в растительном сырье, а также резко снижается активность микроорганизмов.

Особенно сильно отражается температура хранения на таком важном биохимическом процессе, как дыхание. Чем выше температура хранения, тем больше интенсивность дыхания и тем меньше продолжительность жизни плода. С понижением температуры интенсивность дыхания сильно замедляется, а время хранения плодов возрастает.

Снижение биологической и биохимической активности плодов и микроорганизмов при понижении температуры объясняется, с одной стороны, известной зависимостью скорости химических реакций от температуры, с другой, - тем, что цитоплазма (носитель жизненных функций микробных и растительных клеток) наркотизируется под влиянием холода и ее проницаемость падает. Из-за этого замедляется обмен веществ, снижается поступление кислорода извне через сузившиеся поры цитоплазменной мембраны, уменьшается подача изнутри сахаристого сока в капиллярные каналы оболочки. В результате жизнь клетки

замирает, не прекращаясь совсем, и она впадает в состояние анабиоза. Кроме того, снижается активность ферментов.

Хранение в охлажденном состоянии вызывает минимальные изменения натуральных свойств сырья и может продолжаться несколько недель, т.е. гораздо дольше, чем метод биоза

Хранение в замороженном виде. При этом методе сырье или пищевой продукт замораживают до температуры, значительно более низкой, чем соответствующая температура замерзания, и затем хранят в замороженном виде.

Замороженные пищевые продукты и сырье можно хранить в течение многих месяцев. Это объясняется не только количественной разницей в низкотемпературном уровне процессов замораживания и холодильного хранения, но и тем, что в замороженных пищевых продуктах большая часть влаги находится в твердом состоянии. Поэтому микроорганизмы, которые питаются осмотическим путем (всасыванием жидких питательных сред), лишаются возможности использовать отвердевшие пищевые продукты, содержащие небольшую долю влаги в жидком состоянии.

Кроме того, из-за отсутствия жидкой фазы прекращается деятельность ферментов, в связи с чем приостанавливаются и биохимические процессы. Тот факт, что общепринятый температурный уровень, до которого доводят почти все замораживаемые пищевые продукты, составляет минус 18 °С, объясняется главным образом тем, что при этой температуре подавляющее количество влаги превращается в лед.

Важно понимать, что при использовании метода замораживания сырья и пищевых продуктов принцип анабиоза относится (да и то не в полной мере) только к микроорганизмам. Плоды и овощи, например, как живой организм, погибают.

Следует иметь в виду то, что однажды заморозив пищевые продукты до минус 18 °С, необходимо поддерживать эту температуру до тех пор, пока продукт не попадет на стол к потребителю. Стоит лишь, пусть на короткое время, несколько повысить температуру замороженного пищевого продукта хотя бы до минус 10 °С, как микроорганизмы, «оправившись от шока», вызванного воздействием температурного уровня минус 18 °С, возвращаются к нормальной жизнедеятельности, которую уже не остановить повторным понижением температуры среды до минус 18 °С.

Поэтому при использовании замораживания требуется соблюдать принцип так называемой единой холодильной цепи [2].

1.4 Свойства и формы связи воды в пищевых продуктах

Основным компонентом сырья и готовых пищевых продуктов является вода. Вода в пищевых продуктах играет важную роль, т. к. является основным компонентом сырья и готовых пищевых продуктов, обуславливает консистенцию и структуру продукта, а ее взаимодействие с присутствующими компонентами определяет устойчивость продукта при хранении.

В пищевых продуктах вода содержится в виде растворов. Содержание в воде веществ, образующих с ней истинный раствор, обуславливает изменение ее характерных свойств: снижение температуры начала замерзания (криоскопической температуры), повышение температуры кипения и снижение давления водяного пара над раствором.

Жидкие растворы, состоящие из молекулярной смеси двух или более чистых химических веществ, играют в современных технологических процессах очень важную роль. Количественно растворы характеризуются концентрацией входящих в них веществ. Концентрацию чаще всего выражают в массовых, весовых долях (как отношение массы

компонента к общей массе раствора), называя ее массовой концентрацией, и в молярных долях (как отношение числа молей компонента к общему числу молей в растворе), называя ее соответственно молярной концентрацией. При расчетах более предпочтительна молярная концентрация, так как она непосредственно определяет соотношение числа молекул компонентов в растворе. Простейшими являются бинарные растворы, состоящие из двух веществ – растворителя и растворенного вещества. Как известно, наиболее распространенным растворителем является вода.

Массовая доля воды в продуктах колеблется в широких пределах: в растительных продуктах - от 80 % для груш до 95 % для помидоров и огурцов; в животных продуктах - от 50 % для жирной свинины до 78 % для говядины.

В пищевых продуктах вода может быть в свободном и в связанном состоянии.

Свободная вода находится в виде мельчайших капель на поверхности или в массе продукта. В свежих овощах, плодах, мясе, рыбе свободная вода находится в клеточном соке и между клетками, а в таких продуктах, как сушеные плоды, овощи, сухое молоко, чай — в микрокапиллярах. Свободная вода легко удаляется из продукта при замораживании, высушивании, прессовании, отжати. Плотность свободной воды около единицы, температура замерзания 0°C, в ней нормально развивается микрофлора. За счет свободной воды происходят усушка, потеря массы и качества продуктов.

Связанной водой называют воду, молекулы которой более или менее прочно соединены с другими веществами продукта. Связанная вода с трудом удаляется из продуктов. Вода свободная и связанная при хранении и переработке пищевых продуктов может переходить из одного состояния в другое и вызывать изменение их свойств. Например, во время хранения хлеба связанная вода частично переходит в свободное состояние, в результате чего происходит его черствение.

Вода содержится во всех пищевых продуктах, но в разных количествах. Минимальное ее количество в сахаре (0,1—0,4%), в растительном масле, в кулинарных жирах (0,2—1,0%), в леденцовой карамели, сухом молоке, чае (0,5—5,0%), в муке, крупе, сушеных плодах и овощах (12—17%). Воды в свежих плодах и овощах 65—95%, молоке — 87—90, мясе — 58—74, рыбе — 62— 84, пиве— 80—89%.

Содержание воды в продуктах существенно влияет на их пищевую ценность, потребительские свойства, условия хранения. Чем больше в продуктах воды, тем ниже их питательная ценность и меньше срок хранения. Пищевые продукты с большим количеством воды нестойки в хранении, так как в них легко развиваются микроорганизмы и активно проходят ферментативные процессы. Такие товары, как молоко и молочные продукты, овощи и фрукты, мясо и рыба, являются скоропортящимися. Продукты сушеные, а также содержащие меньшее количество влаги, например крупа, макароны и пр., хранятся значительно дольше.

В каждом пищевом продукте содержание воды должно быть определенным: увеличение содержания воды в печенье, крупе, муке, чае вызывает плесневение, в варенье, меде — брожение, а его уменьшение в овощах, плодах приводит к их быстрой порче.

Некоторые продукты обладают высокой гигроскопичностью, т.е. легко поглощают пары воды из воздуха. Например, большой гигроскопичностью обладают чай, соль, сахар, сушеные овощи, плоды, сухое молоко.

Содержание воды в пищевых продуктах при перевозке, хранении изменяется. В зависимости от условий внешней среды, а также от особенностей своего состава продукты теряют влагу или, наоборот, увлажняются. Содержание влаги для многих продуктов является обязательным показателем качества.

Общая влажность продукта указывает на количество влаги в нем, но не характеризует ее причастность к химическим, биохимическим и микробиологическим изменениям в

продукте. В обеспечении его устойчивости при хранении важную роль играет соотношение свободной и связанной влаги.

Поэтому основным методом удлинения сроков хранения пищевых продуктов всегда было уменьшение содержания влаги путем концентрирования или дегидратации.

Однако часто различные пищевые продукты с одним и тем же содержанием влаги портятся по-разному. Чтобы учесть эти факторы, был введен термин "активность воды". Этот термин безусловно лучше характеризует влияние влаги на порчу продукта, чем просто содержание влаги. Водная активность хорошо коррелирует со скоростью многих разрушительных реакций, она может быть измерена и использована для оценки состояния воды в пищевых продуктах и ее причастности к химическим и биохимическим изменениям.

Активность воды (a_w) — это отношение давления паров воды над данным продуктом к давлению паров над чистой водой при той же температуре. Это отношение входит в основную термодинамическую формулу определения энергии связи влаги с материалом. В продуктах с низкой влажностью могут происходить окисление жиров, неферментативное потемнение, потеря водорастворимых веществ (витаминов), порча, вызванная ферментами. Активность микроорганизмов здесь подавлена.

В продуктах с промежуточной влажностью могут протекать разные процессы, в том числе с участием микроорганизмов. В процессах, протекающих при высокой влажности, микроорганизмам принадлежит решающая роль [1].

1.5 Микроорганизмы пищевых продуктов в холодильной технологии

В большинстве случаев ухудшение качества и последующая порча продуктов питания обусловлены рядом сложных химических изменений, происходящих в продуктах после уборки урожая или забоя скота и птицы. Эти химические изменения вызываются внутренними и внешними возбудителями. Первые – это естественные ферменты, а вторые микроорганизмы, размножающиеся как внутри продукта, так и на его поверхности.

Микроорганизмы – это большая группа мельчайших живых существ, из которых для анализа вопросов сохранности пищевых продуктов, представляют интерес следующие три: бактерии, дрожжи и микроскопические грибы или плесени.

Бактерии растут и размножаются с большой скоростью, зависящей от условий окружающей среды: температуры и влажности, света, степени кислотности и щелочности среды, а также от наличия кислорода. Разложение скоропортящихся продуктов с ростом бактерий является результатом действия бактериальных ферментов. Свет вреден для всех бактерий. Видимый свет задерживает их рост, а при ультрафиолетовом облучении бактерии гибнут, так же как и при понижении температуры.

Плесени, как и *дрожжи*, входят в группу растительных микроорганизмов, но имеют более сложную структуру, чем бактерии или дрожжи. Они обладают меньшей стойкостью к высоким температурам, чем бактерии, но легче переносят низкую температуру. Развитие плесени замедляется при температуре ниже 0 °С, и полностью прекращается при температуре ниже –12 °С. В отличие от бактерий плесень может развиваться на продуктах, содержащих относительно большое количество сахара или кислоты (овощи и фрукты, содержащие углеводы в своем составе). Яблоки и цитрусовые чаще всего портятся из-за плесени. По отношению к температурным условиям выделяют три группы микроорганизмов: термофилы, мезофилы и психрофилы.

Термофилы – микроорганизмы, развивающиеся при температурах 20 – 80 °С, оптимально при 50 – 75 °С;

Мезофилы – живут при 5 – 57 °С, развиваются при 20 – 40 °С, при иных температурах развиваются плохо.

Психрофилы – способны расти при относительно низких температурах от +10 до – 10 °С. Нас интересуют именно психрофилы, развивающиеся в условиях холодильного хранения пищевых продуктов.

Различают факультативные психрофилы, условия жизни которых приближаются к режиму мезофилов, и облигатные, т.е. строгие, психрофилы, способные размножаться только при низких температурах. Этот вид микроорганизмов широко размножается на охлажденных и замороженных пищевых продуктах, а также находится в воздухе холодильных камер. Они активно начинают размножаться при –5 –8 °С на продуктах с небольшой кислотностью – на мясе, рыбе, нектислых молочных и овощных продуктах.

Необходимо создавать условия, неблагоприятные для активной жизнедеятельности микроорганизмов. Холодильное хранение является одним из наиболее эффективных способов замедления процессов жизнедеятельности посредством подавления ферментативной активности позволяет сохранять продукты длительное время с минимальными изменениями их исходного качества.

Микрофлора воздуха. Источниками микрофлоры воздуха являются в основном почвенный покров, человек и животные. Наибольшая загрязненность воздуха наблюдается в приземных слоях атмосферы. Количественный и качественный состав микрофлоры воздуха значительно зависят от характера почвенного и водного покрова, общесанитарного состояния местности, сезонных, метеорологических и климатических факторов.

Основу микрофлоры воздуха составляют *сапрофиты*, наиболее устойчивые к действию ультрафиолетовых лучей и высыханию, *пигментные и спорообразующие формы бактерий* (пигментообразующие микрококки и сарцины, спорообразующие палочки), а также *споры плесневых грибов и дрожжей* (дрожжи *Torula*, плесневые грибы *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Actinomyces*). В некоторых случаях воздух содержит и *патогенные бактерии*.

Почвенный покров содержит много психрофилов, которые могут существовать в холодильных камерах. В воздухе холодильных камер 50 % бактерий составляют палочки, 35 % - кокки и 15 % - сарцины. Воздух является еще основным источником плесневых грибов. Если температура в холодильных камерах выше –10 °С, то психрофилы находятся в активном состоянии и размножаются на продуктах, вызывая его порчу.

Для предотвращения порчи продукта, необходимо следовать санитарным нормам состояния воздуха, которые различны для каждого предприятия и зависят от вида продукта, условий его хранения и сроков реализации.

Микрофлора пищевых продуктов. Мясо. В первые часы после убоя скота глубинные слои мяса практически стерильны. На поверхности туши видовой состав микрофлоры разнообразен – это *почвенные бактерии* (кокки, бациллы, клостридии), *бактерии кишечника*, а также *плесневые грибы*. Размножаясь и накапливаясь на поверхности туши, они постепенно проникают в толщу мяса и вызывают процессы порчи.

При хранении мяса в камерах охлаждения микрофлора некоторое время остается без изменений в результате образования на поверхности туши подсохшего слоя, препятствующего развитию микроорганизмов. В дальнейшем микрофлора претерпевает качественные изменения: мезофилы отмирают и развиваются психрофилы, где преобладающим видом становятся палочковидные бактерии, способные размножаться при температуре 0 –5 °С, а отдельные виды даже при –8 –9 °С.

В аэробных (в присутствии кислорода воздуха) условиях хранения охлажденного мяса эти бактерии являются основным возбудителем его порчи. Вначале вырастают отдельные колонии на более влажных поверхностях продукта, затем образуется сплошной слизистый налет серого, зеленоватого или бурого цвета, изменяется запах и вкус мяса.

Плесневые грибы являются основными возбудителями порчи мяса в условиях хранения при температуре $-4 -9^{\circ}\text{C}$. Эти грибы не только изменяют внешний вид и запах продукта, но и вызывают глубокий распад белков. Вследствие активного расщепления липидов продукт прогоркает. При некоторых отрицательных температурах плесневые грибы растут даже на замороженном мясе.

Птица. Особенностью микрофлоры мяса птицы является возможность присутствия в ней бактерий из группы *Salmonella*, способных вызвать пищевые токсикоинфекции. В этом отношении особенно опасны тушки водоплавающей птицы.

Рыба. Микрофлора рыбы представлена *споровыми и неспоровыми палочками, микрококками, сарцинами, а также обитающими в воде плесневыми грибами и дрожжами.* В результате хранения рыбы при пониженных температурах мезофильные формы бактерий отмирают, а психрофилы развиваются. Рыба северных морей и рек больше заражена психрофилами, плесневыми грибами и дрожжами. При резком понижении температуры рост бактерий приостанавливается, и даже психрофилы начинают размножаться только спустя некоторое время. Если при 18°C количество бактерий достигает $10^8 - 10^9$ на 1 г рыбы в течение суток, то при температуре $0 - 2^{\circ}\text{C}$ рост наблюдается только на четвертые – пятые сутки.

Лед, морская вода и рассол могут быть источниками микроорганизмов. У замороженной в живом или очень свежем виде рыбы микроорганизмы развиваются на поверхности. В толще мышц они отсутствуют.

Молоко и сливки. Здесь размножение микроорганизмов происходит быстрее, чем на поверхности твердых продуктов. В результате заражения сырое молоко может содержать различную микрофлору: молочнокислые бактерии, споровые и неспоровые палочки, бактерии группы кишечной палочки, микрококки и стафилококки. Развитие микрофлоры молока происходит в несколько фаз.

Фрукты и овощи могут быть источником патогенной и токсичной микрофлоры. Особенно распространены возбудители кишечных заболеваний, которые не отмирают полностью при длительном хранении. Продукты, содержащие мало органических кислот, могут подвергаться действию как плесневых грибов, так и бактерий.

При хранении замороженных фруктов, овощей и ягод бактерии постепенно отмирают. В первую очередь гибнут неспоровые палочки, в том числе бактерии кишечной группы, более устойчивы микрококки, стафилококки и споровые. При оттаивании этих продуктов они начинают интенсивно размножаться, приводя к порче продукта.

Помимо этого, продукты растительного происхождения содержат фитонциды различной активности. Такие овощи, как лук, чеснок и хрен, выделяют бактерицидные вещества, убивающие дезинтерийные, кишечные палочки, стафилакокки, а также холерные вибрионы. Фитонциды кожуры и мякоти цитрусовых, бананов, гранатов и яблок, а также ягод губительно действуют на различные бактерии, плесневые грибы.

