

В настоящей дипломной работе исследованы процессы быстрого замораживания овощных полуфабрикатов, подобраны методы и температурные режимы.

Проведен обзор литературы по теме исследования: рассмотрены свойства плодов и овощей, теплофизические характеристики, способы замораживания, процессы, происходящие во время хранения, отепления и размораживания плодоовощных полуфабрикатов.

Разработан и изготовлен лабораторный стенд. Подобрана и описана методика экспериментальных исследований.

Построены графики изменения температуры в процессе замораживания для разных способов и режимов. Проведен анализ результатов экспериментов, сделаны соответствующие выводы.

Рассчитана продолжительность замораживания, изменение теплофизических свойств смеси в процессе замораживания. Построены графики изменения теплофизических свойств для плодоовощной смеси и для каждого ее компонента.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	6
1.1 Свойства и теплофизические характеристики.....	6
1.2 Способы замораживания овощных полуфабрикатов.....	12
1.3 Хранение, отепление и размораживание овощных полуфабрикатов.....	26
2 РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.....	32
3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	42
3.1 Объекты исследования и режимы замораживания.....	42
3.2 Подготовка приборов и средств измерения к работе.....	43
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКПЕРИМЕНТОВ И ИХ АНАЛИЗ.....	54
5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ.....	59
Заключение.....	67
Список литературы.....	68
Приложения.....	70

					<i>АКЗ. 00.00.000. ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Исследование процессов быстрого замораживания фасованных овощных полуфабрикатов</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Голяков А.В.</i>						
<i>Провер.</i>		<i>Короткий И.А.</i>					3	76
<i>Консульт.</i>		<i>Короткий И.А.</i>				<i>КемТИПП гр.ХМз01</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Иваненко О.В.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Усов А.В.</i>						

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время необходимым является создание продуманной и научно обоснованной концепции развития холодильной отрасли в нашей стране. Для этого требуется разработка долгосрочной научно-технической программы развития холодильной промышленности, объединение усилий ученых, производителей и потребителей холода, представителей власти. Для создания концепции развития необходимо решить вопросы, связанные с внедрением новейших технологий холодильной обработки и хранения пищевой продукции, разработка этого оборудования и его рациональной эксплуатацией, применением холода на пищевых предприятиях и перерабатывающей промышленности, в различных видах транспорта, в сельском хозяйстве, в сфере торговли и в быту.

Природные и географические особенности Российской Федерации предполагают развитие всех отраслей пищевой промышленности. Сезонность производства продукции можно скомпенсировать, сохранив ее пищевую и биологическую ценность в течение длительного времени это возможно с помощью консервирования. Наиболее эффективным при обработке и хранении продуктов питания является холодильное консервирование. Охлаждение является распространенным и экономичным способом, который предотвращает порчу и сокращает потери, вызывая минимальные изменения первоначальных свойств продукции при сохранении ее пищевой ценности и потребительских свойств. Холодильная технология представляет собой отрасль науки, которая изучает рациональные и научно обоснованные способы использования холода в пищевой промышленности, решает задачи сохранения продуктов питания.

Технологические составляющие холодильного консервирования требуют знания научно обоснованных методов проведения процессов охлаждения, замораживания, размораживания, продолжительности обработки, температурно-влажностных режимов при транспортировке и хранения пищевых продуктов. Необходимы знания о применении дополнительных к холоду средств. Это использование регулируемых и модифицированных газовых сред, экологически безопасных и синтетических препаратов, влияющих на физиологические и технологические свойства пищевых продуктов, упаковочных материалов. Создание и совершенствование новых технологий холодильной обработки и хранения совместно с другими методами консервирования позволяет решить задачу сохранения качества пищевых продуктов.

Научно-технические разработки в области холодильной технологии должны учитывать структуру холодильного хозяйства нашей страны. Холодильное хозяйство включает в себя холодильники агропромышленного комплекса, рыбного хозяйства, государственного резерва, холодильный транспорт, а также холодильники торговых сетей и бытовые холодильники.

Совершенствование холодильной технологии консервирования возможно техническим перевооружением холодильных предприятий за счет применения современных высокоэффективных машин, аппаратов, приборов и сооружений [2].

					<i>АКЗ. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		4

В данной работе рассматриваются способы охлаждения, замораживания и хранения упакованной плодоовощной продукции. Рассматриваются теплофизические процессы происходящие в продукте при замораживании.

Быстрозамороженные плодоовощные продукты – это продукты, которые приготовлены из целых, нарезанных плодов и овощей с добавлением натуральных пищевых компонентов или без них, упакованные и замороженные ускоренным способом до достижения внутри продукта температуры – 18 °С и предназначенные для хранения и реализации при этой температуре [12].

Подвергая продукт замораживанию, стремятся, прежде всего, сохранить его питательные и вкусовые свойства, для этого необходимо достичь максимальной обратимости изменений, которые происходят под влиянием отрицательных температур. Решение этой задачи, является одной из важнейших в холодильной технологии и требует знаний тех процессов, которые происходят в продукте. Необходимо регулировать ход этих процессов в необходимом направлении и создавать такие условия протекания процесса замораживания и хранения, которые позволяют сделать действие отрицательных температур наиболее обратимым[2].

Целью выпускной квалификационной работы является подбор и исследование методов замораживания плодоовощной смеси, определение теплофизических характеристик в свежем и замороженном состоянии.

Поставлены следующие задачи: разработать и изготовить лабораторный стенд для проведения экспериментальных исследований процесса замораживания смеси, выбрать методику расчета теплофизических свойств, рассчитать продолжительность замораживания плодоовощной смеси.

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Свойства и теплофизические характеристики овощей

Главной особенностью овощей является высокое содержание воды в их составе, от 80 – 90 %, а в некоторых видах овощей 93 – 97 %. Насыщенность тканей и клеток овощей водой влияет на интенсивность ферментных реакций и обмена веществ, приводящую к высокому расходу пластического материала на дыхание, росту потерь воды за счет испарения, из-за чего сокращается масса продукта и ухудшается его качество, увеличивается вероятность механического повреждения и создается среда для развития микроорганизмов. Когда наружный покров овощей имеет механические повреждения, микроорганизмы легко проникают внутрь. Перечисленные особенности влияют на технологию хранения и консервирования овощей [1].

Вода является основным компонентом состава овощей, она определяет интенсивность биохимических процессов и качество продукта. Качество продуктов непосредственно связано с тургорным состоянием овощей – высокое содержание воды в клетках. Снижение тургора на 5 – 7 % ведет к потере одного из важнейших товарных качеств продукции – сочность.

Интенсивность процессов жизнедеятельности зависит от количества воды в тканях продукта. В молодых организмах воды больше чем в старых. Благодаря воде облегчается взаимодействие веществ. Вода также является участником биохимических реакций в клетках, например гидратации и дегидратации, окисления, гидролиза, биосинтетических реакций. Вода обладает высокой подвижностью и низкой вязкостью, благодаря чему хорошо растворяет многие органические вещества и неорганические соли, также вода осуществляет перемещение веществ в межклеточном и межтканевом пространстве [6].