Устойчивость микроорганизмов к отрицательным температурам.

В зависимости от реакции на отрицательные температуры микроорганизмы бывают чувствительными, умеренно устойчивыми и нечувствительными. Особенно чувствительны к низким температурам клетки плесневых грибов и дрожжей. Устойчивость микроорганизмов к отрицательным температурам зависит от трех факторов воздействия: температуры, скорости ее понижения и времени воздействия.

Действие отрицательной температуры на микроорганизмы проявляется в изменении внутри- и внеклеточного состояния воды. Максимальное повреждающее действие оказывает внутриклеточное образование льда.

Повышение устойчивости клеток к глубокому охлаждению достигается путем ступенчатого замораживания – сначала медленного, а затем быстрого до более низких температур, что объясняется внеклеточной кристаллизацией.

Устойчивость микроорганизмов к отрицательным температурам, зависит от продолжительности воздействия холода.

В начале замораживания число бактериальных клеток быстро уменьшается, затем гибель микроорганизмов замедляется и, наконец, остаются устойчивые к низким температурам клетки, количество которых зависит от условий замораживания и индивидуальной устойчивости вида микробов.

Развитие микроорганизмов при температуре выше -10°C возможно и это может привести к снижению качества продукта. И даже его порче. Так, при длительном хранении мяса выше -8°C могут развиваться плесневые грибы.

В замороженных фруктах и ягодах или их соках, хранящихся при температуре выше -8°C , образуется продукт жизнедеятельности дрожжей – спирт [2].

Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

2.1 Особенности условий сохранения пищевых продуктов с помощью холода

Холодильная технология пищевых продуктов - это отрасль знаний и практической деятельности, решающая задачи сохранения скоропортящихся пищевых продуктов с помощью холода и использования холода при их промышленном производстве. Для этой группы продуктов типично содержание большого количества воды, что составляет основную причину их лабильности. Исключением являются продукты, богатые жирами.

Главная область применения холодильной технологии - это холодильная обработка, хранение и транспортирование скоропортящихся пищевых продуктов: мяса, рыбы, птицы, яиц, молока, плодов, овощей и др.

Холодильная обработка и хранение основаны на принципе анабиоза. На поверхности пищевых продуктов обычно находятся микроорганизмы (бактерии, грибы и дрожжи). Микроорганизмы для своей жизнедеятельности используют жиры, белки, углеводы и другие составные части продукта. При этом продукты подвергаются химическим изменениям — порче. Ухудшение качества продуктов происходит также под действием естественных ферментов.

Применение холодильной технологии позволяет в более значительной степени сохранить питательные и вкусовые свойства пищевых продуктов по сравнению с другими способами, такими, как соление, копчение, сушка и др.

Из всех известных способов хранения скоропортящихся пищевых продуктов в промышленной практике наиболее широко пользуются сохранением их при пониженных температурах с помощью искусственного холода. Этот способ наиболее универсален, эффективен, надежен и, следовательно, наиболее распространен.

В холодильной технологии, в отличие от криобиологии, стремятся обеспечить сохранение свойств продукта, определяющих его пищевые достоинства, ощущаемые органолептически или определяемые более тонкими методами исследования. При этом сохранение жизнеспособности клеток и тканей продуктов само по себе необязательно и лишь в частных случаях желательно. Свежие плоды, ягоды, овощи обычно желательно сохранять в натуральном виде. Что же касается мяса, рыбы и большинства других скоропортящихся продуктов, то постановка вопроса о сохранении жизнеспособности при хранении утрачивает смысл. Многие такие продукты не применяются в пищу без кулинарной обработки, губительной для клеток и тканей. Эта мера отлична по содержанию от биологических требований сохранения жизнеспособности объекта.

Задачи холодильной технологии в области сохранения пищевых продуктов, если их не детализировать, можно свести к ограниченному числу положений. Первая задача - широкое изучение состава, структуры и свойств пищевых продуктов, изучение изменений в продуктах и отыскание способов наиболее эффективного регулирования этих изменений в желаемом направлении посредством понижения температуры и с привлечением дополнительных средств такого регулирования.

Вторая задача - разработка рациональных процессов внешнего воздействия при холодильной обработке и хранении продуктов, нахождение наиболее благоприятных режимов осуществления таких процессов в соответствии со всеми важнейшими особенностями каждого вида продукта и свойственных ему изменений.

Третья задача, которую часто считают выходящей за границы компетенции холодильной технологии, - создание технических средств для реализации разработанных процессов или, по крайней мере, анализ и оценка пригодности таких средств для осуществления заданных процессов.

На холодильниках пищевые продукты могут подвергаться охлаждению, замораживанию и размораживанию.

Продукты в охлажденном или переохлажденном состоянии сохраняют высокие вкусовые свойства и пищевые достоинства. Поэтому возникает необходимость снабжения населения и перерабатывающие предприятия главным образом охлажденными скоропортящимися продуктами. Базой для полного обеспечения населения охлажденными продуктами служат широко развитая сеть заготовительных, производственных и распределительных холодильных предприятий, наличие автомобильного, железнодорожного, речного и морского холодильного транспорта, а также широкое обеспечение торговой сети холодильными установками.

Холодильная обработка пищевых продуктов преследует одну общую цель - понижение их температуры до заданной конечной, вследствие чего замедляются биохимические процессы и развитие микроорганизмов. Конечная температура и скорость охлаждения играют немаловажную роль в успешном достижении указанной цели.

В ряде производств применение искусственного холода позволяет получить особый самостоятельный вид продукта. Так, в производстве мороженого без быстрого фризирования смеси и закладки с применением низких отрицательных температур невозможно получить необходимую продукцию. Концентрирование и осветление фруктово-ягодных соков и вин позволяет получить продукт нового качества при максимальном сохранении отдельных компонентов химического состава и биологически активных веществ, входящих в состав исходного сырья [2].

На допустимую продолжительность хранения решающее влияние оказывают не только технологические, но и санитарно-гигиенические условия производства, транспортирования и хранения, а также исходное состояние и качество сырья до его холодильной обработки.

2.2 Состояние воды в пищевых продуктах при холодильной технологии

Основную часть продуктов питания составляет вода, поэтому при исследовании свойств продуктов при различных температурах необходимо учитывать фазовые переходы (льдообразование - плавление и кипение - конденсация), которые сильно влияют на изменение свойств продуктов.

Содержание воды колеблется в широких пределах: в растительных продуктах - от 80 % для груш до 95 % для помидоров и огурцов; в животных продуктах - от 50 % для жирной свинины до 78 % для говядины.

Наличие в пищевых продуктах большого количества влаги влияет на теплофизические процессы при холодильной обработке и хранении продуктов, что обусловлено особенностями ее распределения и связи с другими компонентами продукта, большой ее теплоемкостью и теплотой фазового перехода при кристаллизации и испарении.

Превращение воды в лед при замораживании сопровождается миграцией влаги и изменениями теплофизических и механических свойств продуктов. Испарение влаги с поверхности продуктов при холодильной обработке и хранении приводит к потере массы и ухудшению качества продукта. Изменение фазового состояния воды - главный фактор, обуславливающий торможение нежелательных диффузионных, химических, биохимических и микробиологических процессов в пищевых продуктах при их замораживании. Поэтому значительное влияние влаги на ход теплофизических процессов при холодильной обработке и хранении приводит к необходимости рассмотрения поведения воды в пищевых продуктах при холодильном консервировании.

Воду в пищевых продуктах можно представить как непрерывную фазу, в которой другие составляющие (компоненты химического состава) распределены в виде истинных и коллоидных растворов, а также в виде эмульсий.

Содержащиеся в воде пищевых продуктов сахар, соли и кислоты образуют в основном истинные растворы; коллоидные растворы образуются при растворении высокомолекулярных соединений (например, белков). При диспергировании в воде соединений низкой растворимости образуются эмульсии.

Состояние воды уникально обилием аномалий, отличающих ее поведение от других жидкостей. К числу таких аномалий относятся увеличение объема воды при температуре, близкой к температуре замерзания, понижение температуры замерзания с увеличением внешнего давления, максимальная плотность при температуре 3,98 °С, минимальная теплоемкость при этой же температуре и большая ее величина по сравнению с теплоемкостью других жидкостей.

Эти и многие другие специфические свойства воды можно объяснить особым расположением ее молекул, изменяющимся под влиянием различных воздействий.

При понижении температуры воды идет подготовка к ее кристаллизации.

В продуктах, не имеющих отчетливо выраженного тканевого строения (молоке, яичном меланже, плодовых соках), вода распределена микроскопически однородно. В сливочном масле и маргарине влага включена в жировую массу в виде мелких капелек и капиллярных заполнений.

В тканях продуктов животного происхождения, например, в мышечной ткани, влага неравномерно распределена в волокнах, между волокнами и в пространствах между пучками волокон. Обычно между пучками волокон заключено большее количество воды, нежели между отдельными волокнами. Это относится и к растительным тканям, для которых типична клеточная структура, не всегда формирующая волокна.

Пищевые продукты следует рассматривать как полидисперсные системы, в которых чаще всего вода является дисперсионной средой, а дисперсная фаза включает в себя большое количество органических и неорганических веществ с различной степенью дисперсионности частиц, условный радиус которых лежит в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-7} м.

В пищевых продуктах вода содержится в виде растворов. Содержание в воде веществ, образующих с ней истинный раствор, обуславливает изменение ее характерных свойств: *снижение температуры начала замерзания (криоскопической температуры), повышение температуры кипения и снижение давления водяного пара над раствором.*

Понижение криоскопической температуры раствора по сравнению с температурой чистого растворителя Δt (°С) выражают уравнением Рауля (формула 2.1):

$$\Delta t = -\varepsilon \cdot C_0 \quad (2.1)$$

где ε - коэффициент, называемый криоскопической постоянной;
 C_0 - молярная концентрация раствора.

В зависимости от состава криоскопическая температура колеблется от минус 0,5 до минус 3,5 °С и может быть еще ниже.

В разных частях пищевого продукта состав водного раствора (тканевого сока) может быть различен. Концентрация его внутри клеток несколько выше, чем во внеклеточном пространстве. По этой причине криоскопическая температура тканевого сока внутри клеток на 0,2...0,4 °С ниже, чем в межклеточном пространстве. Такое же различие отмечается в волокнах и межволоконном пространстве мышечной ткани.

Белки и полисахариды с большой молекулярной массой образуют водные растворы, в которых происходит гидратация молекул фазы, и часть воды постоянно связана в структуре белков и полисахаридов. Поэтому на свойства раствора влияет не только содержание в нем посторонних веществ, но и характер связи растворенных веществ с водой, формы которой могут быть различными.

Связь воды в пищевых продуктах подразделена на три группы: *химическую, физико-химическую и механическую.*

Наиболее прочна *химическая связь* влаги в химических соединениях и в кристаллогидратах. Эта связь осуществляется в строго определенных соотношениях, нарушается с большим трудом (например, прокаливанием) и влияет на химическую природу вещества. При нарушении такой связи наблюдаются значительные изменения вещества. Понижение температуры не нарушает химической связи влаги в пищевых продуктах.

Менее прочна *физико-химическая связь* влаги, которая удерживается путем адсорбции под действием осмотических сил и в структурах гелей. Эта связь не обусловлена постоянным соотношением воды с другими компонентами вещества. Некоторое количество физико-химической связанной воды удаляется из пищевых продуктов без энергичных воздействий. Полностью же удалить такую влагу трудно.

Еще менее прочна *механическая связь* влаги, удерживаемой материалом в неопределенном количестве. Механически связанную с материалом воду подразделяют на воду, находящуюся в макрокапиллярах, диаметр которых более 10^{-7} м, и частично на воду, находящуюся в микрокапиллярах диаметром менее 10^{-7} м, и воду смачивания, находящуюся на поверхности материала. Влага смачивания и влага незамкнутых макрокапилляров свободно испаряется, не вызывая повреждений материала. Влага микрокапилляров удерживается материалом несколько сильнее, но и она может испаряться. Однако очень тонкий слой воды связан адсорбционно и, как было указано ранее, удаляется гораздо труднее, чем основная масса механически связанной воды. Связанная вода по термодинамическим свойствам отличается от свободной и характеризуется упорядоченным расположением молекул. Удельная проводимость связанной воды практически равна нулю, а плотность достигает $1,74 \cdot 10^3$ кг/м³.

По величине энергии формы связанной воды можно расположить в следующей последовательности: *химически связанная вода; адсорбционно-связанная вода; капиллярно-связанная вода; осмотически связанная вода.*

Наибольший интерес для холодильной технологии представляет *адсорбционно-связанная вода* в пищевых продуктах.

Белки животной ткани и капиллярно-пористая структура растительной ткани имеют развитую поверхность, обладающую значительной поверхностной энергией. В результате адсорбции на активных участках поверхности образуется мономолекулярный слой. При адсорбции молекулы воды пространственно ориентируются, в результате этого поверхность первого слоя может сорбировать второй и т.д., но уже менее прочно связанный, чем первый.

Эта часть адсорбционно-связанной воды в пищевых продуктах не вымерзает даже при очень низких отрицательных температурах.

Переохлаждение и кристаллизация влаги. Движение молекул и ионов жидкости представляет собой сочетание колебательного и вращательного движения их около некоторых условных центров и одновременно хаотическое (беспорядочное) трансляционное перемещение этих центров. Понижение температуры жидкости приводит к замедлению движения частиц, причем у одних жидкостей сокращается преимущественно энергия трансляционного перемещения центров колебательного и вращательного движения, у других - энергия колебательного и вращательного движения.

Жидкости первого рода с понижением температуры «сгущаются» (растет их вязкость) и, в конечном счете, образуют твердую аморфную структуру. Подобные вещества рассматриваются как переохлажденные жидкости, несмотря на их большую хрупкость и отсутствие текучести. Типичным примером такого образования может служить затверждение стекол, не имеющих кристаллической структуры.

У жидкостей второго рода, к которым принадлежит вода, переход в твердое состояние происходит путем кристаллизации. Элементарные кристаллы льда имеют тетраэдрическое строение, повторяющее пространственную схему молекул воды. При отводе теплоты от жидкости температура ее понижается, при этом уменьшаются энергия и интенсивность движения частиц и увеличивается их взаимная ориентация. Кристаллизация воды возможна лишь в том случае, когда образуется некоторое количество правильно ориентированных частиц, которые затем служат центрами этого процесса. Образованию центров кристаллизации в определенной мере способствует наличие в жидкости посторонних примесей. При этом образование и рост кристаллов возможны только при условии, когда разбрасывающее действие теплового движения будет меньше энергии ориентации частиц.

Выделение теплоты кристаллизации - результат изменения общей внутренней энергии вещества вследствие сокращения движения молекул воды, а освободившаяся при этом энергия выделяется в виде теплоты фазового превращения, обычно называемой скрытой теплотой льдообразования (335,2 кДж/кг). Обратная картина наблюдается при плавлении кристаллов льда.

При малой величине ориентирующих сил можно достигнуть температуры жидкости ниже криоскопической без образования кристаллов льда. Такое состояние, т.е. охлаждение раствора до температуры ниже точки замерзания, называется *переохлаждением*.

Граница перехода из одного агрегатного состояния в другое, т.е. глубина переохлаждения зависит не только от концентрации раствора и свойств его отдельных компонентов, но и от воздействия дополнительных факторов (чистоты, вязкости, подвижности жидкости).

В некоторых случаях могут быть достигнуты достаточно низкие температуры переохлаждения (порядка минус 70 °С).

Однако в обычных условиях температура переохлаждения пищевых продуктов значительно выше. Так, для мяса граница переохлаждения не превышает минус 5 °С, для куриных яиц минус 11 °С.

В пищевых продуктах влага распределена как в разобщенных клетках, так и в сообщающихся межклеточных пространствах капиллярного характера. Так, в сливочном масле влага, заключенная в очень малых капиллярных объемах, сохраняет капельно-жидкое состояние при достаточно низких отрицательных температурах.

Экспериментально установлено, что вода в макроскопических объемах может переохлаждаться до минус 30 °С, а в микрокапиллярах до минус 72 °С. Это связано с особенностями строения жидкости, прилегающей к границе с инородным телом.

Для образования кристаллов льда необходимо соблюдение двух условий: 1) энергия молекул воды должна быть минимальной и 2) молекулы расположены в определенном

порядке. Молекулы воды в мономолекулярном слое упорядочено расположены и прочно зафиксированы, в то же время в глубине жидкости они имеют большую кинетическую энергию неупорядоченного движения. Поэтому наиболее энергетически слабое место для образования кристаллов льда должно находиться недалеко от поверхности сосуда, где подвижность молекул наименьшая, а расположение их наиболее упорядоченное.

Хранение продуктов в переохлажденном состоянии, несомненно, имеет ряд преимуществ. Однако ряд факторов стимулирует кристаллизацию и нарушает состояние переохлажденной жидкости: внесение кристалла-затравки; сотрясение; перемешивание; наличие твердых острых углов и ребер, соприкасающихся с переохлажденной жидкостью.

В производственных условиях состояние переохлаждения может быть нарушено попаданием на поверхность продукта кристаллов из холодного воздуха или при использовании низкой температуры теплоотводящей среды. Наличие сохраняющих оболочек позволяет избежать замерзания при хранении в переохлажденном состоянии таких продуктов, как куриное яйцо и баночные консервы.

2.3 Основы теплофизических процессов холодильной технологии

2.3.1 Теплофизические свойства пищевых продуктов

Для описания, анализа и оценки теплофизических процессов холодильной обработки пищевых продуктов используются аналитические и эмпирические зависимости тепломассообмена продукта с охлаждающей средой. Расчеты тепломассообменных процессов можно выполнить, если известны физические, теплофизические, геометрические и гигротермические характеристики продукта.

Значения физических и теплофизических характеристик зависят от химического состава пищевых продуктов, структуры, свойств и фазового состояния отдельных компонентов [3].

К наиболее важным теплофизическим свойствам пищевых продуктов относят *начальную температуру замерзания (криоскопическую температуру) продукта, количество вымороженной воды, плотность, равновесное давление пара, удельную теплоемкость, энтропию, теплопроводность, температуропроводность, активность воды в продукте.*

Начальной температурой (криоскопическая температура) замерзания продукта $t_{кр}$ называют температуру начала замерзания жидкой фазы продуктов, она используется не только при выполнении теплофизических расчетов, но и при выборе температурного режима хранения.

Пищевые продукты содержат много воды, и поэтому ее количество и состояние во многом определяют физические и теплофизические характеристики продуктов. При замораживании особенно значительны изменения свойств продуктов, так как свойства воды и льда существенно различны. В холодильной технологии воду, перешедшую в лед при замораживании продукта, принято называть вымороженной.

Количество вымороженной воды ω определяется отношением количества льда G_L при данной температуре к общему количеству воды G_ω в продукте (формула 2.2):

$$\omega = G_L / G_\omega = 1 - (G_\omega - G_L) / G_\omega \quad (2.2)$$

где G_L - количество льда;

G_ω - общее количество воды.

Количество вымороженной воды представляют в долях единицы или в процентах общего содержания воды в продукте.

В пищевых продуктах лед при замораживании образуется из тканевого сока, являющегося разбавленным раствором, причем кристаллизуется растворитель – вода, а концентрация оставшегося в жидком состоянии раствора по мере понижения температуры возрастает.

На основании закона Рауля (2.1) для разбавленных недиссоциированных молекулярных растворов можно вычислить количество вымороженной воды в зависимости от температуры. Если температуру замерзания отсчитывать от нуля стогоградусной шкалы, то вместо понижения температуры замерзания Δt в законе Рауля можно принять ее абсолютную величину по стогоградусной шкале $t_{кр}$.

Если считать весовое количество растворенных веществ G_p , а их молекулярный вес μ , тогда температуры начала замерзания раствора, или его криоскопическая температура будет равна (формула 2.3):

$$t_{кр} = \varepsilon \cdot C_0, \quad C_0 = G_{p\backslash} / G_{\omega} \cdot \mu \quad (2.3)$$

где ε - криоскопическая постоянная воды ($\varepsilon = 1.86$ кг · град / моль);

$G_{p\backslash}$ - весовое количество растворенных веществ;

μ - молекулярный вес растворенного вещества;

G_{ω} - общее количество воды;

C_0 - молярная концентрация раствора.

По мере возрастания концентрации раствора вследствие превращения части воды в лед G_L температура замерзания раствора будет: $t = \varepsilon \cdot C$, $C = G_{p\backslash} / (G_{\omega} - G_L) \cdot \mu$.

Отсюда можем получить следующую зависимость (формула 2.4):

$$t_{кр} / t = C_0 / C = (G_{\omega} - G_L) / G_{\omega} \quad (2.4)$$

где $t_{кр}$ – криоскопическая температура;

t – температура замерзания.

Поэтому количество вымороженной воды в продуктах на основании закона Рауля можно представить следующим выражением (формула 2.5):

$$\omega = 1 - (t_{кр} / t) \quad (2.5)$$

В продуктах с высокой криоскопической температурой количества вымороженной воды увеличивается очень быстро в зоне криоскопической температуры, после этого резко замедляется. В продуктах, в составе которых воды мало и криоскопическая температура ниже по мере понижения температуры изменение количества вымороженной воды будет не так резко.

Плотностью называется физическая величина равная отношению массы продукта к его объему. Плотность продукта при замораживании уменьшается (на 5-8%), так как вода в тканях, превращаясь в лед, увеличивается в объеме, при этом масса остается постоянной. У многих скоропортящихся продуктов плотность составляет около 1000 кг/м^3 .

Плотность, или масса единицы объема, для продуктов состоящих из смесей устанавливается на основе закона смешения и определяется (формула 2.6):

$$\gamma = 1 / [(g_1 / \gamma_1) + (g_2 / \gamma_2) + \dots + (g_n / \gamma_n)] \quad (2.6)$$

где $g_1, g_2 \dots g_n$ – весовые доли компонентов смеси, в сумме равные единице;
 $\gamma_1, \gamma_2 \dots \gamma_n$ – плотности соответствующих компонентов смеси.

С помощью формулы (2.6) можно посчитать плотность каждого продукта для случая, когда известны его состав и плотность его составных частей.

При обработке пищевых продуктов с помощью холода с изменением температуры плотность продуктов очень мало меняется и в тепловых расчетах обычно считается плотность пищевого продукта постоянной. Это относится и к процессам, связанным с образованием льда в продуктах или его плавлением, так как изменение плотности продукта в таких процессах не превышает обычно 5–10%.

Равновесное давление пара над поверхностью продукта P_H несколько ниже давления насыщенного пара P_H при той же температуре даже при полном насыщении, из-за содержания во влаге продуктов растворенных веществ (сахара, соли и др.)

Отношение давления пара воды, содержащейся в продукте, к давлению пара чистой воды (или льда) при одной и той же температуре называется *относительным понижением давления* водяного пара.

Удельная теплоемкость – это величина, численно равная количеству теплоты, необходимая для нагревания или охлаждения 1 кг вещества на 1°C. Изменение удельной теплоемкости продуктов в интервале температур замораживания определяется в основном начальным влагосодержанием продукта и количеством вымороженной воды.

С понижением температуры теплоемкость убывает, при абсолютном нуле температуры стремится к нулю (третий закон термодинамики). Удельная теплоемкость воды равняется 1 Дж/К, углеводов – 0,34, жиров – 0,42, белков – 0,37 Дж/К, в связи с этим теплоемкость разных пищевых продуктов зависит от их химического состава.

Величина весовой удельной теплоемкости подчиняется закону аддитивности и вычисляется для смесей по следующей формуле (формула 2.7):

$$c = g_1 \cdot c_1 + g_2 \cdot c_2 + g_3 \cdot c_3 + \dots + g_n \cdot c_n \quad (2.7)$$

где $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ – весовые доли компонентов смеси, в сумме равные единице;
 $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ – весовые удельные теплоемкости этих компонентов.

Если считать пищевые продукты двухкомпонентными смесями, содержащими W весовых частей воды и $1-W$ весовых частей сухих веществ с соответствующими весовыми удельными теплоемкостями воды c_w и сухих веществ c_0 , то теплоемкость продукта до начала льдообразования в нем c_0 будет иметь вид (формула 2.8):

$$c_0 = c_w \cdot W + c_c \cdot (1 - W) \quad (2.8)$$

где c_w – весовая удельная теплоемкость воды;
 c_0 – весовая удельная теплоемкость сухих веществ.

Теплоемкость сухих веществ большинства продуктов животного происхождения равняется $1.38 - 1.68 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$, а продуктов растительного происхождения – $0.71 - 1.36 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$.

Так как при отрицательных температурах часть воды в продукте ω переходит в лед, теплоемкость которого $c_{\text{л}}$, то теплоемкость продукта $c_{\text{м}}$ будет вычисляться по формуле 2.9:

$$c_{\text{м}} = c_{\text{в}} \cdot W \cdot (1 - W) + c_{\text{л}} \cdot W \cdot \omega + c_{\text{с}} \cdot (1 - W) \text{ или } c_{\text{м}} = c_0 - (c_{\text{в}} - c_{\text{л}}) \cdot W \cdot \omega \quad (2.9)$$

где $c_{\text{л}}$ – теплоемкость льда;

$c_{\text{м}}$ – теплоемкость продукта;

ω – количество вымороженной воды;

$c_{\text{в}}$ – весовая удельная теплоемкость воды;

$c_{\text{с}}$ – весовая удельная теплоемкость сухих веществ.

Подставляя табличные значения $c_{\text{в}} = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$, $c_{\text{л}} = 2,1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ в формулу (2.9) получаем следующую формулу 2.10:

$$c_{\text{м}} = c_0 - 2,1 \cdot W \cdot \omega \quad \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) \quad (2.10)$$

где $c_{\text{м}}$ – теплоемкость продукта;

ω – количество вымороженной воды;

W – весовая часть воды;

$c_{\text{с}}$ – весовая удельная теплоемкость сухих веществ.

Выражение (2.10) справедлива для вычисления теплоемкости замороженных продуктов при минусовых температурах. Точность полученных вычислений зависит от точности принимаемых в расчете величин c_0 и W , а также от точности вычисления количества вымороженной воды ω .

Теплопроводность является одним из видов теплопередачи, при котором перенос теплоты имеет атомно-молекулярный характер. Явления теплопроводности возникают при разности температур между отдельными участками тела (продукта). Величина численно равная количеству теплоты, переносимому через единицу площади поверхности в единицу времени при градиенте температуры, равном единице называется *коэффициентом теплопроводности*.

Температуропроводность пищевых продуктов при положительных температурах почти не меняется, но с началом льдообразования температуропроводность резко падает. Это связано выделением теплоты кристаллизации пищевых продуктов. При дальнейшем охлаждении продукта из-за роста теплопроводности продукта и уменьшения теплоемкости температуропроводность растет и когда вода полностью переходит в лед, она дальше не меняется, так как теплопроводность льда приблизительно в 4 раза больше теплопроводности воды. При этих случаях теплопроводность замораживаемого пищевого продукта зависит от количества вымороженной воды.

Теплопроводность λ пищевых продуктов в отличие от теплоемкости нельзя подсчитать по обычным законам смешения.

Обозначив коэффициент теплопроводности продукта при температуре выше криоскопической λ_0 , приняв $t_{\text{кр}} = -1 \text{ }^\circ\text{C}$ и используя выражение, по которому подсчитывается

количество вымороженной воды, коэффициент теплопроводности продукта при температуре ниже криоскопической λ_m вплоть до завершения льдообразования можно выразить через следующую формулу (формула 2.11):

$$\lambda_m = \lambda_0 + A_l / [1 + (B_l / \lg t)] \quad (2.11)$$

где t берется по абсолютной величине по стоградусной шкале,

A_l и B_l – постоянные (например, для говядины $A_l = 0.938$ и $B_l = 0.186$).

λ_0 - коэффициент теплопроводности продукта при температуре выше криоскопической.

Возрастание теплопроводности продукта при понижении температуры практически заканчивается с окончанием вымерзания воды, если пренебречь дальнейшим несущественным изменением теплопроводности льда и других компонентов продукта.

Температуропроводность продуктов a выражается соотношением их теплопроводности, теплоемкости и плотности. Температуропроводность пищевых продуктов, подвергаемых холодильной обработке без образования льда для каждого отдельного вида продукта, принимается величиной постоянной.

Значительные изменения температуропроводности продукта происходят при льдообразовании.

Так как теплоемкость продукта представляется в двух видах – в виде расчетной теплоемкости c_m и полной теплоемкости c_ω , то соответственно представляется в двух видах и температуропроводность: как расчетная a_m или как полная a_ω (формула 2.12):

$$a_m = \lambda_m / (c_m \cdot \gamma); \quad a_\omega = \lambda_m / (c_\omega \cdot \gamma) \quad (2.12)$$

где λ_m - коэффициент теплопроводности продукта при температуре ниже криоскопической;

c_m – теплоемкость продукта;

γ - плотность.

Для попределения a_m и a_ω вычисляют сначала λ_m , c_m или c_ω и γ .

Величина a_ω при криоскопической температуре намного меньше величины a_m . С понижением температуры температуропроводность a_m возрастает и по завершении льдообразования a_m и a_ω становятся равными, что вытекает из характера зависимости теплоемкости c_m и c_ω продукта от температуры при замораживании.

Возрастание температуропроводности при понижении температуры продукта практически заканчивается с окончанием льдообразования в нем.

Так как изменения расчетной теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности продукта при льдообразовании определяются возрастанием количества вымороженной воды, то эти изменения можно описать подобно изменению количества вымороженной воды.

Энтальпия (или теплосодержание) - однозначная функция состояния термодинамической системы, часто называемая тепловой функцией или теплосодержанием, измеряется в Дж/кг. Данными об изменении энтальпии продовольственных продуктов в холодильной технологии пользуются обычно для определения отведенной или подведенной теплоты при холодильной обработке продуктов. Энтальпию отсчитывают при какой-либо начальной температуре (обычно -20°C), при которой ее значение принимается за 0°C .

Приращение энтальпии di при элементарном изменении температуры dt представляется как тепло изобарного процесса (формула 2.13):

$$di = c_p \cdot dt, \quad (2.13)$$

где c_p – изобарная теплоемкость.

Теплоемкость продукта должна оставаться постоянной величиной или надо брать ее среднее значение. Условия постоянства теплоемкости продукта соблюдаются лишь в случае, когда нет льдообразования или плавления льда. Но это не препятствует возможности вычисления тепла процесса по разности между энтальпиями в любом температурном интервале [4].

2.3.2 Процессы тепло - и массообмена

В основе теплофизических процессов холодильной технологии лежат два процесса: теплоперенос и массоперенос [5].

Это физические явления, происходящие в пространстве и во времени.

Процесс *теплообмена* связан с распределением температуры внутри тела, а процесс *массообмена* с распределением влажности. При этом направление массопереноса и теплопереноса совпадает.

Тепло, отводимое от продукта во время воздействия на объект холода называется процессом *теплопереноса*. Теплоперенос, иначе - перенос теплоты от тела к телу, от объекта к объекту, от точки к точке занимает особое место среди явлений и процессов переноса.

Основные цели теплопереноса обусловлены характером технологического процесса.

На биохимические, биофизические процессы и физические характеристики пищевых продуктов существенное влияние оказывает температура, поэтому изучение теплового состояния тел имеет значение для оценки и совершенствования процессов холодильной обработки. Исследования и расчеты теплового состояния тел в холодильной технологии основаны на применении математических методов, в частности на теории теплопроводности. Основной задачей теории теплопроводности является нахождение температуры t тела в любой его точке и в любой момент времени t , т.е. определение t как функции координат какой-то точки и времени t : $t = f(x, y, z, t)$, это сложно. В технических задачах холодильной технологии применяют решения одномерной задачи.

Приняв $x = 0$ в центре тела, $x = \ell$ на его поверхности при расположении оси x в направлении кратчайшего расстояния от центра к поверхности при температурах центра $t_{ц}$ и поверхности $t_{ст}$, можно представить температуру точки с координатой x выражением (формула 2.14):

$$t_x = t_{ц} - \left(\frac{x}{\ell}\right)^n (t_{ц} - t_{ст}) \quad (2.14)$$

где $t_{ц}$ – температура центра;

$t_{ст}$ – температура поверхности.

ℓ - толщина слоя.

Показатель степени n в выражении (2.14) постоянен в каждый данный момент, но меняется во времени при развитии типичных нестационарных процессов холодильной технологии.

Температурные поля могут быть стационарными и нестационарными. Если температурное поле меняется во времени, то оно называется нестационарным. В случае процессов в холодильной обработке можно рассматривать одномерное температурное поле $t = f(x, t)$. Температурное поле продукта зависит от размера, конфигурации и теплофизических свойств объекта, от условий отвода теплоты.

В анализе теплофизических процессов холодильной технологии и соответствующих тепловых расчетах, очень нужной величиной является среднеобъемная температура тела t_v . Среднеобъемной температурой тела, температурное поле которого непостоянно, называется температура, которая может быть достигнута, если объект поместить в адиабатные условия (формула 2.15):

$$t_v = t_{ц} - \psi(t_{ц} - t_{п}) \quad (2.15)$$

где $t_{ц}$, $t_{п}$ – температуры центра и поверхности объекта соответственно;
 ψ – коэффициент, определяемый формой тела.