При охлаждении и при хранении овощей вода является стабилизатором физических параметров. Это связано тем, что при замораживании теплофизические характеристики воды очень высоки и обеспечивают устойчивость плодово-овощной продукции к переохлаждениям. Овощи имеют свойство – часть энергии дыхания использовать на поддержку необходимой температуры.

В состав овощей кроме воды входит клеточный сок. Он состоит из воды и растворенных в ней питательных активных веществ, которые играют большую роль в питании человека. Это витамины, углеводы, минеральные соли, азотистые вещества и т. д. Многие виды овощей применяют в качестве диетических продуктов, благодаря высокой усвояемости организмом.

Большую часть воды в овощах составляет вода клеточного сока, которая имеет непрочную связь с тканями овощей и испаряется при сушке продукта. Меньшая часть воды называется «связанной» удаляется труднее т. к. удерживается более прочно растительными коллоидами. Также в химический состав овощей входят сухие вещества их содержание 10 – 20 %. Сухие вещества бывают растворимые и нерастворимые [4].

					AK3. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Нерастворимые сухие вещества – протопектин, клетчатка, крахмал, азотистые и минеральные вещества, полуклетчатка, жирорастворимые пигменты и др. т. е. вещества которые составляют механические элементы тканей и клеточные стенки. Их содержание в овощах примерно 2 – 5 % , они влияют на механическую прочность продукта, а иногда и на цвет.

Содержание растворимых сухих веществ составляет от 5 до 18 %, находятся они в клеточном соке. Сюда входят кислоты, углеводы, азотистые вещества, дубильные и другие фенольные вещества, ферменты, растворимые пектины и витамины и др.

Доля остальных веществ в клеточном соке невелика, но значение многих из них как в технологическом, так и в пищевом отношении очень важна. Дубильные вещества придают продукту особый привкус, при их окислении образуются темноокрашенные вещества, которые придают овощам нежелательный цвет, также они придают устойчивость к фитопатогенным микроорганизмам. Пектиновые вещества воздействуют на желирующие свойства овощей, от них зависит консистенция.

Вещества, входящие в состав овощей имеют и лекарственное действие. Например, капуста способствует лечению язвенных болезней, пектиновые вещества помогают при кишечных заболеваниях, некоторые продукты полезны при простудных заболеваниях [28].

Ведущее место в холодильной технологии занимают теплофизические процессы, т. к. основой холодильной технологии является регулирование изменения свойства продуктов, зависящие от скорости обдува продукта, температуры, влажности воздуха и другие параметры. Управление этими средствами воздействия является теплофизической задачей.

Для установления рациональных условий в камерах хранения, которые обеспечивают минимальные естественные потери (усушка) и сохранение качества выбирают технические средства, необходимые для поддержания в камерах хранения технологических параметров. В самих продуктах при холодильном консервировании также происходят теплофизические процессы [20].

Основными теплофизическими характеристиками продуктов являются коэффициент температуропроводности α , удельная энтальпия I , коэффициент теплопроводности λ , удельная теплоемкость. Также к теплофизическим свойствам относится температура начала замерзания пищевого продукта и теплота дыхания продуктов растительного происхождения.

Теплофизические характеристики определяются природными свойствами продукта (состав, строение) и состояния, зависящего от температуры. Продукты различаются химической и физической неоднородностью. Химическая неоднородность зависит от состава продуктов, физическая – от стереометрического распределения отдельных частей в продукте и от структуры. Под структурой подразумевается размер клеток и распределение газовых включений. Продукты одного товарного наименования могут иметь различные теплофизические характеристики, это зависит от их химического состава (содержания жира, влаги, сухих веществ, белка) [15].

					АКЗ. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Теплопроводность пищевых продуктов λ имеет различия связанные с их физической неоднородностью. Теплопроводность увеличивается от более компактного расположения структурных элементов. Теплопроводность воздуха в 23 раза меньше теплопроводности воды, поэтому различные включения, воздушные образования и прослойки снижают теплопроводность продукта.

При производстве стандартной продукции теплофизические характеристики продуктов не будут одинаковыми из-за различных свойств исходных компонентов. На теплопроводность влияет и льдообразование при замораживании, которое приводит к сильным структурным изменениям в продукте. Льдообразование приводит к механическим повреждениям клеток в продукте [16].

При замораживании продуктов меняется структура, которая зависит от условий проведения процесса. Происходит разрыв и сдавливание клеток, изменяется плотность элементов, денатурация белка, прокалывание кристаллами льда. Структура сформировавшихся кристаллов льда и количество воздушных прослоек влияют на теплопроводность продукта. Кристаллы льда при образовании захватывают воздух, таким образом, образуя новые воздушные прослойки [5].

В камеры холодильной обработки поступают пищевые продукты теплофизические характеристики, которых различны, поэтому при выполнении тепловых расчетов используют средние значения теплофизических характеристик для различных видов продуктов. При положительных температурах теплофизические характеристики изменяются не сильно, поэтому их принимают постоянными. Когда температура продукта понижается ниже $t_{кр}$ зависимость теплофизических характеристик от температуры меняется. Большие их изменения происходят при льдообразовании, это связано с различием свойств льда и воды и тепловыми эффектами, которые происходят во время этого процесса [8].

Плотность характеризуется как отношение массы продукта к его объему. Плотность продуктов при замораживании уменьшается на 5 – 8 %, т. к. вода в продукте при превращении в лед, увеличивается в объеме, масса при этом не изменяется. Масса продукта уменьшается при испарении влаги (усушке), немного уменьшается и плотность. В холодильной технологии изменение плотности при льдообразовании не учитывают. В штабеле груза есть свободное пространство, заполненное воздухом, которое необходимо при хранении овощей, для того, чтобы поддерживать необходимые технологические параметры в самой насыпи [17].

Удельной теплоемкостью называется величина равная количеству теплоты, которое необходимо отвести (подвести) для охлаждения (нагрева) одного кг продукта на $1^{\circ}C$. Удельная теплоемкость воды в сравнении с другими веществами довольно высока. Так как большинство продуктов состоит из воды, размораживание и замораживание пищевых продуктов вследствие высоких значений теплоемкости, требуют значительных энергетических затрат. При замораживании продуктов, причиной изменения теплоемкости, является различия теплоемкости воды и льда [15].

Теплопроводность – это вид передачи тепла, имеющий атомно-молекулярный характер. Этот процесс характеризуется возникновением разности температур между различными участками продукта. Перенос теплоты происходит

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	Лист
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

без макроскопических движений в продукте. Теплопроводность характеризуется коэффициентом теплопроводности λ и измеряется Вт / м·К [7].

Коэффициент теплопроводности – это количество теплоты q , переносимое через единицу площади поверхности продукта в единицу времени T при градиенте температуры равном единице:

$$\lambda = q / |\text{grad}T| \quad (1.1)$$

С понижением температуры теплопроводность продуктов практически не изменяется до начала процесса замерзания, т. к. теплопроводность льда выше в 4 раза теплопроводности воды, то при замерзании продукта теплопроводность увеличивается [2].