Температура зависит от большого числа переменных и постоянных параметров и решение представляет сложную математическую задачу. Поэтому имеются уже готовые расчетные формулы для трех задач: неограниченной пластины, цилиндра бесконечной длины и шара. Переменные можно сгруппировать в три безразмерных комплекса: Bi ; F_0 ; q ; (x / R) – безразмерная координата.

В задачу теплового расчета входит определение продолжительности охлаждения продуктов и количества теплоты, отводимой от них в процессе охлаждения.

1) *Безразмерная температура* (формула 2.16):

$$\theta = \left(\frac{t - t_c}{t_n - t_c} \right) \quad (2.16)$$

где t , t_n – текущая и начальная температура продукта, $^{\circ}\text{C}$;
 t_c – температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$; $t = t(x, t)$.

При $t = 0$ температура пластины во всех точках равна t_n , $q = 1$. С течением времени температура пластины меняется. Чем больше времени прошло от начала процесса охлаждения, тем ближе t к температуре среды. Если $t \rightarrow \infty$, то $t \rightarrow t_c$ и $q \rightarrow 0$.

2) *Критерий Био*, характеризующий эффективность теплообмена поверхности продукта с охлаждающей средой, рассчитывается по уравнению (формула 2.17):

$$Bi = \left(\frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \right) \quad (2.17)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности продукта к охлаждающей среде, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$.

Для приближенных расчетов принимают: $\alpha = 1000 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$ – при скорости движения жидкости, равной $0,5 \text{ м/с}$; $\alpha_{\text{от продукта к жидкой среде}} = 200 - 230 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$ – при естественной конвекции;

l – половина толщины продукта, м;

λ - коэффициент теплопроводности продукта, Вт / м К.

3) *Критерий Фурье* находят либо из номограммы, либо можно рассчитать по формуле (формула 2.18):

$$F_o = \left(\frac{\alpha \cdot \tau}{l^2} \right) \quad (2.18)$$

где a – коэффициент температуропроводности продукта, м²/с; τ - продолжительность охлаждения, ч;

$l = R$ – половина толщины продукта, м.

4) *Количество теплоты, отводимой при охлаждении от продукта*, можно определить по формуле (формула 2.19):

$$Q = G C (t_n - t) \quad (2.19)$$

где G – суточное поступление груза в камеру, т/сут;

C – теплоемкость, определяется по таблицам, кДж/кг °С;

$(t_n - t)$ – разность удельных энтальпий продукта при его начальной и конечной температуре, кДж/кг.

Массообмен при охлаждении. Во всех случаях, когда осуществляется охлаждение или замораживание в воздухе продуктов, не упакованных герметично, с поверхности которых возможно испарение влаги в воздух, наблюдается убыль массы продукта, или так называемая усушка, при этом направление массопереноса совпадает с направлением переноса теплоты. Такое испарение возможно не только с поверхности продуктов, влажность которых ощутима органолептически, но и с продуктов, поверхность которой считают органолептически сухой, например при охлаждении куриных яиц или яблок. При поверхностном испарении массоперенос связан с теплопереносом, а совокупность этих явлений следует рассматривать как единое целое.

В этих условиях массоперенос включает испарение влаги с поверхности продуктов в воздух и последующую конденсацию влаги из воздуха на поверхности охлаждающих приборов. Испарение способствует ускорению процесса охлаждения, но одновременно приводит к потерям массы продукта, поэтому процесс охлаждения должен быть организован в условиях, обеспечивающих минимальные потери массы (влаги).

При этом температура поверхности продукта, высокая в начале процесса, постепенно понижается. Температуру воздуха можно принимать постоянной во времени, хотя она и различна по объему охлаждающего или замораживающего устройства.

Глава 3 ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

По теплофизическим признакам процессы холодильной технологии можно разделить на две основные группы: основные и производные [3].

Основные - обязательные условия, без которых нельзя обеспечить население пищевым рационом. К ним относятся:

1. Процессы, в которых тепло отводится от продуктов, причем их температура понижается (охлаждение, подмораживание, замораживание).

2. Процессы в которых тепло подводится к продуктам с целью повышения их температуры и восстановления первоначального состояния (отепление, размораживание).

3. Процесс, в котором температура продукта стремиться к постоянству, но в частных случаях возможен внутренний теплообмен, а также теплообмен с внешней средой при поверхностном испарении и при внутренних тепловыделениях продукта, хотя такой теплообмен невелик (холодильное хранение).

Производные - процессы, в которых холод используется в качестве основы для переработки, изменения формы, вида и свойств пищевых продуктов. К ним относятся:

Сублимационная сушка - способ консервации продукта путём сушки в замороженном состоянии. При этом способе пищевые продукты сохраняют практически все свои свойства, удаляется только влага. Первоначальное качество длительный срок хранения в течение ряда лет и продукт способен быстро восстанавливаться (сухие закваски, биопрепараты, гранулированный кофе, космическая пища).

Холодная сушка - процесс, протекающий при низких положительных температурах.

Криоконцентрирование - способ консервации продукта (напитков, разл. Фруктовых и овощных соков, молока, чая, кофе..) путём частичного обезвоживания его вымораживанием. Он состоит из 2 - х процессов льдообразования и сепарирования льда.

Криозмельчение - процесс, при котором продукт переходит в хрупкое состояние и может быть измельчён до любого заданного размера (в области температур от -50 до -190оС).

Криоразмельчение - процесс, осуществляемый при температурах ниже криоскопической, при котором производится фракционирование - разделение частиц различных размеров, слипающихся при положительных температурах. Криоскопическая температура - температура начала образования кристаллов льда в жидкой фазе пищевых продуктов. Температура, соответствующая окончанию льдообразования, находящейся в продукте в свободном или связанном состоянии воды называется эвтектической (криогидратной) температурой.

Каждому из этих процессов присущи свои важные особенности.

3.1 Основные теплофизические процессы холодильной технологии

3.1.1. Охлаждение пищевых продуктов

Охлаждение - это процесс понижения температуры продукта от начального до конечного значения, которое выше температуры замерзания раствора в продукте, которая для большинства продуктов близка к -1°C , изменение природных свойств небольшие [6].

Охлаждением пищевых продуктов широко пользуются для удлинения сроков их хранения. Теплофизическая основа охлаждения сводится к понижению температуры тела посредством теплообмена его с охлаждающей средой, то есть охлаждение — это процесс переноса теплоты от продуктов, сопровождающийся понижением их температуры не ниже криоскопической. Благодаря охлаждению задерживаются биохимические процессы и развитие микроорганизмов. Охлажденным считается продукт, в толще которого поддерживается температура от 0 до 4°C .

Основная задача охлаждения заключается в создании неблагоприятных условий для развития микробных и ферментативных процессах в пищевых продуктах.

Целью охлаждения является сохранение первоначального качества продукта в течение определенного времени.

Для многих продуктов, особенно растительного происхождения, являющихся живыми организмами, выбор конечной температуры охлаждения, при которой они будут храниться, имеет большое значение.

Повышение или понижение температуры на несколько градусов по сравнению с оптимальной температурой хранения приводит к заболеваниям и преждевременной порче продуктов.

Каждый способ охлаждения оценивают по совокупности большого числа признаков, среди которых первостепенное значение имеют качество получаемого продукта и экономичность способа охлаждения.

По технологическим соображениям обычно стремятся осуществить охлаждение возможно быстрее, так как этим обеспечивается наиболее эффективное торможение биохимических, микробиологических и других изменений, сокращающих возможную продолжительность дальнейшего хранения продуктов и способных нанести ущерб их качеству. Встречаются случаи, когда быстрое охлаждение пищевых продуктов до низкой конечной температуры неоправданно. Так, не следует чрезмерно интенсифицировать охлаждение мяса, предназначенного для использования сразу же после его охлаждения, поскольку понижение температуры тормозит развитие посмертных изменений и мясо не достигает нужных кондиций в короткий срок. Считают также рациональным не интенсифицировать охлаждение некоторых растительных продуктов на заключительном этапе их подготовки к холодильному хранению, так как медленное понижение температуры способствует адаптации.

Теплофизические свойства охлаждаемых продуктов всегда считают постоянными на протяжении охлаждения, за исключением энтальпии их. Незначительность изменений теплофизических свойств вовремя охлаждения делает такой прием допустимым, тем более, что отказ от него вызвал бы большие трудности в математическом описании теплообмена при охлаждении.

Влияние испарения влаги с поверхности продуктов, охлаждаемых в воздухе, на теплообмен подлежит учету, хотя бы грубо приближенному, если только это испарение сколько-нибудь значительно. Влияние испарения на ход охлаждения может быть велико. Недаром применяют иногда охлаждение продуктов вакуумированием, когда этот процесс осуществляется за счет тепла испарения.

Внешние условия охлаждения создаются в соответствии с технологическими надобностями и техническими возможностями используемых аппаратов и устройств.

Внутренние тепловыделения охлаждаемых продуктов. Внутренние тепловыделения охлаждаемых продуктов определяются их многообразными природными свойствами. Биохимические процессы, происходящие в тушах животных после убоя, представляют собой видоизмененные прижизненные процессы и сопровождаются выделением тепла. Они связаны с расщеплением веществ, входящих в состав мышечной ткани, - углеводов и эфиров фосфорной кислоты. Освобождающаяся при этом энергия не может быть использована для выполнения физиологических функций и выделяется в виде тепла, причем в таких условиях тепловыделение значительно больше, чем тепловыделения живого организма. Так, температура говяжьей туши в первый час после убоя могла бы повыситься в адиабатных условиях на 3,3-7,9 °С. Сходные явления наблюдаются в тушках птиц и рыб, но они исследованы менее полно.

Тепловыделение даже при постоянной температуре туши постепенно угасает по мере экзотермического распада веществ, причем распад совершается тем медленнее, чем ниже температура туши. Это связано с уменьшением активности ферментных систем, которые вызывают распад.

Такие же величины внутренних тепловыделений рекомендуются и при расчетах охлаждения птицы и рыбы.

При охлаждении пищевых продуктов, содержащих жидкие триглицериды жирных кислот (жиры), отвердевающие при различных температурах, выделяется тепло их кристаллизации. Такое явление обычно для охлаждения многих молочных, мясных и некоторых рыбных продуктов, содержащих значительное количество жира, но не типично для тех продуктов растительного происхождения, с которыми приходится встречаться в практике холодильной технологии.

В справочных данных о теплофизических свойствах пищевых продуктов тепловой эффект отвердевания жиров обычно включают непосредственно в числовые выражения теплоемкости и энтальпии этих продуктов при соответствующих температурах.

Чтобы выделить тепло отвердевания жиров в общем тепловом балансе при охлаждении продуктов, нужно знать количество отвердевающего жира и удельное тепло его отвердевания в области осуществляемого понижения температуры продукта. Удельное тепло отвердевания жиров зависит от их состава и значительно меняется в зависимости от температуры. Медленное отвердевание жиров может также привести к зависимости тепловыделений отвердевания от скорости понижения температуры продукта.

В натуральных продуктах растительного происхождения непосредственно после их сбора продолжается дыхание, которое, будучи сложным явлением по своей биохимической природе, в основном может быть представлено как окисление некоторых углеводов. Интенсивность дыхания связана со зрелостью и температурой. Обычно интенсивность дыхания максимальна сразу после сбора растительных продуктов и постепенно уменьшается по мере расхода веществ, окисляемых при дыхании. Вместе с тем интенсивность дыхания убывает при понижении температуры.

Интенсивность дыхания z выражают в миллиграммах углекислоты, выделяемой 1 кг продукта за час. Если обозначить интенсивность дыхания при 0 °С символом z_0 , то связь интенсивности дыхания с температурой растительного продукта представляется экспоненциальной функцией (формула 3.1):

$$z_t = z_0 e^{kt}, \quad (3.1)$$

где K - постоянный коэффициент;

t – температура;

z_0 - интенсивность дыхания при 0 °С;

e - экспоненциальная функция.

Теплота, отводимая при охлаждении. Известны три пути, которыми пользуются для вычисления теплоты, отводимой от охлаждаемого тела.

Первый путь, основанный на законе Фурье, сводится к определению количества теплоты, передаваемой теплопроводностью от внутренних слоев тела к его внешней поверхности.

Второй путь, основанный на законе Ньютона-Рихмана, состоит в определении теплоты, передаваемой конвекцией от поверхности тела к внешней среде.

Третий путь основан на учете удельной теплоемкости и массы, а также на учете изменения среднеобъемной температуры тела.

В холодильной технологии непосредственно для вычисления теплоты, отводимой от охлаждаемого тела, обычно пользуются последним из этих трех путей, если только не ставится какая-либо более сложная задача.

Отведенная теплота Q выражается как произведение массы на удельную теплоемкость c и на разность начальной $t_{вн}$ и конечной $t_{вк}$ среднеобъемных температур охлаждаемого тела (формула 3.2):

$$Q = G c (t_{вн} - t_{вк}) \quad (3.2)$$

где G – масса охлаждаемого тела;

c – удельная теплоемкость;

$t_{вн}$ и $t_{вк}$ – начальная и конечная среднеобъемная температура.

Продолжительность охлаждения. В холодильной технологии пользуются обычно решениями для простого охлаждения тел при следующих условиях: теплофизические свойства тела не меняются во время его охлаждения; температура охлаждающей среды постоянна; коэффициент теплоотдачи на поверхности тела постоянен; действие каких-либо дополнительных источников или стоков тепла в теле, не включенных в его теплоемкость, не учитывается.

Для расчета продолжительности охлаждения пищевых продуктов пользуются формулой (формула 3.3):

$$\tau = A_{\phi} \cdot \frac{\ell^2}{a} \left[\left(\frac{2,3}{Bi} + 0,8 \right) \lg \frac{t_{н} - t_{с}}{t_{к} - t_{с}} + 0,12 \right] \quad (3.3)$$

где A_{ϕ} - эмпирический коэффициент, учитывающий форму продукта

$A_{\phi} = 1$ для пластины,

$A_{\phi} = 0,5$ для цилиндра,

$A_{\phi} = 1/3$ для шара).

Продолжительность охлаждения можно рассчитать на основе закона регулярного теплового режима. В холодильной технологии этим методом пользуются особенно широко вследствие его простоты и универсальности.

Первая стадия простого охлаждения или нагревания тела сильно зависит от его начального температурного поля; это иррегулярная стадия охлаждения или нагревания.

Вторая стадия независимо от начального температурного поля характеризуется экспоненциальным изменением температуры во всех точках тела, а также его среднеобъемной температуры во времени; эта стадия называется регулярным тепловым режимом.

Третья стадия, теоретически наступающая спустя лишь бесконечно длительное время от начала охлаждения, характеризуется достижением теплового равновесия, когда температура тела во всех точках становится равной температуре внешней охлаждающей или нагревающей среды.

Таким образом, регулярный тепловой режим наступает лишь спустя некоторое время после начала теплообмена, но затем длится неограниченный период времени. Продолжительность первой иррегулярной стадии процесса зависит от сочетания геометрических, теплофизических свойств тела, его начального температурного поля и условий охлаждения. В частных случаях она может быть представлена как функция критерия Био.

Из классического решения задачи о простом охлаждении или нагревании тел следует, что существуют условия, когда при достаточно большой величине критерия Фурье наступает регулярный тепловой режим.

Скорость охлаждения, интенсивность отвода тепла. При расчете процесса охлаждения используют среднюю и истинную скорость охлаждения.

Средняя скорость охлаждения - это отношение разности начальной и конечной температур продукта к найденной продолжительности процесса. Средняя скорость охлаждения является величиной постоянной для данного процесса.

Истинная скорость охлаждения является функцией времени и с развитием процесса уменьшается. Изменение истинной скорости охлаждения определяется условиями процесса охлаждения продукта и его теплофизическими свойствами.

Средней интенсивностью охлаждения называется отношение общего количества теплоты, отведенной от продукта Q , к продолжительности охлаждения τ . Средняя интенсивность охлаждения используется при сравнительной оценке различных режимов охлаждения и расчете охлаждающих приборов.

Истинная интенсивность охлаждения находится из условия, что при простом охлаждении количество отведенной теплоты меняется так же, как температура охлаждаемого продукта, т.е. по экспоненте.

Элементарное количество теплоты, отведенное от продукта и выраженное через изменение среднеобъемной, избыточной температуры ($\vartheta_v = t_v - t_c$), определяется следующим образом: $dQ = -Gcd\vartheta_v$.

Охлаждающие среды. Охлаждение продуктов производят в различных средах: в воздухе, холодной воде или рассоле, тающем льде или снегу.

Чаще охлаждающей средой служит воздух. Охлаждение в воздухе протекает менее интенсивно, чем, например, в жидкой среде, кроме того, охлаждение в нем сопровождается испарением влаги с поверхности продуктов и, следовательно, потерей их массы. Тем не менее, эта охлаждающая среда является самой распространенной и универсальной для всех продуктов. Воздух не имеет запаха и практически на большинство продуктов не оказывает химического воздействия, если не считать окисляющего действия на жиры содержащегося в воздухе кислорода.

Для интенсификации охлаждения в воздухе применяют разные способы. В первую очередь повышают скорость его движения и увеличивают перепад температур между воздухом и охлаждаемым продуктом.

В воздухе охлаждают мясо и мясные продукты, птицу, яйца, масло и молочные продукты, плоды, овощи, ягоды, кондитерские изделия, кулинарию и другие продукты.

При охлаждении в рассоле продукты погружают в него или орошают им. В ряде случаев перед охлаждением продукт заключают во влагонепроницаемую оболочку. Такое охлаждение называют бесконтактным. Соответственно охлаждение в жидкой среде без оболочки называют контактным. Охлаждение в жидких средах происходит интенсивнее, чем в воздухе, так как коэффициент теплоотдачи к жидкости намного больше, чем к воздуху. Но при охлаждении в жидкости продукт теряет свой внешний вид, просаливается, набухает. При бесконтактном же охлаждении в этой среде снижается теплоотдача и усложняется технологический процесс. Практическое применение жидких охладителей относительно ограничено. Для охлаждения тушек птицы применяют ледяную воду. Тающий лед или снег используют для охлаждения таких продуктов, как рыба, некоторые овощи и зелень.

Перспективно применение диоксида углерода для охлаждения и замораживания мяса после обвалки в парном виде, охлаждения и замораживания мяса птицы, упаковки продуктов в среде диоксида углерода, охлаждения транспортных средств, реализации мороженого.

Способы охлаждения пищевых продуктов.

Охлаждение мяса и субпродуктов. Мясо в тушах и полутушах охлаждают в подвешенном виде на подвесных путях в камерах, оборудованных системами для искусственного охлаждения и циркуляции воздуха. Говядина поступает в полутушах или четвертинах, а свинина и баранина - в тушах или полутушах. На крючьях подвесных путей

говядину и свинину размещают поштучно. Бараньи туши располагают на подвесных путях в специальных рамах (люстрах) в один или два яруса. В каждом ярусе помещают по 10 туш.

На каждом подвесном пути размещают по возможности туши одной категории и примерно одинаковой массы. Крупные полутуши подвешивают в зоне с наиболее интенсивным движением воздуха.

На погонном метре подвесного пути размещают по 2-3 говяжьих, 3-4 свиных полутуш или раму с бараньими тушами. Нагрузка на 1 погонный метр пути составляет: говядины 250 кг, свинины и баранины 200 кг.

Преимуществами быстрого охлаждения мяса также являются: улучшение его санитарного состояния, так как вследствие быстрого охлаждения поверхности продукта рост микроорганизмов задерживается; сохранение окраски свежего мяса и белого цвета жира; более длительный срок созревания и, следовательно, срок хранения, уменьшение производственных площадей.

Интенсификация процесса охлаждения достигается за счет повышения скорости движения воздуха с одновременным понижением его температуры.

В настоящее время процесс охлаждения мяса в воздухе проводят одно-, двух- и трехстадийным, а также программным способом.

Субпродукты, поступающие на холодильную обработку, укладывают в противни, ящики, формы, которые размещают на многоярусных стационарных стеллажах, передвижных этажерках или рамах не позже, чем через 5 часов после убоя скота. Их укладывают слоем не более 10 см; почки, сердце, мозги и языки - в один ряд; рубцы охлаждают в подвешенном состоянии на крючьях.

Охлаждение субпродуктов производят от 32 °С до 4 °С в толще в течение 24-х часов. Температура воздуха в камере раскладки и охлаждения субпродуктов поддерживается 0...минус 1 °С, относительная влажность - 90 %.

При использовании аппаратов, в которых в качестве охлаждающей среды применяется рассол с температурой минус 4 °С, субпродукты помещают в металлические формы с крышками, процесс сокращается до 10 ... 12 часов.

После охлаждения субпродукты направляют в реализацию, на промышленную переработку или замораживание.

Охлаждение птицы. Охлаждение птицы производят в воздухе, тающем льду, водолеяной смеси и ледяной воде [6].

Воздушное охлаждение является самым длительным способом холодильной обработки птицы. Продолжительность охлаждения в камерах с температурой воздуха от 0 до минус 1 °С и скоростью его циркуляции 1-1,5 м/с составляет 24 часа и более.

Процесс охлаждения заметно интенсифицируется в камерах туннельного типа, где поддерживается температура воздуха минус 2 °С и искусственная циркуляция его со скоростью до 4 м/с. В этом случае продолжительность охлаждения снижается до 3-6 часов в зависимости от массы, упитанности, породы птицы и т.д.

Недостатками этого метода являются значительные потери массы (1-1,5 %) и плохой товарный вид тушек птицы.

Охлаждают птицу воздухом в аппаратах туннельного типа с поперечным движением воздуха температурой минус 8 °С при кратности циркуляции 150 объемов в час до температуры 2-3 °С (в течение 4...5 часов охлаждают кур, 6...8 часов - гусей, индеек).

Метод погружного охлаждения птицы в ледяной воде по сравнению с охлаждением воздухом в 4-5 раз сокращает продолжительность процесса, позволяет сгладить дефекты технологической обработки птицы; тушка как бы отбеливается, приобретает хороший товарный вид. Однако при этом происходит поглощение воды тушками в количестве от 4 до 10 % их массы, не исключена также возможность перекрестного заражения тушек в результате контакта и их бактериальное загрязнение.

Альтернативой погружному способу является оросительное охлаждение птицы рециркулирующей холодной водой с помощью форсунок. При этом сохраняются почти все преимущества охлаждения птицы в воде, а недостатки, присущие погружному охлаждению, становятся не столь ощутимыми.

Наиболее эффективно комбинированное охлаждение (орошение-погружение, орошение-погружение-воздушная обработка) и охлаждение тушек птицы снегообразной углекислотой, которую вводят во внутреннюю полость тушки. При этом 1/3 CO₂ подается внутрь тушки, а 2/3 - на ее поверхность, что позволяет вдвое сократить время охлаждения по сравнению с традиционным - нанесением снегообразного CO₂ на внешнюю поверхность продукта.

Охлаждение яиц. Яйца охлаждают в воздушной среде. На заготовительных холодильниках это делают в специальных камерах охлаждения, а на распределительных - в тех же камерах, где затем их хранят. В распределительных холодильниках чаще яйца доохлаждают. Охлаждают яйца до 2 °С. Температуру воздуха в камере поддерживают от 0 до минус 2 °С, скорость его движения - около 0,5 м/с и относительную влажность - 75-85 %.

При использовании переменных параметров воздуха температуру в камере охлаждения поддерживает на 2 ... 3 °С ниже температуры яиц, затем ее постепенно понижают (на 1 °С в течение 1-го часа); относительная влажность воздуха составляет 75-80 % при скорости его движения 0,3-0,5 м/с. Процесс охлаждения в зависимости от первоначальной температуры длится 2-3 суток.

Поступают яйца на холодильники в стандартных ящиках или коробках. В этой таре их транспортируют, охлаждают и хранят. Ящики и коробки укладывают в камерах штабелями в шахматном порядке [6].

Охлаждение рыбы. Рыбу охлаждают сразу же после вылова непосредственно на рыболовных судах, а если радиус лова небольшой - в береговых холодильниках. Средой для охлаждения рыбы служит лед, охлажденная пресная или морская вода, водный раствор поваренной соли небольшой концентрации. Лед для охлаждения рыбы используют очень широко. Применяют естественный и искусственный лед. При необходимости в него можно добавлять антисептические вещества. Любой вид льда, используемого для охлаждения, обязательно мелко дробят для обеспечения хорошего контакта с продуктом. Удобным в этом отношении является искусственный лед, изготовленный в виде мелких кубиков, цилиндриков (трубчатый лед), чешуек (чешуйчатый лед) или в виде снега. Такой лед не нуждается в дроблении.

Рыбу пересыпают льдом послойно. Сначала насыпают слой льда на дно тары - ящика, корзины или бочки, в которых будет происходить охлаждение, или на полки охлаждаемых трюмов рыболовных судов. На лед укладывают слой рыбы и засыпают слоем льда, затем опять слой рыбы и слой льда и так до заполнения тары или до определенной высоты на полках трюмов.

При хранении и транспортировке рыбы на судах с охлаждаемыми трюмами расход льда в ящиках составляет от 30 до 40 % массы рыбы.

Охлаждать рыбу рекомендуется до минус 1 °С. Это примерно средняя температура начала замерзания ее тканевых соков. Но льдом, приготовленным из пресной воды, в лучшем случае, можно охладить рыбу до 2 °С в толще. Поэтому при охлаждении рыбы, выловленной в море, часто пользуются льдом, приготовленным из морской воды. Температура таяния такого льда достигает минус 2,1 °С.

При охлаждении дробленным льдом хорошо сохраняется качество рыбы, она не усыхает, не деформируется, не теряет товарного вида. Но дробление льда и пересыпка им рыбы - очень трудоемкие операции. Льдом можно нанести механические повреждения рыбе, а

образующаяся талая вода уносит часть водорастворимых пищевых веществ. Процесс охлаждения льдом протекает относительно медленно.

Жидкими средами для охлаждения рыбы в настоящее время служат 2-4%-ый водный раствор поваренной соли или подсолонная морская вода с общим содержанием соли около 3,5 %. В эти жидкости, охлажденные при помощи холодильных машин или льдосоляной смесью приблизительно до минус 2 °С, погружают рыбу или орошают ее. При погружном способе создают циркуляцию охлаждающей жидкости. Охлаждение орошением производят на решетчатых настилах или сетчатых транспортерах, на которые рыбу укладывают в один или максимум два ряда.

В жидких средах рыба охлаждается значительно быстрее, чем во льду. При использовании жидких сред легче осуществить комплексную механизацию процесса охлаждения и обеспечить необходимые санитарные условия труда. Охлаждаясь в жидкой среде, рыба не подвергается механическим повреждениям, не усыхает, не деформируется. Весьма существенно и то, что с рыбы смывается слизь, которая хотя и не является признаком порчи, но ухудшает внешний вид товара и является средой для развития микроорганизмов.

Охлажденную рыбу укладывают в ящики, которые затем направляют в камеры холодильного хранения, охлаждаемые трюмы (на рыболовецких судах), морозильные камеры.

Охлаждение молока и молочных продуктов. Молоко при поступлении на молочные предприятия должно иметь температуру не выше 10 °С. Однако не все предприятия могут охлаждать сырье, поэтому на молочных заводах предусматривают возможность охлаждения поступающего сырого молока. Целесообразнее охлаждать молоко на фермах. В настоящее время принято охлаждать его сразу после доения до температуры 5 °С и ниже. Для этого используются водоохлаждающие холодильные машины, танки-охладители молока с непосредственным кипением холодильного агента или с промежуточным теплоносителем.

На заводах поступившее молоко перед хранением охлаждают до температуры 4-5 °С в пластинчатых охладителях; хранят его в вертикальных или горизонтальных танках.

Пластинчатый охладитель является наиболее совершенным из современных устройств для охлаждения молока.

Молочные продукты - масло, сыры, сметану, кефир, простоквашу - охлаждают на различных этапах их производства и в готовом виде. Для охлаждения пользуются либо такими же охлаждающими устройствами, как и при охлаждении молока, либо обычными холодильными камерами. В некоторых случаях применяют специальные охладители.

В производстве масла холод применяют для охлаждения сливок после пастеризации и при их созревании, в процессе сбивания масла и непосредственно после его изготовления. Для непродолжительного хранения (в пределах 1-1,5 месяца) масло охлаждают приблизительно до минус 1 ÷ минус 2 °С, а для длительного хранения - до более низких температур.

Сырдельное производство использует холод при посоле сыров и для охлаждения готовой продукции.

В производстве кисломолочных продуктов холод применяют для создания необходимой температуры воздуха в камерах, где производится выдержка продуктов, вырабатываемых термостатным способом, или для охлаждения танков при резервуарном способе производства. Простоквашу, например, выдерживают при температуре окружающего воздуха 0-1 °С, кефир - при 6÷8 °С. При выработке сметаны холод нужен главным образом для охлаждения сливок, из которых ее изготавливают. Охлаждают их после пастеризации и заквашивания и во время созревания. После пастеризации сливки охлаждают до температуры 18-22 °С. Сквашенные сливки помещают в холодильные камеры для охлаждения и созревания, где продукт выдерживают в течение 1-2 суток при температуре 5-8

°С. На больших молочных заводах сквашивание сливок, их охлаждение и созревание сметаны производят в специальных сливокосозревательных ваннах. Готовую сметану направляют в камеры хранения, где она еще охлаждается на несколько градусов в зависимости от предстоящих сроков хранения.

Холод широко используют также в производстве творога, творожных изделий, сгущенного молока и других молочных продуктов.

Охлаждение плодов и овощей. Плоды, овощи и ягоды, закладываемые на длительное хранение или предназначенные для транспортировки на значительное расстояние, как правило, охлаждают непосредственно на месте сбора. Называют это охлаждение предварительным. Производят его на специальных станциях предварительного охлаждения либо в камерах заготовительных холодильников. Плоды и овощи, предназначенные для перевозки, в большинстве случаев охлаждают непосредственно в изотермических вагонах или авторефрижераторах, в которых они в дальнейшем транспортируются.

Существуют различные способы предварительного охлаждения: воздушное; гидроохлаждение ледяной водой орошением или погружением; снегование, вакуумное, комбинированное охлаждение. По скорости наиболее эффективно вакуумное охлаждение, затем гидроохлаждение, снегование и воздушное охлаждение. Однако наибольшее распространение получил воздушный способ в различных модификациях. Воздушный способ охлаждения может применяться: в обычных камерах хранения при средней скорости движения воздуха 1-1,5 м/с и умеренной кратности циркуляции 30-40 объемов/ч; тоннельных камерах предварительного охлаждения при скорости движения воздуха 3-4 м/с и повышенной кратности его циркуляции (60-100 объемов/ч); специальных аппаратах интенсивного охлаждения при повышенных скоростях движения (до 5 м/с) и значительной кратности его циркуляции (до 150 объемов/ч).

Вовремя охлаждения в камерах создают усиленную циркуляцию воздуха (порядка 3-4 м/с). Температуру его при этом поддерживают около 0 °С и относительную влажность 90-95 %. В этих условиях продукт с начальной температурой 25 °С охлаждается до 4 °С в течение 20-24 часов.

Таким же образом охлаждают плоды и овощи в камерах заготовительных холодильников.

Охлаждение плодов и овощей непосредственно в изотермических вагонах или авторефрижераторах производится следующим способом. Загруженные вагоны или авторефрижераторы подают к станции предварительного охлаждения. Здесь их посредством подвижных каналов и гибких рукавов соединяют с воздухоохладителем станции, и мощные вентиляторы продувают через них холодный воздух. Температуру подаваемого воздуха в начале охлаждения поддерживают на уровне 0 °С, затем постепенно понижают ее, доводя к концу охлаждения до минус 10 °С. Чтобы избежать подмораживания продуктов и обеспечить равномерное их охлаждение, направление воздушного потока в вагоне или кузове авторефрижератора периодически меняют. При указанных температурах воздуха и достаточно интенсивной его циркуляции плоды и овощи охлаждаются от 25 до 4 °С в течение 6-8 часов.

Для охлаждения продуктов в вагонах нередко пользуются передвижными станциями предварительного охлаждения, представляющими собой холодильную установку с воздухоохладителем и мощными вентиляторами, смонтированными в четырехосном вагоне.

Охлаждение плодов и овощей ледяной водой производят в специальных аппаратах, оборудованных конвейерами. Корзины или ящики с продуктами устанавливают в несколько параллельных рядов на конвейеры. При движении конвейеров продукты погружаются в холодную воду либо орошаются ею. При температуре воды, близкой к 0 °С, охлаждение продолжается от 10 до 30 минут. Одновременно с охлаждением плоды и овощи моются.

Снегом в плодоовощных предприятиях пользуются для непосредственного охлаждения нестойких, быстро увядающих овощей: зеленого лука, салата, листовой петрушки, укропа, шпината, редиса, огурцов и др. Применяют для этого обычно снежно-ледяную массу, получаемую из льда путем его измельчения специальными снеговальными машинами. Свежие, предварительно вымытые овощи укладывают в ящики и пересыпают снежно-ледяной массой. На каждые 10 кг охлаждаемых овощей засыпают 4 кг такого снега. Заполненные ящики по роликовым дорожкам подают в изотермический транспорт и развозят по магазинам, предприятиям общественного питания и другим объектам реализации. Пересыпанные снегом овощи быстро охлаждаются и достаточно долго не увядают. Естественная убыль их при таком охлаждении значительно меньше, чем при охлаждении в обычных камерах.