Коэффициент температуропроводности a ($\text{м}^2 / \text{с}$) это свойство продуктов охлаждаться или нагреваться, при этом действуют механизмы накопления и переноса тепла. Температурный фронт в продукте перемещается, скорость перемещения характеризуется коэффициентом температуропроводности. Коэффициент температуропроводности продуктов при положительных температурах практически неизменен, но с началом льдообразования температуропроводность резко уменьшается. Это связано с выделением теплоты кристаллизации, уменьшается теплоемкость и возрастает теплопроводность. Постоянного значения температуропроводность достигает, когда вода полностью превращается в лед. Коэффициент температуропроводности определяется по формуле:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (1.2)$$

где c — удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К);
 ρ — плотность материала, кг/м³ [7].

Энтальпия – теплосодержание или тепловая функция, однозначная функция состояния термодинамической системы. Изменение энтальпии продуктов в холодильной технологии используется для определения отведенной (или подведенной) теплоты во время холодильной обработки [15].

Рассмотрим электрические свойства пищевых продуктов. Влага в пищевых продуктах содержит большое количество ионов, т. е. является проводником II рода. Если существует внешнее электрическое поле напряженностью E , положительные заряды двигаются в сторону напряженности поля, а отрицательные в противоположную сторону. По закону Ома электрическое сопротивление определяется как отношение напряжения к силе тока, т. е. зависит от температуры и влагосодержания.

Лед является изолятором, поэтому движение зарядов в нем практически отсутствует. Сопротивление материала имеет большие значения, если вода полностью превратилась в лед.

					AK3. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

У свежих плодов и овощей имеется электрическое сопротивление. Во время хранения проницаемость клеток увеличивается, влага проникает в межклеточное пространство, сопротивление резко падает, из-за значительного увеличения свободных носителей тока. Плоды и овощи еще пригодны для употребления, но дальнейшее их хранение приводит к порче [19].

Рассмотрим процесс замораживания пищевых продуктов.

Замораживание продукта начинается с контакта с хладоносителем, который бывает твердым (пластина теплообменника с температурой от -30 до -40 °C), жидким, погружением продукта в криогенную жидкость или в охлаждающую смесь (жидкий азот), газообразным (струя воздуха, газообразный азот). Поверхность продукта охлаждается быстрее, чем его центр, так как теплоперенос из внутренней части продукта к его поверхности зависит от теплопроводности продукта [8].

Типичный график изменения температуры продукта в ходе замораживания показан на рисунке 1.1.

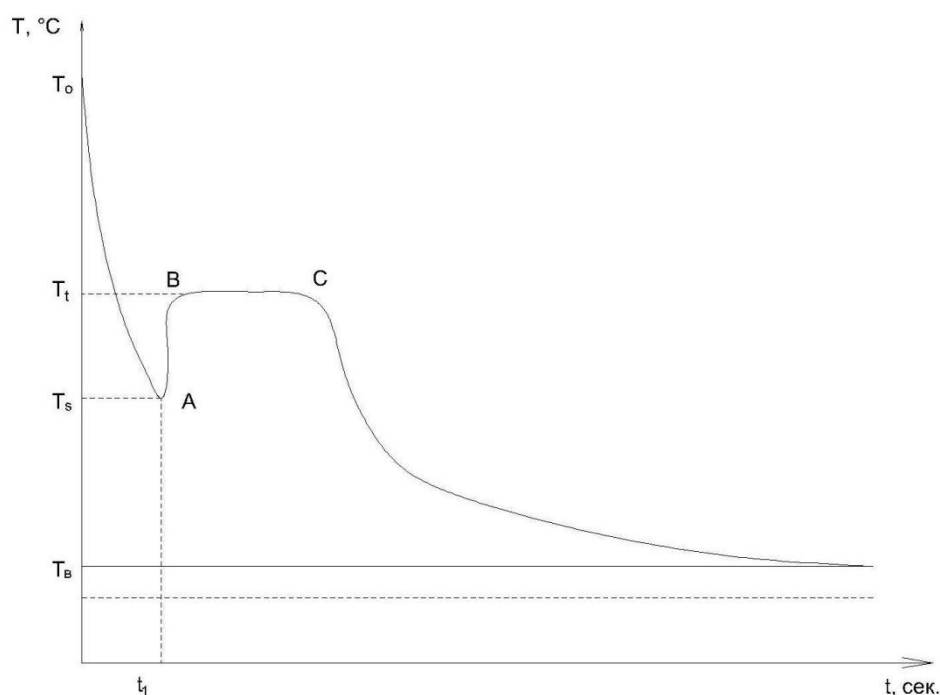


Рисунок 1.1 – График изменения температуры в пищевом продукте в ходе замораживания: T_0 – начальная температура замораживания; T_f – температура, до которой продукт подвергается переохладению; T_s – температура замораживания; $T_с$ – равновесная температура

Температура на поверхности пищевого продукта перед резким скачком почти до начальной температур замораживания T_f может свидетельствовать о переохладении (точка $A (t_1, T_s)$), после чего достигается температурное плато (плоский участок кривой между точками B и C), так как из пищевого продукта начинается переносом скрытой теплоты замерзания воды. Первые кристаллы образу-

ются между точками A и B , а затем они формируются все время до достижения конечной температуры T_e , когда температура продукта выравнивается с температурой хладагента. После этого увеличение количества льда не происходит, за исключением медленного их роста [3].

Жидкость называется переохлажденной, когда ее температура ниже начальной точки замерзания. Такое состояние жидкости называется метастабильным и может находиться в таком состоянии долгое время до начала нуклеации (зарождения) первого кристалла льда. После чего кристаллы льда начинают быстро расти и распространяться по всему объему жидкости. Чистая вода без примесей и частичек пыли может оставаться переохлажденной до температуры $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, потому что примеси действуют как центры нуклеации. При более низких температурах вода замерзает вследствие гомогенного образования и роста льда. В пищевых продуктах степень переохлаждения меньше в результате гетерогенного льдообразования. В природе переохлаждение является одним из важных механизмов, благодаря чему животные и растения переносят отрицательные температуры с минимальным повреждением тканей из-за образования кристаллов льда [25].

Кристаллы льда образуются в виде ядер (зародышей) критического размера, затем они увеличиваются (растут). Критический размер – это размер при котором ядра в результате увеличения объема приводит к уменьшению поверхностной энергии σ и увеличению свободной энергии Гиббса γ [7].

Нуклеация может быть гетерогенной и гомогенной. Гомогенная нуклеация происходит только в свободных от взвешенных частиц жидкостях в результате случайных колебаний молекул (случайные кластеры молекул мгновенно принимают конфигурацию льда и выполняют функцию зародышей). В твердых пищевых продуктах центром зародышеобразования служит поверхность клеток, здесь нуклеация имеет гетерогенный характер. Вероятность нуклеации возрастает, если молекулярная структура поверхности имеет сходство со структурой льда, т. е. имеет размер кристаллической решетки льда и действует как шаблон [25].