Вакуумное охлаждение применяют сравнительно недавно, но оно является весьма перспективным. Сущность его заключается в следующем. Над охлаждаемыми плодами или овощами создают разрежение, при котором из тканей интенсивно испаряется часть влаги (1-2 %), на что расходуется значительное количество их внутреннего тепла и поэтому они быстро охлаждаются. Практически вакуумное охлаждение осуществляется в специальных металлических камерах, где с помощью многоступенчатых пароэжекторных машин создается вакуум. Охлаждаемые продукты, уложенные в картонные коробки - контейнеры, устанавливают на тележки и вкатывают в камеры. Затем камеры герметически закрывают и начинают процесс охлаждения. Длится он 15-20 минут. Такой способ применяют и для охлаждения плодов и овощей непосредственно в вагонах. Процесс охлаждения происходит тоже очень быстро. При достаточно глубоком вакууме вагон овощей охлаждается за 25-30 минут.

Пока вакуумное охлаждение относительно широко используется в США, главным образом для овощей с большой поверхностью, например, для салата, шпината, листовой петрушки и др [7].

3.1.2 Подмораживание пищевых продуктов

Процесс понижения температуры продуктов ниже криоскопической, при котором происходит частичная кристаллизация влаги на поверхностном слое, называется *подмораживанием*. Такое название точно характеризует воздействие низкой температуры на продукты, в результате которого происходит льдообразование.

Подмораживание пищевых продуктов увеличивает срок их хранения в 2- 2,5 раза по сравнению с охлаждением.

Чаще всего подмораживание применяется для сохранения рыбы, мяса и плодов.

Подмораживание продуктов делится на 2 основных способа:

1. В камере поддерживается температура до минус 3 °С. В нее помещают продукт, температура которого постепенно снижается и приближается к температуре воздуха камеры. Таким образом подмораживаются следующие продукты: рыба, птица, мясо и зимние сорта яблок.

2. Продукт помещают в морозильную камеру, где происходит заморозка периферийного слоя продукта на ограниченную глубину. Затем продукт перемещают в камеру хранения, температура в которой поддерживается от минус 2 °С до минус 3 °С. В результате благодаря внутреннему теплообмену во всём объеме продукта устанавливается температура, равная температуре хранения. Таким способом часто подмораживают мясо и рыбу. Подморозку рыбы можно делать контактным способом в рассоле.

Процесс подмораживания проходит в два этапа:

- на первом этапе делается заморозка поверхностного слоя продукта, в результате чего внутри продукта образуется неравномерное температурное поле. В морозильной камере обработка продукта проходит непродолжительное время, что позволяет осуществлять подмораживание таких продуктов как мясные четвертины и полутуши;

- на втором этапе в продукте происходит внутренний теплообмен, сопровождающийся слабым теплообменом с воздухом камеры. В результате температуры продукта и воздуха в камере практически выравниваются.

В подмороженных продуктах при хранении происходят те же изменения, что и при охлаждении, но протекают они медленнее, поэтому продолжительность хранения в подмороженном состоянии может быть больше, чем в охлажденном. Отмечено, что усушка при этом меньше, а качество существенно не отличается от качества охлажденных продуктов

Расчет процесса подмораживания сводится к определению его продолжительности для образования замороженного слоя определенной толщины, при котором среднеобъемная температура соответствует заданной температуре хранения [7].

3.1.3 Замораживание пищевых продуктов

Замораживанием называется отвод теплоты от продуктов с понижением температуры ниже криоскопической при кристаллизации большей части воды, содержащейся в продукте [8].

Эффект замораживания достигается при температуре в центре продукта минус 6 °С и ниже. Вода в продуктах содержит растворенные соли, поэтому она замерзает не при 0 °С, а при более низкой температуре, называемой криоскопической, значение которой на несколько градусов ниже температуры замерзания воды. При - 5 °С обычно замерзает около 75% воды в мясе, при -10 °С - более 80%, а при - 20 °С - около 90%. Дальнейшее понижение температуры на эту величину практически не влияет.

К замораживанию пищевых продуктов прибегают для обеспечения сохранности продуктов во время длительного хранения; отделения влаги при концентрировании жидких пищевых продуктов; изменения физических свойств продуктов (твердость, хрупкость и др.) при подготовке к дальнейшим технологическим операциям; при сублимационной сушке; производства своеобразных пищевых продуктов и придания им специфических вкусовых и товарных качеств (мороженое, пельмени, другие быстрозамороженные продукты).

Замораживание используется и как составной элемент некоторых технологических процессов – концентрирование плодовых соков, уксуса, сублимационная сушка и др.

Наибольшее распространение замораживание получило как подготовительный процесс для длительного холодильного хранения продуктов. Длительность хранения скоропортящихся продуктов с высоким содержанием влаги в замороженном виде значительно больше, чем в охлажденном. Превращение влаги продукта из жидкого состояния в кристаллическое приводит к существенному торможению жизнедеятельности микроорганизмов, а также значительно снижается скорость биохимических и химических реакций, происходящих в пищевых продуктах. При замораживании в пищевых продуктах происходят изменения, не позволяющие полностью восстановить их первоначальные свойства. Поэтому в технологическом отношении процесс замораживания считается не полностью обратимым. Технологическая необратимость не является недостатком, если не ухудшаются пищевые и вкусовые показатели, а также товарный вид продукта.

Основное отличие замораживания от охлаждения состоит в том, что замороженные продукты являются более стойкими при хранении, чем охлажденные, поскольку вода в них

превращается в лед. При этом прекращается диффузионное перемещение растворимых в воде веществ и, следовательно, питание микроорганизмов и протекание биохимических (ферментативных) реакций.

Замороженный продукт отличается от охлажденного рядом внешних и физических признаков и свойств: твердостью - результат превращения воды в лед; яркостью окраски - результат оптических эффектов, вызываемых кристаллизацией льда; уменьшением удельного веса - следствие расширения воды при замораживании; изменением термодинамических характеристик (теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность).

При замораживании, в отличие от охлаждения, происходит частичное перераспределение влаги, травмирование тканей продукта кристаллами льда, а также иногда частичная денатурация белка. В общей сложности все это может снизить вкусовые и питательные достоинства продукта, если замораживание осуществлено неправильно.

В технологическом отношении замораживание вызывает изменения в продукте, препятствующие полному восстановлению первоначальных свойств. Поэтому говорят о неполной обратимости замораживания пищевых продуктов, в отличие от их охлаждения.

Замораживая продукт, необходимо стремиться прежде всего сохранить его питательные и вкусовые свойства. Для этого необходимо добиться максимальной обратимости явлений, происходящих в процессе замораживания.

Изменение теплофизических свойств продуктов при замораживании. Фазовое превращение при замораживании продуктов содержащейся в них влаги в твердое состояние существенно изменяет их теплофизические свойства, это связано с тем, что теплофизические свойства воды и льда резко различаются. Свойства сухих веществ продуктов при замораживании меняются весьма незначительно и практически считаются постоянными. Следовательно, основной и почти единственной причиной изменения теплофизических свойств продуктов при замораживании является превращение содержащейся в них воды в лед.

Изменяется при замораживании продуктов их удельная теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, плотность.

Удельная теплоемкость пищевых продуктов вследствие их замораживания уменьшается, поскольку теплоемкость льда в два раза меньше теплоемкости воды.

Теплопроводность пищевых продуктов при их замораживании увеличивается. Объясняется это тем, что теплопроводность образующегося льда приблизительно в 4 раза больше теплопроводности воды. Очевидно, теплопроводность замороженных продуктов возрастает с понижением температуры замораживания, поскольку количество вымораживаемой воды с понижением температуры увеличивается.

Температуропроводность пищевых продуктов при замораживании также увеличивается. Температуропроводность воды вследствие превращения ее в лед увеличивается почти в 8 раз.

Плотность пищевых продуктов при замораживании уменьшается вследствие расширения содержащейся в них воды при превращении ее в лед. Но степень изменения плотности по сравнению с изменением других теплофизических свойств (теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности) продуктов при замораживании очень небольшая. В среднем плотность основных видов пищевых продуктов при замораживании уменьшается на 5–6%.

Средняя конечная температура замораживания. В практике хранения замороженных продуктов и при тепловых расчетах их замораживания часто требуется знать, какую температуру они имеют в конце этого процесса. Практически конечная температура замораживаемого продукта никогда не доводится до одинаковых значений во всех его точках. В центральной части продукта она значительно выше, чем в слоях, расположенных

ближе к поверхности. В связи с этим возникла необходимость ввести понятие о средней конечной температуре замораживания (формула 3.4):

$$t_{ск} = \frac{t_{кц}(Bi + 2) + t_c Bi}{2(Bi + 1)}, \quad (3.4)$$

где t_c - температура теплоотводящей среды, °С;
 $t_{кц}$ - конечная температура в центре замораживаемого продукта, °С;
 Bi - критерий Био (формула 3.5):

$$Bi = \frac{a\delta}{\lambda_M}, \quad (3.5)$$

где a - коэффициент теплоотдачи при замораживании Вт/(м²·К);
 δ - половина толщины продукта, м;
 λ_M - коэффициент теплопроводности замороженного продукта, Вт/(м²·К).

В практике хранения замороженных продуктов средняя конечная температура их замораживания должна быть такой же, как и температура воздуха в камере хранения. Если она будет выше этой температуры, то в камере нарушится температурный режим.

Следовательно, в этом случае конечная температура замораживания продуктов определяется температурой, при которой они будут храниться. Но, чтобы обеспечить такую конечную температуру замораживания продукта, надо довести до соответствующего значения температуру в его центре.

Теплота, отводимая при замораживании. Теплоту, которую нужно отвести от продукта, чтобы осуществить его замораживание, в холодильной технологии часто называют расходом холода при замораживании. Реальный процесс замораживания продуктов заключается в том, что в морозильное устройство помещают продукт, начальная температура которого выше криоскопической, а конечная - ниже криоскопической в любой его точке. Этот интервал изменения температуры продукта включает охлаждение его от начальной температуры t_n до криоскопической $t_{кр}$ и собственно замораживание, характеризующееся льдообразованием, происходящим в области температур от криоскопической до конечной $t_{ск}$. При этом переохлаждением влаги в продукте можно пренебречь.

В таком процессе замораживания охлаждение и льдообразование не разделяют во времени. Когда в периферийных слоях уже началось льдообразование, центральные слои еще продолжают охлаждаться. *Теплота, отводимая* от замораживаемого продукта, выражается формулой 3.6:

$$Q = G[c_0(t_n - t_{кр}) + LW\omega + c_M(t_{кр} - t_{ск})] \quad (3.6)$$

где G - масса продукта, кг;
 c_0 - удельная теплоемкость незамороженного продукта, кДж/(кг · К);
 $t_n, t_{ск}, t_{кр}$ - соответственно среднеобъемная начальная, конечная и криоскопическая температура продукта, °С;
 L - удельная теплота льдообразования, кДж/кг;
 W - относительное содержание влаги в продукте в долях единицы;
 ω - количество вымороженной воды в продукте в долях единицы, которое находится для конечной среднеобъемной температуры $t_{ск}$;

c_m - удельная теплоемкость замороженного продукта в интервале среднеобъемных температур ($t_{кр} - t_{ск}$), кДж/(кг·К); определяется при среднелогарифмической температуре: $t_{ср,л} = (t_k - t_{кр}) / \ln(t_k / t_{кр})$.

Допуская, что теплоемкость льда не зависит от температуры, можно принять $c_m = c_0 - 2,1 W\omega$.

Первое слагаемое в формуле (3.6) выражает теплоту охлаждения продукта до $t_{кр}$. Второе слагаемое - количество теплоты, выделившееся при кристаллизации влаги. Это слагаемое составляет 70-80 % от Q . Третье слагаемое - теплота, отводимая при понижении температуры замороженного продукта и при одновременно продолжающемся кристаллообразовании.

Продолжительность замораживания. Замораживание, за исключением особых случаев (например, замораживание жидких и пастообразных продуктов с помощью вакуума), начинается на внешней поверхности и постепенно, послойно углубляется внутрь объекта. Физическую модель этого процесса удобнее всегда представить в виде задачи о теплопроводности с «подвижными границами», имея в виду границу между твердой (кристаллической) и жидкой фазами, которая в ходе процесса непрерывно перемещается от поверхности объектов к центру.

Скорость и интенсивность замораживания. Важной характеристикой процесса замораживания является скорость. Существует несколько методов оценки скорости замораживания: температурные изменения в единицу времени; время, необходимое для прохождения определенного перепада температур; скорость движения фронта льда и др. Согласно терминологическому словарю Международного института холода скорость замораживания определяется как отношение минимального расстояния между поверхностью и термическим центром ко времени между моментами достижения на поверхности 0°C и температуры в термическом центре на 10°C ниже криоскопической для данного продукта. Международный институт холода (МИХ) предложил следующую условную классификацию процесса замораживания: медленное (0,5 см/ч); быстрое (от 0,5 до 5 см/ч); сверхбыстрое (от 0,5 до 10 см/ч); ультрабыстрое (от 10 до 100 см/ч). Однако наиболее строгим физическим понятием является линейная скорость перемещения фронта кристаллизации (границы раздела фаз в замороженном теле).

Различают истинную линейную dx/dt и среднюю линейную \mathcal{G} скорости перемещения фронта кристаллизации. Истинная линейная скорость перемещения фронта кристаллизации определяется при тех же допущениях, что и формула Планка, и зависит от формы объекта при прочих равных условиях, так (формула 3.7):

$$\begin{aligned} \text{для пластины: } \frac{dx}{dt} &= \frac{\mathcal{G}}{\left(\frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}\right)q\rho}; & \text{для цилиндра: } \frac{dx}{dt} &= \frac{\mathcal{G}}{\left(\frac{1}{\alpha R} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{R}{r}\right)q\rho \cdot r}; \\ \text{для шара: } \frac{dx}{dt} &= \frac{\mathcal{G}}{\left[\frac{1}{\alpha R^2} + \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)\right]q\rho \cdot r^2}, \end{aligned} \quad (3.7)$$

где R - радиус цилиндра и шара;

$r = R - x$ - радиус незамороженной части продукта.

Средняя линейная скорость замораживания есть отношение половины определяющего геометрического размера к продолжительности замораживания τ , найденной по формуле

Планка, т.е. $\vartheta = \ell / \tau$. Истинная линейная скорость замораживания уменьшается по мере увеличения определяющего размера тела.

Изменение скорости замораживания зависит от теплофизических свойств материала, его формы и условий замораживания. При малых коэффициентах теплоотдачи α термическое сопротивление замороженного слоя сказывается незначительно, в то время как при больших α его влияние становится определяющим.

Поэтому стремиться к интенсификации процесса замораживания (к увеличению α) можно только для тел малого размера. Если толщина объекта значительна, то увеличение коэффициента теплоотдачи (например, путем замораживания в жидком азоте) бессмысленно, так как процесс замораживания лимитируется коэффициентом теплопроводности материала тела.

Особенности различных методов замораживания пищевых продуктов. В мировой практике для быстрого замораживания пищевых продуктов используют широкий набор методов и соответствующих им технических средств. Методы замораживания условно можно разделить на следующие три группы, основанные:

- на прямом контакте пищевого продукта с хладагентом;
- использовании хладоносителя, который охлаждается хладагентом в специальных теплообменниках;
- контакте продукта с хладагентом через металлическую поверхность.

Методы замораживания первой группы, использующие жидкие, твердые и газообразные хладагенты, объединены общим названием - криогенные методы.

Вторая группа методов использует жидкие и газообразные хладоносители. В случае применения жидких хладоносителей (растворы хлоридов кальция и натрия, пропиленгликоля и т.д.) используют погружной метод замораживания в некипящей жидкости, газообразного хладоносителя (главным образом воздуха) - воздушный метод.

Третью группу образуют методы, основанные на контакте продукта и хладагента через металлическую поверхность, которые используют в основном для продукта правильной геометрической формы или блока.

В зарубежной практике получил распространение еще один метод - комбинированный, который возник в результате комбинации различных вариантов криогенного и воздушного методов и позволяет недостатки одного метода компенсировать преимуществами другого.

Технические средства, обеспечивающие замораживание пищевых продуктов, используют в машинном и безмашинном способах получения холода. Машинным способом обеспечиваются следующие методы замораживания: воздушный, погружной в некипящей жидкости, контактный через металлическую поверхность. Криогенный метод основан на безмашинной проточной системе хладоснабжения, т.е. на системе, в которой рабочее тело не совершает замкнутого кругового процесса, т.е. предусматривается одноразовое его использование. Комбинированный метод используют совмещение проточной системы с традиционными машинными способами.

Криогенное замораживание. В настоящее время в пищевой промышленности для замораживания пищевых продуктов используют следующие криогенные агенты: жидкий азот, диоксид углерода и фреоны.