Чистая вода замерзает при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, водные растворы (в пищевых продуктах – растворы соли) имеют более низкую точку замерзания. Лед сначала образуется во внеклеточной области при понижении температуры ниже T_f , затем изменяется фазовое состояние внутриклеточного пространства. Объясняется это тем, что клеточная мембрана препятствует проникновению льда из межклеточного пространства внутрь клетки, что способствует переохлаждению внутриклеточной области до температуры $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2].

От скорости замораживания зависит тип, размер и распределение образовавшегося льда, который может быть вне- и внутриклеточным, древовидным и сфералитовым льдом. При медленном замораживании образуются крупные кристаллы льда, а при быстром мелкие кристаллы льда [3].

При медленном замораживании на поверхности замораживаемого продукта может происходить подсушивание, приводящее к коагуляции белков и потере ими способности адсорбировать воду при размораживании. Кроме того, крупные кристаллы льда, образовавшиеся при медленном замораживании, механически

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

нарушают ткани и клетки продукта. Размер кристаллов увеличивается в направлении к центру продукта [1].

В быстро замороженных продуктах образуются мелкие кристаллы льда, но со временем они становятся крупнее в результате рекристаллизации или созревани-ем Оствальда. Рекристаллизация усиливается во время замораживания или размораживания продуктов, температурные колебания в течении продолжительного хранения, при транспортировке и хранении в бытовых холодильниках. Рекристаллизация происходит вследствие того что более крупные кристаллы термодинами-чески более стабильны благодаря относительной небольшой поверхностной энергии [3].

Процесс замораживания разделяется на три этапа: на первом этапе проис-ходит охлаждение продукта до точки замерзания, на втором этапе вода превраща-ется в лед, на третьем этапе, после превращения большей части воды в лед, про-исходит понижение температуры замораживаемого продукта.

Если снижение температуры до точки замерзания происходит быстро, то в фазе кристаллизации при такой же скорости отвода теплоты снижение температу-ры оказывается небольшим – приходится отводить большее количество теплоты, т. к. теплота фазового превращения больше величины удельной теплоемкости. После завершения фазового превращения скорость снижения температуры снова возрастает. Продолжительность цикла зависит от способов замораживания. Тем-пературный интервал, при котором большая часть воды превращается в лед, на-зывается зоной максимального образования кристаллов. Для многих пищевых продуктов она лежит в области от $-0,5$ до -6 °С.

В процессе кристаллизации воды, понижается точка замерзания, и ско-рость замораживания снижается. Время прохождения зоны максимальной кри-сталлизации должно быть минимальным. Поэтому необходим быстрый отвод те-плоты, выделяющейся при фазовом переходе [1].

1.2 Способы замораживания овощных полуфабрикатов

Овощи – это продукты, которые имеют очень низкую устойчивость к хра-нению. Замораживание отличается от охлаждения и подмораживания тем, что обеспечивается большая стойкость при хранении продукта в холодильной камере. Замороженные продукты могут храниться от нескольких месяцев до года [18].

При замораживании вода в овощах превращается в лед, следовательно, снижается скорость биохимических реакций, также более низкие температуры создают неблагоприятные условия для развития микроорганизмов. Плоды и ово-щи считаются замороженными, если не менее 85 % влаги превратилось в лед [21].

Замороженные овощи обладают внешними признаками и такими физиче-скими свойствами, как твердость (результат превращения воды в лед), цвет ово-щей (вызвано оптическими эффектами кристаллов льда), понижение плотности (из-за расширения воды). При замораживании наблюдается перемещение влаги по

					AK3. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

всему объему продукта, нарушается гистологическая структура и воздействие ферментативных систем, а также другие процессы, которые не наблюдаются при других формах хранения продукта [33].

Качество, время замораживания и хранение замороженного продукта зависит от состава, формы, размера, состояния продукта перед замораживанием, технологические режимы замораживания, которые определяют характер кристаллообразования в овощах. Кристаллообразование зависит от состояния клеточных оболочек тканей, степени гидратации белков, концентрации веществ в клетке, от скорости замораживания продукта. Скорость замораживания влияет на размеры и распределение кристаллов льда в продукте. Размер кристаллов влияет на целостность структуры ткани.

На качество продукта влияет не только процесс замораживания, но и другие факторы: тип продукта, вид растения, спелость продукта, качество исходного сырья и методами сборки урожая, также время между сбором урожая и переработкой перед замораживанием [25].

Рассмотрим роль предварительной подготовки овощей перед замораживанием. Важнейшими технологическими операциями при переработке овощной продукции считаются, сортировка, удаление дефектного сырья, классификация по сортности, чистка, инспектирование, а иногда удаляют шелуху, обрезают, рубят, нарезают. Благодаря этим операциям снижается обсемененность овощей микроорганизмами, удаляются примеси. В тоже время нарушаются защитные механизмы, и облегчается доступ кислорода. В результате выщелачиваются питательные вещества, происходит потемнение, повышается активность ферментов, обезвоживание, что приводит к изменению цвета и текстуры и потери питательных веществ [24].

Вода, используемая при мойке продуктов в консервном производстве должна отвечать требованиям стандарта питьевой воды. Во время мойки с сырья удаляются механические примеси, что снижает обсемененность овощей микроорганизмами. Если сырье очень грязное и нет возможности определить дефекты продукции, перед мойкой производятся инспекция и сортировка. Очень грязные овощи моют в кулачковых и барабанных моечных машинах, недостатком этих машин является механическое повреждение овощей. Для нежной продукции применяют элеваторные, душевые устройства, вентиляторные и встряхивающие моечные механизмы [32].

Очистка сырья считается самой трудоемкой операцией при переработке овощей. В процессе очистки удаляются несъедобные части продуктов и легкие примеси, которые остались после мойки. Плодоножки овощей удаляются с помощью воздушной флотации, когда продукт направляется в поток воздуха продуваемый вверх. Плодоножки при механической очистке можно отделить от продукта на вращающихся навстречу друг другу обрезиненных валках, зазор и диаметр между которыми подбирается так, чтобы осуществлялся захват и отрыв плодоножки, не повреждая продукт. Корнеплоды очищают, применяя разнообразные очистительные машины, в которых корнеплоды трутся друг о друга и о терочные (абразивные) стенки аппаратов. Отходы при таком способе очистки составляют от

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

35 до 50%, поверхностный слой продукта сильно повреждается и требуется доочистка сырья вручную.

При термической очистке растительной продукции, продукт обрабатывается паром давлением 10 Мпа в течение 10 – 30 сек. При завершении подачи пара, давление в паровом котле резко уменьшается, из-за разности давлений в подкожном слое продукта происходит интенсивное испарение влаги, в результате кожура разрывается и смывается потоком воды в очистительной машине. При этом способе очистки потери составляют от 15 до 20%. Термический способ очистки можно заменить химическим (щелочным) Отделение кожицы происходит в растворе каустической соли, концентрацией 2,5 – 10% при температуре от 80 до 100 °С. Этот способ является менее экономичным, т. к. остается много отходов и происходит значительный расход щелочи. Сырье после очистки дочищается, выбраковывается и охлаждается [29].

Измельчение сырья необходимо для придания сырью определенных форм и размеров, что позволяет проводить последующие технологические операции и более эффективно использовать тару. Измельчение производится до или после предварительной тепловой обработки, это зависит от назначения продукции. Если измельчение овощей производится до тепловой обработки, следует учесть негативное воздействие кислорода и частиц пыли в воздухе, также реакцию меланоидинообразования на однолептические показатели и пищевую ценность продуктов. Интенсивность этих реакций зависит не только от концентрации реагирующих соединений и температуры, но и от вида сахаров, содержания воды в продукте, аминокислот и белковых веществ, которые имеют свободные аминогруппы Органические кислоты в сахароаминных реакциях, влияют на рН среду и участвуют в процессе образования темноокрашенных соединений. Также окисляются полифенольные вещества под воздействием кислорода воздуха при механической обработке (протирание, резка, дробление), чувствительность к окислительным процессам заметно различаются. Антоцианы, лейкоантоцианы и катехины окисляются наиболее активно. Оксикоричные кислоты и флавонолы окисляются в ферментативных системах и стабильны в неферманентных. Окисление полифенолов катализируют ферменты оксигеназы, фенолазы и через перекись водорода – каталаза и пероксидаза. Действие кислорода сведено к минимуму агрессивным влиянием среды в средах, где присутствуют вещества участвующие в меланоидиновых процессах (фруктоза и пентоза), также имеются катализаторы (ионы меди и железа), доноры перекисей (аскорбиновая кислота). Поэтому рекомендуется сокращать продолжительность технологических операций и проводить их при полном отсутствии кислорода, использовать вакуумное оборудование при упаковке продукции, для сохранения натурального цвета плодов и овощей [25].

Предварительная тепловая обработка овощей выполняется воздействием горячего растительного масла, либо воды с температурой 80 – 100 °С или пара. Тепловую обработку в горячем растительном масле называют обжаркой, обработку воздействием воды или пара – бланшированием. Предварительная тепловая обработка в технологических процессах выполняет следующие задачи: придает сырью специфические вкусовые свойства, повышает калорийность, увеличивает

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

клеточную проницаемость, размягчает сырье и меняет его объем, погибает большое количество микроорганизмов, гидролизует протопектин, удаляется воздух из тканей растения, инактивирует ферменты, которые вызывают окисление. Бланширование уменьшает количество микроорганизмов на 90 – 99%. При удалении кислорода из тканей растений исключает его негативное воздействие при ферментативных процессах. Бланшированием предотвращается изменение вкуса, запаха и окраски продукта [24].

Рекомендуемая оптимальная температура при бланшировании 93 °С. Для различных видов овощей время бланширования различается, а иногда неодинакова для одного вида продукции, поэтому для каждой партии продукта, длительность этого процесса определяется экспериментально.

Бланширование производится паром, пароводяной смесью или нагретой водой. Бланширование можно оценить по следующим параметрам: по расходу энергии, потери питательных веществ в продукте. У овощей с неповрежденной поверхностью потери растворимых веществ в 5 раз меньше, чем у нарезанных и очищенных. Бланшировка производится горячей водой в двухстенных паровых котлах или бланширователях непрерывного действия разнообразных конструкций (ковшовых, шнековых, ленточных и барабанных).

Бланшировке не подвергается растительная продукция, в которых нежелательные ферменты содержатся в малых количествах или активность их подавлена действием других веществ. После бланширования продукты охлаждаются, замораживаются, упаковываются, этикетированы и отправляются на хранение холодильное или на продажу [2].

Для различных видов продуктов требования к замораживанию различны и для их замораживания требуется необходимое морозильное оборудование. На некоторых холодильных предприятиях используют универсальное оборудование. Для замораживания продуктов используют различное оборудование, которое работают на одном из основных принципов отвода тепла. Иногда при замораживании применяют один и тот же способ, но разное оборудование или два способа и соответствующее оборудование [27].

Существуют основные требования, которые должны выполняться на холодильных предприятиях: время замораживания должно быть минимальным для сохранения качества продукта; вещество которое служит для отвода тепла и непосредственно контактирует с продуктом, должно быть безвредным и не разрушать продукт; оборудование должно быть универсальным и менее энергоемким.

Конструкции холодильного оборудования в зависимости от способа отвода теплоты можно разделить на аппараты с замораживанием охлажденным раствором, холодным воздухом, контактным способом, глубоким вакуумом, жидким и испаряющимся хладоносителем [22].

Рассмотрим замораживание продуктов охлажденным воздухом.

Воздух при замораживании служит передатчиком теплоты от продукта к хладагенту, циркулирующему внутри холодильника. Этот принцип используется в морозильных камерах и установках воздушного охлаждения.

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

Морозильные камеры – это помещения, оборудованные батареями непосредственного охлаждения, в которых температура не зависит от температуры других помещений и работы другого холодильного оборудования. Температура воздуха в замораживающих камерах поддерживается на уровне – 25°С. Камеры замораживания не используются для хранения продукции.

Продолжительность замораживания в морозильных камерах зависит от количества и вида продукта, способа упаковки, скорости движения воздуха и производительности оборудования. В камерах нужно поддерживать высокую относительную влажность воздуха (90 – 95 %), для уменьшения потерь массы продукта от усушки. Для ускорения процесса замораживания в морозильных камерах регулируется поток воздуха с помощью специальных перегородок, в результате скорость движения воздуха между продуктами увеличивается [24].

Морозильные камеры применяются для заморозки только некоторых видов продуктов, в период максимального их производства. Продолжительность замораживания в морозильных камерах большая, чтобы заморозить 1 т. продукта требуется в 3 – 8 раз больше площади, чем в другом холодильном оборудовании. Морозильные камеры работают периодически, что является их недостатком [1].

Принцип действия морозильных камер показан на рисунке 2.1.

В туннельных морозильных установках принцип отвода тепла от замораживаемых продуктов такой же, как и в морозильных камерах. Скорость движения воздуха в туннельных морозильных установках выше ($4 - 12 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$), чем в морозильных камерах. В туннельных установках циркуляция воздуха происходит принудительно при помощи вентиляторов.

Туннельная морозильная установка – это хорошо изолированная камера, разделенная на длинные отсеки – туннели, где продукты замораживаются 16ом-биком охлажденного воздуха. Туннельные установки подразделяются на установки периодического и непрерывного действия, в зависимости от замораживаемых продуктов, перемещаются они или находятся в состоянии покоя в процессе замораживания.

В туннельных установках периодического действия в качестве охлаждающих батарей используются воздухоохладители из оребренных труб. В качестве воздухоохладителей применяют испарители. Морозильные камеры в некоторых установках подсоединяют к общей системе охлаждения. Этот способ имеет существенные недостатки, если загрузка туннелей продуктами производится постепенно, увеличивается время замораживания и происходит колебание температуры. Туннельные морозильные установки оборудуются вентиляторами и воздухоохладителями, благодаря которым воздух циркулирует между продуктами [31].