Наибольшее распространение для замораживания штучных продуктов получил жидкий азот, характеризуемый относительной инертностью, низкой температурой и способностью к поглощению большого количества теплоты на единицу массы.

Общая продолжительность замораживания существенно зависит от вида и размеров продукта. При использовании жидкого азота продукт толщиной 1 см замораживается в среднем за 5 минут, толщиной 2 см - за 8 минут, толщиной 4 см - за 17 минут. Очевиден вывод о том, что наиболее выгодно замораживать с использованием жидкого азота мелкие штучные продукты.

Применение жидкого азота для замораживания пищевых продуктов сдерживается в первую очередь высокой его ценой, а также тем, что он - хладагент одноразового использования.

В этом отношении преимущество перед азотом имеет другая криогенная жидкость, используемая для замораживания пищевых продуктов, - R12. Благодаря регенерации паров расход фреона снижается до 0,025 кг на 1 кг продукта. Интенсификация процесса замораживания с использованием R12 достигается не за счет высокого температурного потенциала, как в случае замораживания в азоте, а эффективным теплообменом за счет кипения хладагента на поверхности продукта при атмосферном давлении. На основании выполненных отечественными специалистами исследований доказана целесообразность использования R12 для замораживания мяса птицы, разработаны условия и режимные параметры процесса.

Криогенный метод замораживания с применением диоксида углерода CO₂ давно привлекает внимание специалистов. Замораживание осуществляют, воздействуя на продукт холодной газовой и жидкой средой или создавая смесь из газа и диспергированного в ней твердого CO₂. С целью максимального использования теплоты сублимации продукт покрывают «снеговой шубой», получаемой после дросселирования жидкого CO₂. В ряде случаев твердый CO₂ используют в виде мелких гранул, которые укладывают внутрь продукта, например, в тушку птицы, или засыпают в коробки с продуктом.

Диоксид углерода можно применять для контактного замораживания практически любых штучных пищевых продуктов, тем более, что он имеет бактерицидные свойства: служит эффективным средством для подавления размножения анаэробных и аэробных бактерий на поверхности продукта, а также для снижения окислительных процессов. В настоящее время в мировой практике наблюдается тенденция к расширению производства диоксида углерода, причем его доля в пищевой промышленности также возрастает.

Основной недостаток криогенного замораживания (который сдерживает использование его в широком масштабе за рубежом и особенно в нашей стране) - высокая стоимость. В последние годы наметился возрастающий интерес отечественной перерабатывающей промышленности к криогенному методу холодильной обработки пищевых продуктов на базе газообразного и жидкого азота. Этот интерес связан с открытием в России больших запасов (340 млрд м³) подземных высокоазотных газов, себестоимость такого сжиженного азота по сравнению с существующим в промышленности методом разделения воздуха почти на порядок ниже.

Воздушное замораживание. Широкое использование этого метода обусловлено его универсальностью, так как он дает возможность замораживать штучные продукты практически любой формы и размеров, неупакованные или упакованные в полимерную пленку или другую тару.

Скорость замораживания в воздушной среде зависит от размера продукта, температуры среды и скорости ее циркуляции. Установлено, что если температура воздуха при быстром замораживании падает ниже минус 32 °С, а скорость потока воздуха становится выше 6...8 м/с, то это не только неэкономично, но и неэффективно с позиции повышения скорости замораживания.

В зарубежной и отечественной практике готовые блюда обычно замораживают при температуре воздуха не выше минус 30 °С и скорости его движения 3 м/с и выше; изделия из теста с начинками - от минус 18 до минус 40 °С в зависимости от рецептур теста и начинок. При замораживании рыбы в туннельных морозильных аппаратах скорость движения воздуха составляет 5...6 м/с; однако такая скорость иногда способствует изменению окраски поверхности рыбы (например, у скумбрии), поэтому в ряде стран применяют замораживание при скорости движения воздуха 2...3 м/с. Коэффициент теплоотдачи в этом случае составляет 40...60 Вт/(м²·К).

Замораживание погружением в некипящую жидкость. Метод характеризуется высокой эффективностью условий теплообмена; при этом используется недорогое оборудование, простое в обслуживании и легко поддающееся автоматизации. В качестве некипящей жидкости используют холодные растворы солей, в основном хлорида натрия, хлорида кальция, пропиленгликоля, этилового спирта и др. Погружной метод в некипящей жидкости применяют для бесконтактного или контактного замораживания штучных пищевых продуктов.

Основной недостаток контактного способа, предусматривающего замораживание в некипящей жидкости неупакованного продукта, - это проникновение соли в продукт, что способствует ускорению окисления жиров и отрицательно влияет на его вкус. При этом сроки хранения замороженного продукта значительно сокращаются. Проникновение соли в продукт тем слабее, чем ниже температура раствора; оно прекращается при эвтектической точке хладоносителя. Поэтому для уменьшения просаливания продукта температура охлаждающей жидкости данной концентрации должна быть по возможности ближе к точке его замерзания.

Почти исключает просаливание комбинированный метод замораживания: первый этап - охлаждение в воздухе до криоскопической температуры (минус 2...минус 3 °С) на поверхности продукта; второй - в хладоносителе.

Контактный метод широко применяют на судах для замораживания крупной рыбы (в частности, тунца), прежде всего не требующей длительного хранения и предназначенной для переработки на консервных заводах, а также для замораживания растительных продуктов.

Бесконтактный способ замораживания в холодной жидкости предусматривает предварительную упаковку продукта. За рубежом для упаковки штучных пищевых продуктов широко используют термоусадочную пленку «саран». Предварительное вакуумирование, герметизация и термоусадка пакетов из такой пленки позволяют предохранить продукт от бактерицидного заражения, загрязнений, практически исключаются потери массы продукта за счет усушки и воздействия атмосферного кислорода, что приводит к увеличению сроков хранения. Плотно прилегающая пленка придает продукту хороший товарный вид.

Контактный способ замораживания предусматривает следующие принципы организации процесса: продукт плавает на поверхности жидкости и орошается ею; погружен в жидкость, движущуюся относительно продукта; орошается жидкостью; погружен в неподвижную жидкость. Коэффициент теплоотдачи достигает наибольших значений при замораживании первым (тушка плавает на поверхности и орошается сверху) и вторым (тушка погружена в жидкость, движущуюся относительно продукта) способами.

Следовательно, они отличаются от других большей эффективностью теплообмена между продуктом и жидкостью. Однако реализация первого принципа на практике связана с определенными трудностями: значительным расходом жидкости для обеспечения требуемой плотности орошения продукта; повышенной деконцентрацией раствора из-за развитой поверхности контакта между орошающей жидкостью и воздухом; сложностью обеспечения надежной работы форсунок, возникающей в результате их быстрого засорения. При использовании второго принципа организации процесса эти недостатки исключаются. Поэтому для практической реализации целесообразен метод погружения в движущуюся относительно продукта некипящую жидкость.

При замораживании погружением основными параметрами, определяющими интенсивность процесса, являются температура и скорость движения охлаждающей жидкости. С увеличением скорости движения жидкости резко увеличивается коэффициент теплоотдачи, однако повышение скорости более, чем до 0,2 м/с приводит к интенсивному пенообразованию. При этом коэффициент теплоотдачи составляет 300...500 Вт/(м²·К), т.е. на

порядок выше, чем при воздушном охлаждении. Температура охлаждающей жидкости обычно минус 20... минус 40 °С, понижение ниже минус 50 °С - нецелесообразно.

Комбинированное замораживание. В последнее время большой интерес представляет комбинированное замораживание, включающее использование криогенных жидкостей в сочетании с иными хладагентами, такими, как холодный воздух, лед, рассол и пр. Подобное сочетание позволяет недостатки одного метода компенсировать преимуществами другого.

Выбор рациональных условий замораживания. Выбор рациональных условий замораживания, в сущности, представляет собой постановку задачи о замораживании пищевых продуктов, включая ее технологические, технические, экономические и иные возможные аспекты. По-видимому, рациональными условиями замораживания можно было бы назвать такие, которые обеспечивали высокое качество продукта при автоматизации производственного процесса, простоте, надежности и максимальном экономическом эффекте его выполнения.

Увеличение скорости замораживания или сокращение его продолжительности не причиняет ущерба продукту, когда процесс замораживания не сопровождается перемораживанием периферийных слоев продукта до чрезмерно низких температур. Если даже увеличение скорости замораживания выше какого-то предела не благоприятствует качеству продукта, то оно все же полезно, так как позволяет увеличить производительность морозильного устройства.

Продолжительность замораживания можно сократить, уменьшив толщину замораживаемого слоя, понизив температуру теплоотводящей среды и увеличив коэффициент теплоотдачи на поверхности продукта.

Начальная и конечная температуры продукта обычно определяются технологическими условиями производства, и вполне очевидно их влияние на продолжительность замораживания. Остальные величины, входящие в формулы для определения продолжительности замораживания, выражают свойства продуктов, присущие им и не поддающиеся произвольному изменению в процессе замораживания [8].

3.2 Отапливание пищевых продуктов

Отапливание и размораживание - заключительные операции в непрерывной холодильной цепи, осуществляемые непосредственно перед выпуском пищевых продуктов в розничную продажу, перед промышленной переработкой или перед кулинарной обработкой. Цель этих операций - привести продукт в состояние, удобное для дальнейшего использования и возможно более близкое к состоянию, свойственному натуральному продукту высокого качества [1].

Отапливанием охлажденных продуктов называют процесс повышения температуры до предела, при котором исключается конденсация влаги на их поверхности в период транспортировки и реализации. Этот процесс осуществляется за счет постепенного повышения температуры окружающего воздуха с учетом соотношения его температуры и влажности; точка росы воздуха должна быть все время ниже температуры поверхности продуктов. Таким образом, при отапливании следует постоянно регулировать температуру и относительную влажность воздуха.

В промышленной практике организованное и регулируемое отапливание или размораживание осуществляют обычно при работе с большими партиями однородных продуктов или при необходимости систематической подачи продукта для производственных нужд (при использовании замороженного мяса в колбасном производстве, мороженой рыбы в консервном производстве и в других случаях). Мясо и рыбу часто размораживают также на

предприятиях общественного питания, но к регулируемому отеплению продуктов здесь прибегают реже. При выборе технологии отепления и размораживания, как и технологии всех остальных операций, составляющих непрерывную холодильную цепь, следует исходить из требований к качеству продукта.

Отепление производят в камерах, оборудованных установками или устройствами для кондиционирования воздуха (кондиционирование — это поддержание параметров воздуха (температуры, влажности и скорости), оптимальных с точки зрения технологического процесса). Кондиционирование обеспечивается последовательно включенными воздухоохладителем и калорифером.

Воздух из камеры отепления при помощи вентилятора поступает в воздухоохладитель, где охлаждается и подсушивается до необходимых пределов. Затем он переходит в калорифер, где нагревается при постоянном влагосодержании, и затем поступает в камеру отепления. Здесь воздух отдает тепло продукту, повышая его температуру, а сам охлаждается и несколько увлажняется. Тепло, подводимое к продукту при отеплении его воздухом, расходуется не только на нагревание продукта, но и на испарение влаги с его поверхности.

Чтобы уменьшить усушку продуктов при отеплении, устанавливают максимально возможную относительную влажность теплого воздуха, подаваемого в камеру. Для равномерного отепления продукта в камере постоянно изменяют направление движения воздуха с помощью шиберов, установленных по основным прямым каналам или соединительным перемышкам. При этом подача воздуха и удаление его из камеры отепления происходит попеременно из двух каналов.

Продолжительность отепления зависит от размеров продукта, вида тары, их теплофизических свойств, температуры и скорости движения воздуха, температуры продукта в начале и конце процесса. Отепление продуктов обычно продолжается от 1 до 2 суток. В период отепления ускоряются химические и биологические процессы, в продуктах происходит дальнейший распад сложных органических соединений на более простые, увеличивается микробиологическая обсемененность, имеет место потеря влаги. Техника отепления различных продуктов в основном одинакова. Продукты размещают так, чтобы была обеспечена свободная циркуляция воздуха. Совместное отепление продуктов с резкими специфическими запахами и другими продуктами недопустимо. Чтобы задержать развитие микроорганизмов в период отепления, применяют бактерицидное облучение ультрафиолетовыми лучами или озонируют циркулирующий воздух.

Помимо отмеченных теплофизических особенностей, связанных со стремлением избежать увлажнения поверхности, отепление пищевых продуктов рассматривается как теплообменный процесс, обратный охлаждению. Соответственно этому определяют количество теплоты, подводимой к продукту в заданном интервале температур, и длительность отепления. Все же имеются некоторые специфические черты, отличающие теплообмен при отеплении и связанные с поведением продукта и режимом отепления.

3.3 Размораживание пищевых продуктов

Явления, происходящие в пищевых продуктах при их размораживании, гораздо сложнее, чем при отеплении. Технологические цели размораживания, сложность изменений, происходящие при этом процессы в продуктах и недостаточная изученность таких изменений привели к отсутствию общепринятых суждений о рациональных режимах размораживания.

Размораживание пищевых продуктов — это технологический процесс превращения содержащейся в них воды из твердого состояния в жидкое и возможное восстановление их естественных свойств. Размораживание, как и отепление, является заключительным звеном холодильной цепи. При размораживании необходимо, чтобы пищевые продукты сохранили первоначальные свойства с наименьшими потерями качества и количества

Термин «размораживание» иногда заменяют терминами «оттаивание», или «дефростация», что не совсем правильно. Дефростацией (defrostation) обычно называют удаление льда и снега тепловым способом с холодильных поверхностей. Оттаиванием (thawing) называют нагревание замороженных продуктов. При замораживании и холодильном хранении происходит перемещение воды из клеток в межклеточные и межволоконные пространства. В период размораживания образующаяся при таянии льда вода должна перемещаться в волокна и клетки ткани. Поэтому при размораживании очень важно создать условия и режим для наиболее полного восстановления исходного распределения влаги между клетками и межклеточными пространствами. Нарушение его приводит к вытеканию сока из продукта, потере питательных и вкусовых свойств, изменению консистенции и цвета. Вытекание сока при размораживании может происходить в результате повреждения тканей, клеток и волокон кристаллами льда, вследствие чего их способность удерживать влагу резко снижается; частичной потери способности клеточных белков к набуханию; биохимических изменений в тканях, которые приводят к изменению реакции среды, структуры ткани, частичному распаду сложных веществ до более простых, имеющих меньшую способность к поглощению влаги. Эти изменения являются следствием специфических свойств самих продуктов и несовершенства способов замораживания и хранения, которые в конечном счете препятствуют полному восстановлению первоначальных свойств продуктов. Медленное замораживание при относительно высокой температуре (-6 -8 °С) и образование крупнокристаллической структуры льда, способной повредить ткань, могут явиться причиной потерь сока (до 11—12% к начальному весу продукта). Продолжительное хранение при неблагоприятных условиях приводит к потерям сока при размораживании до 15—16%.

В период размораживания биохимические реакции в животной и растительной тканях усиливаются в сторону гидролитических реакций, что также ухудшает гидрофильность ткани и способствует вытеканию сока.

Пищевые продукты можно размораживать двумя методами, принципиально отличающимися по способу подвода тепла:

- подвод тепла к поверхности продукта от более нагретой внешней среды;
- одновременное нагревание продукта по всему объему в электрическом поле высокой частоты.

Размораживание путем теплообмена с внешней средой может быть: - медленным — в воздухе при температуре 0—4° С; - быстрым (в воздухе при 15—20°С, в паровоздушной среде при 25—40°С) орошением водой при температуре 4—20°С; -погружением в воду при температуре 4—20°С; - в мелкодробленном льду при температуре 0—1°С; - на горячей металлической поверхности при температуре 180—200°С; - диэлектрическим (объемным) нагревом — в электрическом поле высокой частоты.

Размораживание в электрическом поле высокой частоты находится в стадии эксперимента. Одним из основных показателей при выборе способа размораживания является качество полученного продукта и влияние на него среды.

Воздушную среду целесообразно применять для размораживания измельченных продуктов; электрическое поле высокой частоты — для кулинарных изделий; горячую металлическую поверхность — для полуфабрикатов; воду — для размораживания рыбы, птицы, плодов; паровоздушную среду — для мяса.

На результат размораживания влияют многие факторы, и в первую очередь режим и продолжительность процесса. Например, если мясо или рыбу замораживать медленно, что вызывает значительное перемещение влаги, то обратное перемещение при размораживании будет протекать медленно, и процесс размораживания в этом случае не следует ускорять. Вместе с тем, медленное размораживание может быть опасно для развития нежелательных биохимических и микробиологических изменений [1].

При размораживании в воздухе продукты размещают в специальных помещениях, оборудованных кондиционерами или калориферами. Продукты развешивают на подвесных путях или размещают на стеллажах. Температуру и влажность циркулирующего воздуха постепенно увеличивают. Конечную температуру при размораживании обычно принимают равной 0° С.