Компоновка воздухоохладителей (батарей) бывает различной. Различают потолочные и пристенные батареи. Применяют поперечное или продольное вентилирование воздуха в туннелях. При поперечном вентилировании скорость воздуха меньше и поэтому процесс замораживания происходит более равномерно. Очень большое значение имеет правильное распределение воздуха на входе камеры. Использование реверсивных вентиляторов, у которых изменяется направле-

ние вращения лопасти, за счет чего меняется направление движения воздуха, имеет большое значение при распределении воздуха в камерах.

Загрузка и выгрузка туннелей производится механическим путем с помощью конвейеров. В помещении перед туннелем производится подготовка к замораживанию, здесь происходит охлаждение продукта. Упаковка замороженных продуктов происходит в помещении после туннеля, здесь поддерживается температура такая же, как и на складах хранения замороженной продукции. Туннели обеспечиваются автоматической системой, которая обеспечивает выключение вентиляторов по окончании процесса замораживания.

Загрузка в туннельных морозильных установках периодического действия производится с помощью передвижных тележек. Продукт замораживается в виде блоков, в металлических формах. Упакованный продукт размещается на поддонах, а поддоны укладывают на тележки. Перемещение тележек может осуществляться по рельсам. Для правильного замораживания продуктов необходимо поддерживать рекомендуемое заполнение камеры. Если камера заполняется выше рекомендуемой нормы, то уменьшается пространство для циркуляции воздуха, следовательно, уменьшается скорость охлаждения и продолжительность замораживания увеличивается [24].

Туннельные морозильные установки непрерывного действия характерны тем, что продукт во время замораживания перемещается. Перемещение продукта может осуществляться ленточным конвейером, здесь воздухоохладители располагаются вдоль туннеля, воздух движется перпендикулярно движению конвейера. Продукт укладывают на ленту или в металлические коробки с отверстиями. В зависимости от вида и размера продукта, вариатором регулируется скорость движения конвейера. Температура замораживания в таких установках от -40 до -50 °С. Некоторые установки этого типа снабжаются устройствами автоматической мойки, дезинфекции и сушки ленточного конвейера. Туннельная морозильная установка показана на рисунке 1.2.

Гравитационные конвейерные морозильные установки отличаются тем, что имеют несколько конвейеров расположенных друг над другом. Продукт поступает на верхний конвейер, дойдя до его конца, перемещается на конвейер расположенный ниже и т. д. Из последнего конвейера продукт поступает к упаковочным автоматам.

В морозильных установках с вертикальными и горизонтальными конвейерами упакованный продукт в один или два ряда подается в загрузочное устройство, которое загружает его на люльки установки. Заполненная люлька движется поверху в другой конец установки, где опускается вниз и возвращается к распределителю-выгрузителю, который выталкивает замороженный продукт на конвейер. В таких установках можно замораживать разные продукты, которые имеют одинаковую упаковку [7].

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

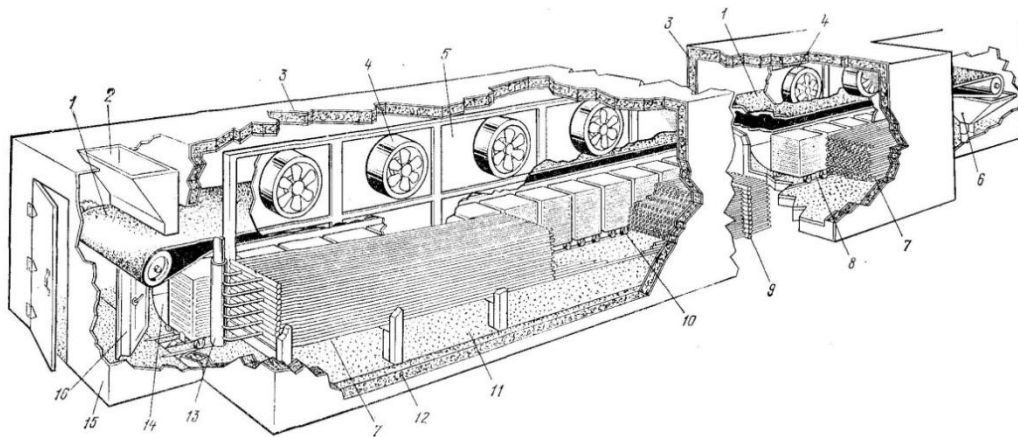


Рисунок 1.2 – Туннельный скороморозильный аппарат: 1 – конвейер; 2 – бункер подачи на конвейер; 3 – пробка; 4 – вентиляторы; 5 – перегородка; 6 – бункер приема замороженных продуктов; 7 – испарители; 8 – тележки; 9 – коллекторы жидкого аммиака; 10 – колея; 11 – бетонный пол; 12 – изоляция из пробковых плит толщиной 20 см; 13 – всасывающий коллектор; 14 – отражатель; 15 – тамбур; 16 – дверь морозильного аппарата

Флюидизационные морозильные аппараты служат для замораживания нарезанных овощей, мелких плодов и ягод. Из этих продуктов готовятся различные смеси. В таком виде легче осуществлять дозировку и механизировать их упаковку. Такой замороженный продукт получается в результате непрерывного движения каждой частицы во взвешенном состоянии. Поток воздуха подается мощными вентиляторами через охлаждающую батарею, а затем через слой замораживаемого продукта, который находится на сетчатой ленте конвейера, сделанной из нержавеющей стали. Через отверстия сетчатой ленты воздух поднимает частицы продукта, удерживает их во взвешенном состоянии и отделяет их друг от друга. Существуют флюидизационные аппараты, где сетчатая лента отсутствует. Частицы продукта в таких аппаратах не только поддерживаются во взвешенном состоянии потоком воздуха, но и перемещаются в установке в определенном направлении этим же потоком [31].

Флюидизационные морозильные установки применяют в течение определенного времени (сезон сбора овощей). В зимний период эти аппараты оснащают тележками для замораживания продуктов. Тележки устанавливают возле вентиляторов. Таким образом, в зимний период времени флюидизационная морозильная установка становится обычной морозильной камерой [26]. Принцип действия флюидизационной морозильной установки показан на рисунке 1.3.

Для всех видов морозильных установок продолжительность замораживания различается. В туннельных морозильных установках периодического действия средняя продолжительность замораживания упакованных мелкоштучных продуктов составляет от 6 до 14 часов. В туннельных установках непрерывного действия с температурой – 30°C, с поперечной подачей воздуха продолжитель-

ность замораживания меньше, для мелкоштучных продуктов 2 – 3 часа, для блоков высотой 60 мм. 3,5 – 4,5 часа.

При замораживании продуктов происходит потеря их массы (усушка) вследствие испарения воды из продуктов. Эти потери возрастают с увеличением скорости воздуха, разности парциального давления водяного пара между продуктом и охлаждающей средой, температурным градиентом, площади открытой поверхности продукта. Интенсивная усушка продукта приводит к тому, что после размораживания продукта поверхностный слой уже не может адсорбировать воду и остается твердым [19].

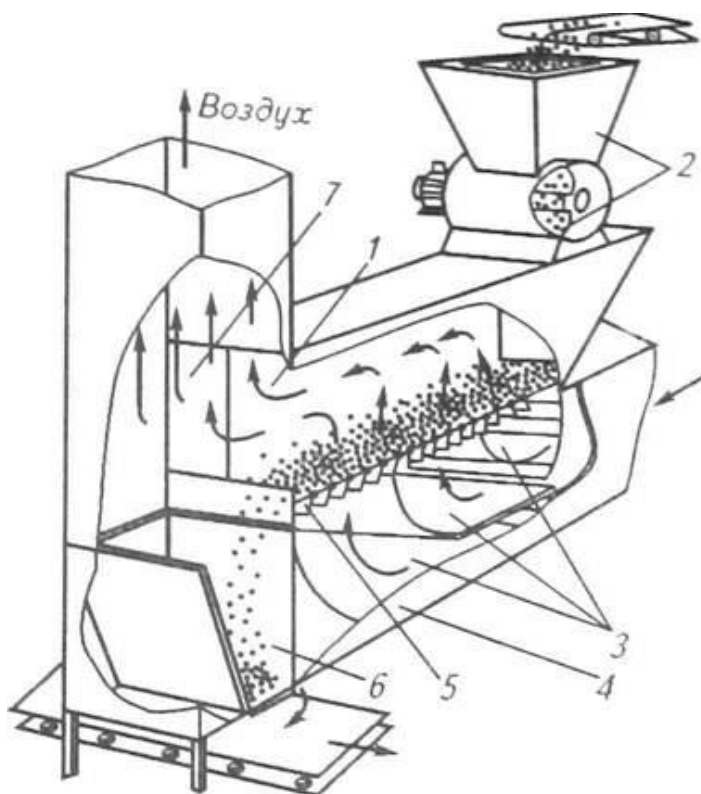


Рисунок 1.3 – Схема флюидизационной морозильной установки:
1 – камера, 2 – загрузочное устройство, 3 – воздухоохладители, 4 – корпус,
5 – распределительная решетка, 6 – разгрузочное устройство, 7 – патрубок

Преимуществами туннельных морозильных установок является универсальность, в этих установках можно замораживать продукты различной формы и упаковки. В туннельных морозильных установках непрерывного действия продукт выбирается по размерам и подъемной силе конвейера. Когда важно сохранить форму и сыпучесть сырья применяют различные ленточные и флюидизационные установки, это позволяет получить замороженное сырье высокого качества. Недостатком замораживания неупакованных продуктов в потоке воздуха является большая усушка и большой расход энергии на работу вентиляторов.

При замораживании продуктов необходимо использовать формы и перегородки из прочного материала, чтобы избежать деформации упаковки [23].

Рассмотрим замораживание в охлажденном растворе.

Существуют два вида замораживания, путем прямого контакта с охлаждающим раствором и бесконтактное замораживание.

Замораживание методом прямого контакта с охлаждающим раствором является одним из старейших способов. Оттесеном был применен погружной вариант. Заротченцев и Тейлор разработали вариант замораживания путем орошения. Принцип работы оборудования состоит в том, что рассол, который находится в емкости, охлаждается при помощи испарителя и насосом перекачивается в морозильную установку.

Метод Оттесена базируется на применении раствора соли такой концентрации, которая обеспечивает требуемую температуру охлаждения. Когда концентрация раствора повышается, то температура его замерзания понижается до эвтектической температуры, т. е. при которой раствор застывает сплошной твердой массой. Точка замерзания при дальнейшем повышении концентрации соли не снижается, а повышается [2].

При охлаждении ненасыщенного раствора соли до точки замерзания вода превращается в лед. Если в такой раствор погрузить влажный продукт, то на поверхности этого продукта образуется корка льда. Образование корки, т. е. превращение воды в лед происходит очень быстро, это не позволяет поваренной соли переходить из раствора в продукт. При замораживании необходимо соблюдать ряд условий: необходимо поддерживать температуру, которая соответствует данной концентрации; перед погружением необходимо охладить продукт, чтобы избежать нагревания слоя замораживающего раствора, что способствует проникновению соли в продукт. Чтобы удалить с поверхности замороженных продуктов излишки соли, продукт помещают в воду температурой 15 – 50 °С на 30 – 60 с. Если не удалять соль с продукта, то с изменением влажности его поверхность 20омбинается и изменяется цвет.

Метод Заротченцева состоит в орошении продукта охлаждающим раствором. Продукт подвешивается, ополаскивается чистой водой, потом при помощи форсунок на продукт подается охлаждающий раствор до тех пор, пока продукт не замерзнет. Далее продукт еще раз ополаскивается чистой водой, чтобы удалить соль. Скорость замораживания при методе орошения в два раза больше, чем при методе погружения [20].

Принцип бесконтактного замораживания заключается в том, что продукт укладывается в металлическую форму или упаковывается в водонепроницаемую упаковку, затем погружается в охлаждающий раствор. В качестве растворов применяют раствор хлористого кальция, хлористого магния с низкой эвтектической температурой. Для быстрого замораживания продукта продукт размещают в формах так, чтобы исключить образование воздушных подушек, которые уменьшают теплопередачу и снижают скорость замораживания. Формы с продуктом могут непосредственно погружаться в раствор или перемещаться при помощи конвейера [7].

Преимуществами способа погружения является быстрота замораживания, возможность замораживания продуктов неправильной формы, уменьшение затрат на электроэнергию, увеличение коэффициента теплопередачи.

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

Недостатками способа погружения является необходимость применять специальные водонепроницаемые упаковки, сильная коррозия и быстрый износ оборудования, вызванные использованием растворов рассола [1].

Рассмотрим контактные морозильные аппараты.

При замораживании в контактных аппаратах продукт находится в непосредственном контакте с металлической поверхностью плит или конвейера, т. е. продукт сжимается между двумя металлическими плитами, в которых циркулирует холодильный агент. При хорошем тепловом контакте продуктов с металлической поверхностью температурный градиент между поверхностью продукта и охлаждающей средой будет меньше, а плотность теплового потока больше. В сравнении с аппаратами, которые замораживают продукт потоком воздуха, аппараты с замораживанием на металлической поверхности наиболее эффективны: в 1,5 раза меньше отвод теплоты, меньше затрачивается электроэнергии, потеря массы продукта уменьшается в 3 – 5 раз [27].

Столь эффективную работу аппарата при замораживании продукта с металлической поверхностью обеспечивается при соблюдении некоторых условий: большая площадь поверхности контакта, термическое сопротивление в пограничном слое – минимальное. Обеспечивается это приданием продукту правильной геометрической формы, необходимо исключить появление воздушных прослоек в месте контакта, путем подпрессовки продукта давлением 70кПа. На продолжительность замораживания влияет термическое сопротивление продукта и интенсивность теплоотдачи от металлической поверхности к охлаждающей среде.