При размораживании в паровоздушной среде помещение дополнительно оборудуют паропроводами. Размораживание продуктов орошением водой в зависимости от их вида можно производить в специальных помещениях или аппаратах, оборудованных душевым устройством.

Циркуляцию воды осуществляют насосом через фильтры, обезвреживающие устройства, охладители или нагреватели. Отработанную воду сменяют по мере ее загрязнения.

Для размораживания в воде погружным способом в помещении устанавливают резервуары, к которым подводят трубопроводы с охлаждаемой или подогреваемой водой. Продукты погружают в резервуар в сетчатых корзинах или при помощи конвейера.

В кулинарной практике размораживание производят одновременно с тепловой обработкой, например, варкой в воде или на пару, с жарением на сковороде, в кипящем масле для использования полностью подготовленных замороженных вторых блюд, мясных и рыбных полуфабрикатов, овощных смесей для супов и гарниров. Потери питательных веществ в данном случае исключаются, а продолжительность размораживания минимальная.

Продолжительность размораживания зависит от температуры внешней среды, теплоотдачи от источника тепла к продукту, размеров и форм продукта, его физических и тепловых характеристик. Методы расчета продолжительности размораживания строятся на эмпирическом материале или на значительных упрощениях представлений о протекании теплообмена при подводе тепла к замороженному продукту.

3.4 Холодильное хранение пищевых продуктов

Холодильное хранение позволяет обеспечить ритмичные поставки населению высококачественных продуктов питания с минимальными потерями в течение года.

Хранение охлажденных, подмороженных и замороженных продуктов проводится на базисных и распределительных холодильниках, в местах их производства и в торговле, а также в бытовой холодильной технике потребителя, причем в первых случаях речь может идти о долгосрочном хранении замороженных продуктов (исчисляемой месяцами и годами), в остальных – хранение, как правило, кратковременное.

Цель хранения - исключить изменения состояния хранимых продуктов. Однако такая цель недостижима. Поэтому реально достижимая цель холодильного хранения пищевых продуктов ограничивается замедлением этих изменений. Основное средство достижения такой цели - стабильная, достаточно низкая температура хранения, но, помимо низкой температуры, немаловажную роль играют и другие условия.

Все ранее рассмотренные методы холодильной обработки имеют целью подготовить продукт к последующему холодильному хранению. Если при холодильном хранении

пищевых продуктов основной задачей является торможение присущих им изменений, то именно с этой задачей с учетом свойств продукта связан выбор режима хранения независимо от того, хранится охлажденный или замороженный продукт.

Иногда при хранении ставится задача не просто торможения изменений, а направленного их регулирования, как это бывает, например, при созревании сыров, при дозревании хранимых плодов, при выдержке охлажденного мяса с целью улучшения его нежности, достигаемого соответствующим развитием посмертных изменений, и в других случаях. При такой постановке задачи выбирают режим хранения, наиболее благоприятный для развития нужных изменений продукта, а хранение, в сущности, становится производственным процессом. Это типично для хранения некоторых продуктов в охлажденном состоянии.

Разнообразие свойств продуктов приводит к значительным различиям рекомендуемых режимов их хранения в охлажденном состоянии. При хранении замороженных продуктов различия режимов невелики. Можно все же выделить некоторые общие принципы, регламентирующие основы выбора режимов хранения.

Температура хранения большинства охлажденных продуктов находится в пределах от 2 до минус 2 °С. При более высоких температурах хранят некоторые растительные продукты (помидоры, дыни, цитрусовые и др.), при более низких - переохлажденные куриные яйца, продукты, содержащие много жира, и подсолненные продукты. Температуры хранения охлажденных продуктов таковы, что они не прекращают развития микрофлоры и тем более ферментативных процессов. При таких температурах отчетливо ощущаются запахи продуктов и сами продукты адсорбируют посторонние запахи. Внутренние изменения в продуктах протекают с ощутимой быстротой, продолжая изменения, происходящие при охлаждении. Охлажденные продукты обычно не упакованы герметично, поэтому с их поверхности испаряется влага в воздух камеры.

Вследствие этих причин в представления о режиме хранения охлажденных продуктов, помимо поддержания заданной температуры, входят и другие условия.

Чрезмерно высокая влажность воздуха и его местные застои создали бы опасность недопустимого развития микрофлоры и затхлость. Чтобы избежать этого, применяют воздушные или смешанные системы охлаждения, а продукт размещают, обеспечивая возможность достаточного движения воздуха во всем объеме камеры. Скорость движения воздуха от 0,1 до 0,3 м/с около поверхности продукта или около штабеля обычно считают удовлетворительной.

Рекомендуется относительная влажность воздуха в пределах от 80 до 90 % (для различных продуктов), которую возможно регулировать. При такой относительной влажности воздуха и побудительном его движении усушка хранимых продуктов значительна, поскольку велик дефицит влажности воздуха, если его представить в единицах влагосодержания. Например, при температуре 0 °С и относительной влажности 90 % дефицит влагосодержания воздуха составляет 0,390 г/кг, а при минус 20 °С и той же относительной влажности - только 0,065 г/кг. Если скорость испарения при хранении считать приблизительно пропорциональной дефициту влагосодержания воздуха, то, следовательно, при одной и той же относительной влажности воздуха можно ожидать, что при 0 °С усушка может быть в 5,1 раза больше, чем при минус 20 °С.

Таким образом, тремя основными регулируемыми параметрами, значения которых должны быть благоприятны для хранения охлажденных продуктов и устойчиво постоянны, являются температура, относительная влажность и скорость движения воздуха.

При хранении замороженных продуктов температура достаточно низка, чтобы жизнедеятельность микрофлоры прекратилась, а ферментативные процессы затормозились гораздо сильнее, чем в охлажденных продуктах. Поэтому индивидуальные особенности замороженных продуктов проявляются слабее, чем охлажденных, а режимы хранения замороженных продуктов более единообразны. Поэтому основным регулируемым

параметром остается температура хранения, а значение других условий хранения несколько снижается, поскольку их влияние на успех существенно зависит от температуры.

Неизбежные при хранении замороженных продуктов колебания температуры приводят к увеличению кристаллов льда (рекристаллизации). Рост размеров кристаллов льда способствует повреждению замороженной ткани и затрудняет восстановление натурального распределения влаги в продуктах при их размораживании. Значительная рекристаллизация имеет место при повышенной температуре в случае ее колебаний. Негативные последствия рекристаллизации могут быть уменьшены при низких и стабильных температурных режимах хранения.

Считают, что понижение температуры хранения способствует длительной сохранности продукта, и потому в зависимости от предполагаемого срока хранения можно выбрать тот или иной температурный режим. Все же в рекомендациях Международного института холода в качестве допустимой для хранения мороженых продуктов названа температура минус 12 °С, а в качестве рекомендуемых указаны температуры минус 18 °С и ниже. Особенно важно понижение температуры хранения для продуктов, содержащих глицериды непредельных жирных кислот, существенно подверженных окислению и гидролизу. В первую очередь это относится к жирной рыбе, которую хранят при наиболее низких температурах (до -45 °С).

При герметичной упаковке продукта побудительное движение воздуха позволяет применять интенсивные охлаждающие приборы сравнительно малой металлоемкости, допускающие автоматизацию регулирования работы и обеспечивающие равномерность температурного поля в камерах. Если продукт не упакован герметично, то побудительное движение воздуха увеличивает усушку. Сочетание достаточно низкой температуры воздуха камер с его побудительным движением может даже сократить усушку продукта, но не все специалисты считают этот путь технически и экономически целесообразным.

Так называемое тихое охлаждение камер хранения мороженых продуктов без побудительного движения воздуха пока еще широко применяют как систему, способствующую сокращению усушки, хотя у этой системы есть серьезные технические недостатки

Относительная влажность в камерах хранения мороженых продуктов не регулируется искусственно, а устанавливается самопроизвольно в зависимости от условий, создаваемых в камере, особенностей продуктов, действия охлаждающих приборов и наличия теплопритоков. В инструкциях и рекомендациях обычно указывают, что в камерах хранения мороженых продуктов желательна максимальная относительная влажность воздуха, но она не должна быть ниже 92 или 95 %.

Таким образом, определяются общие требования, учитываемые при выборе режимов хранения охлажденных и замороженных продуктов, и соответствующие им требования к холодильным сооружениям и системам охлаждения камер хранения.

Первым общим требованием, одинаковым для хранения охлажденных и замороженных продуктов, следует считать устойчивое, возможно более строгое постоянство и равномерность поля режимных параметров в камерах хранения. Если меняются какие-либо внешние условия, воздействующие на режимные параметры в камере, то они должны быть компенсированы таким образом, чтобы режим в камере не нарушался. Так как полностью этого достигнуть не удастся, то ограничиваются стремлением к минимальным отклонениям от заданного режима по величине параметров и времени. Наиболее полно это осуществляется при совершенной теплоизоляции камер, правильном выборе и размещении охлаждающих устройств с автоматическим регулированием их работы.

Когда камера используется для хранения продуктов при различных режимах в разное время, то применяемая система охлаждения должна быть достаточно гибкой, чтобы обеспечить нужные режимы.

Такая универсализация систем охлаждения делает их более сложными, но нередко она все же необходима.

Другое общее требование к условиям холодильного хранения пищевых продуктов - сокращение внешних и внутренних теплопритоков, которые не только нарушают температурный режим, но и отражаются на влажности воздуха и вызывают его нерегулируемое свободное конвективное движение, создавая неравномерность поля режимных параметров в камерах хранения.

Возможная продолжительность холодильного хранения пищевых продуктов. Возможная продолжительность холодильного хранения пищевых продуктов определяется исходными свойствами продукта, способом его холодильной обработки и условиями хранения.

Допустимые сроки хранения обычно связывают с видом продукта и условиями хранения, выделяя при этом температуру хранения как наиболее важный фактор. Остальные обстоятельства, влияющие на допустимые сроки хранения продуктов, обычно не учитывают, так как они труднее поддаются обобщению.

Не всегда можно твердо признать преимущество одного из условий хранения по сравнению с другим. Например, герметичная упаковка продуктов исключает необходимость регулирования влажности воздуха в камерах, сокращает возможность окисления и предотвращает обсеменение продуктов микроорганизмами из воздуха, т.е. герметичная упаковка может в некоторой мере компенсировать понижение температуры хранения на несколько градусов. То же можно сказать об использовании других дополнительных средств увеличения стойкости продуктов при хранении, сочетание которых с поддержанием теплофизических режимных параметров хранения требует индивидуального подхода, когда оценивается применимость рассматриваемых средств. Установление связи между температурой и допустимыми сроками хранения продуктов позволяет создать обобщенные представления о влиянии внешних условий на изменения, происходящие в продуктах, несмотря на то, что установленные связи не раскрывают детально содержание этих изменений. Чтобы судить о допустимых сроках хранения, следует из происходящих в продукте изменений, которые могут вызвать ощутимое ухудшение качества, выделить изменение, опережающее все остальные.

В качестве такого изменения можно назвать одну из реакций, затрагивающих какой-либо важный компонент пищевых продуктов. Так, при хранении охлажденных растительных продуктов определенную роль играет выделение углекислого газа, образуемого при дыхании, хотя общая картина химических реакций может быть очень сложной. При хранении жиросодержащих продуктов о происходящих превращениях судят по изменению перекисных чисел, накоплению кетонов и других продуктов распада. В типичных продуктах животного происхождения денатурация и распад белков вплоть до нарастания количества свободных аминокислот являются обычными признаками, по которым судят об изменениях белка.

3.5 Испарение влаги при холодильном хранении пищевых продуктов (усушка)

При хранении охлажденных и замороженных продуктов в результате испарения влаги с их поверхности уменьшается масса, изменяется внешний вид. Это простое, на первый взгляд, явление оказывается практически важным и сложным, поскольку вызывает усушку хранимого продукта, зависящую от свойств продукта и от условий хранения. Поэтому, когда хотят учесть все существенно важные факты, влияющие на усушку хранимых продуктов, задача оказывается далеко не простой. Первые ее решения, созданные путем рассмотрения взаимодействия

поверхности продукта с омывающим ее воздухом, оказались недостаточными. Далее было признано необходимым учитывать приток и поглощение теплоты и влаги в камере, отводя воздуху лишь роль переносчика теплоты, которую он выполняет в действительности. Причиной же переносов, взаимно сочетающихся, являются источники теплоты и влаги, с одной стороны, и их поглотители - с другой. Температура продуктов $t_{п}$, хранящихся в камере, несколько ниже температуры воздуха $t_{в}$ из-за испарения воды с поверхности продукта (усушки). Таким образом, в камере хранения поддерживается температура $t_{в} > t_{п} > t_{б}$, где $t_{б}$ - температура охлаждающих приборов. Условием переноса влаги будет $(t_{в} - t_{п}) < (t_{в} - t_{б})$. Количество теплоты, отбираемое от воздуха и расходуемое на испарение влаги в единицу времени, составляет (формула 3.8):

$$Q = \alpha F (t_{б} - t_{п}) \quad (3.8)$$

где α - коэффициент теплоотдачи между продуктом и воздухом, Вт/(м²·К);
 F - площадь поверхности продуктов, м².
 $t_{б}$ - температура охлаждающих приборов
 $t_{п}$ - температура продуктов.

Учитывая теплоту, подводимую к продукту конвекцией и излучением от более теплой стенки камеры, теплоту, отводимую от продукта излучением к поверхности приборов охлаждения, и теплоту сублимации влаги, а также внутренние тепловые потоки, величину усушки определяют из уравнения (формула 3.9):

$$\Delta G = \frac{d_n - d_e}{c_{б}} \frac{F_{б}}{\frac{1}{\alpha_{б}} + \frac{1}{\alpha_n}} \quad (3.9)$$

где d_n, d_e - влагосодержание насыщенного воздуха соответственно при температуре продукта и воздуха камеры, кг/кг;

$c_{б}$ - удельная теплоемкость влажного воздуха при температуре поверхности приборов охлаждения, кДж/(кг·К);

$F_{б}$ - площадь поверхности охлаждающих приборов, м²;

$\alpha_{б}$ - конвективный коэффициент теплоотдачи от воздуха к приборам охлаждения, Вт/(м²·К);

α_n - конвективный коэффициент теплоотдачи от поверхности продукта, Вт/(м²·К).

Главным фактором, влияющим на усушку, является температура воздуха камеры хранения. Усушка уменьшается с понижением $t_{в}$, причем на каждые 10 °С приблизительно в два с половиной раза. Не случайно в настоящее время рациональной температурой хранения замороженных продуктов считается температура минус 25 ... 30 °С, при этом не только уменьшается усушка, но и увеличивается срок хранения продукта. Однако в некоторых холодильниках используется температура минус 12 °С, хотя общепринятая температура равна минус 18...минус 20 °С. Относительная влажность воздуха почти не влияет на усушку при низких температурах хранения. При одной и той же величине относительной влажности воздуха усушка может возрастать, когда растет разность температур Δt между воздухом камеры и поверхностью приборов охлаждения, и убывать, когда Δt уменьшается. Увеличение Δt приводит к возрастанию интенсивности конденсации влаги из воздуха и увеличению усушки. Скорость движения воздуха в камерах хранения должна быть

минимальной, обеспечивающей ликвидацию застойных зон. Абсолютная усушка практически не зависит от количества продукта в камере хранения, однако относительная усушка резко возрастает, когда камера недогружена. Самый лучший способ сократить усушку - упаковка продукта и понижение температуры, причем потери массы зависят от паропроницаемости упаковочных материалов. Для защиты продукта от усушки и окисления при хранении применяют глазирование - нанесение тонкого слоя льда на поверхность продукта [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Теплофизические процессы в холодильной технологии : учебное пособие / Н.Н. Воробьёва; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово: 2007. - 150 с.
2. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы). 2-е издание, перераб и доп. / Рогов И.А., Куцакова В.Е., Филиппов В.И., Фролов С.В. - М.: Колос, 2009. - 176 с.
3. Чижов Г.Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов. - М.: Пищевая промышленность, 2009. - 271 с.
4. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов / Под ред. Э.И. Каухчешвили. - М.: Агропромиздат, 2005. - 255 с.
5. Фролов С.В., Куцакова В.Е., Кипнис В.Я. Тепло- и массообмен в расчетах процессов холодильной технологии пищевых продуктов. - М.: Колос-Пресс, 2001. - 144 с.
6. Спасский А.А., Ширяев Д.М. Теория и практика применения холода в птицеперерабатывающих предприятиях // Птица и ее переработка, №2, 2001. - С. 40-43.
7. Стрингер М., Деннис К. Охлажденные и замороженные продукты. - СПб.: Профессия, 2004. - 496 с.
8. Постольски Я, Груда З. Замораживание пищевых продуктов. - М.: Пищевая промышленность, 2008. - 607 с.