При замораживании влажного неупакованного продукта возможно примерзание его к поверхности металла. Чтобы извлечь замороженный продукт из морозильной камеры нужно нагреть металлическую поверхность со стороны хладоносителя до положительной температуры, это можно сделать при помощи горячих паров хладагента. В результате увеличиваются энергетические затраты, усложняется сам технологический процесс, температура замороженного продукта увеличивается. Чтобы снизить сцепление продукта с металлом продукт перед замораживанием упаковывают в полимерную пленку, а на поверхность металла наносят адгезионные покрытия (фторопласт, полиэтилен) [30].

Замораживание в контактных аппаратах может происходить как в одностороннем, так и в двухстороннем контакте с охлаждающей металлической поверхностью. Поэтому конструкция таких аппаратов различна и подразделяются на плиточные, барабанные и ленточные.

В плиточных аппаратах продукт замораживается между двумя металлическими плитами, внутри которых циркулирует охлаждающая среда. Располагаться плиты могут горизонтально, вертикально, радиально на вращающемся валу. Плиточные аппараты могут использоваться для замораживания продуктов в виде блоков, например овощей [2].

Плиточные морозильные установки периодического действия представляет собой теплоизолированную камеру с горизонтально расположенными плитами. На металлические поддоны и рамы укладывается продукт, которые помещаются между плитами. Плиты перемещаются при помощи гидравлического устройства,

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

за счет этого продукт зажимается между ними. Чтобы избежать деформации тары при сжатии плит устанавливаются съемные подставки, которые регулируют расстояние между плитами.

Температура в плиточных морозильных аппаратах регулируется дистанционно. При завершении процесса заморозки плиты разжимаются, и рамы с замороженным продуктом вынимаются из морозильного аппарата. Число плит в установке колеблется от 11 до 21. Размеры плит в установках 1300×1100 мм. Подвод и отвод хладагента осуществляется при помощи армированных трубок. Температура кипения хладагента составляет от -35 до -45 °С. Производительность плиточных морозильных аппаратов зависит от количества слоев замораживаемого продукта [1].

Плиточные морозильные установки с вертикальными плитами представляют собой раму из оцинкованной стали, охлаждающие плиты расположенные вертикально, устройства для герметизации межплиточных полостей для загрузки и погрузки продукта.

Плиты в морозильной установке представляют собой испаритель, что на 40% повышает эффективность данной установки по сравнению с другими морозильными устройствами. Загрузка продукта происходит механически, перемещение производится гидравлическим устройством. Движения замороживаемого продукта находящегося между плитами, способствует удалению воздуха между материалом, упаковкой и плитами. Замороженные продукты из морозильной установки выгружаются на конвейер, который отправляет продукт к упаковочному устройству [1]. Плиточный морозильный аппарат представлен на рисунке 1.4.

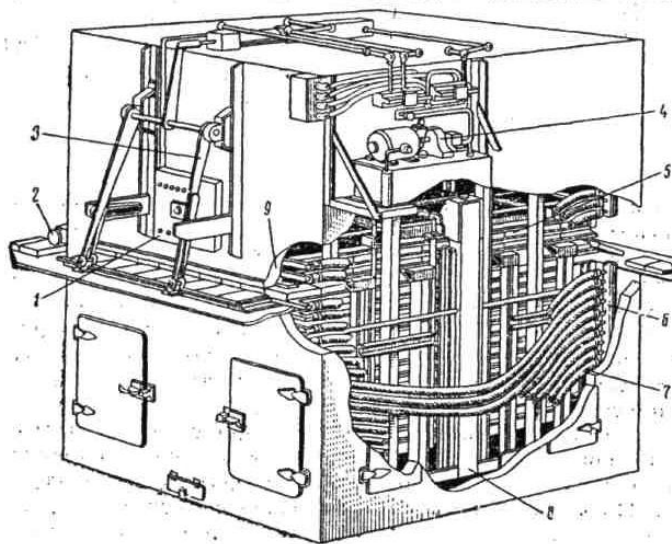


Рисунок 1.4 – Плиточный морозильный аппарат: 1 – электронный регулирующий щит, 2 – чувствительный элемент, 3 – автоматический толкатель, 4 – гидравлический насос, 5 – морозильные плиты, 6 – коллектор, 7 – шланги для подачи холодильного агента, 8 – гидравлический подъемный цилиндр, 9 – изолированный контур

Роторные морозильные аппараты имеют радиально расположенные плиты, которые вращаются на валу. Замораживание продукта в этом аппарате происходит непрерывно, этим обеспечивается постоянство тепловой нагрузки на холодильную установку и высокая производительность. Хладагент по плитам распределяется равномерно благодаря тому, что плиты расположены радиально и вращаются. Продолжительность замораживания в роторных морозильных установках по сравнению с воздушными морозильными камерами в 1,5 – 2 раза меньше, также происходит непрерывная обработка, автоматическое регулирование режимов работы, снижение энергозатрат.

Блок-форма в роторных морозильных аппаратах представляет собой шарнирно закрепленные на валу ротора плиты из алюминиевого сплава с каналами для циркуляции жидкого холодильного агента, который через пустотелый вал ротора распределяется по плитам, через противоположный торец ротора отводится и аккумулируется в циркуляционном ресивере. При загрузке и выгрузке блок-формы раздвигаются относительно друг друга и образуют гнезда пирамидальной формы. После загрузки продуктом блок-формы сдвигаются и образуют гнезда прямоугольной формы, заполненные продуктом.

Продукт подается конвейером в бункеры дозатора, откуда загружается в кассеты, смонтированные на раме загрузочного устройства. В это же время происходит упаковка продукта в полиэтиленовую пленку или другие упаковочные материалы. Кассеты с продуктом вталкиваются в пространство между блок-формами воздействием гидравлического привода загрузочного устройства. Рамы с пустыми кассетами возвращается в исходное положение, а продукт, удерживаемый специальными поршнями, остается внутри блок-форм. Когда плиты блок-форм сжимаются, а продукт спрессовывается, начинается процесс замораживания блоков. После окончания одного ряда блок-форм ротор поворачивается на величину необходимую для загрузки следующего ряда блок-форм. К месту разгрузки подходит ряд блок-форм с замороженным продуктом. Половинки блок-форм раскрываются специальным клиновым механизмом, и замороженные блоки разгружаются на транспортер. Каждая блок-форма с продуктом замораживается за один оборот ротора [7].

Для замораживания полуфабрикатов с влажной поверхностью и пастообразных продуктов используются барабанные морозильные аппараты. Замораживание происходит на поверхности барабана, в каналах которого при вращении циркулирует хладагент. Аппарат состоит из полого барабана с каналами, теплоизоляционного ограждения, ножа для скалывания продукта, электрического привода, конвейеров загрузочного и разгрузочного. При помощи специального устройства продукт подается на поверхность вращающегося барабана и примораживается. За один оборот барабана происходит процесс замораживания, потом продукт скалывается ножом с поверхности барабана и направляется на разгрузочный конвейер. Роторный морозильный аппарат представлен на рисунке 1.5.

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

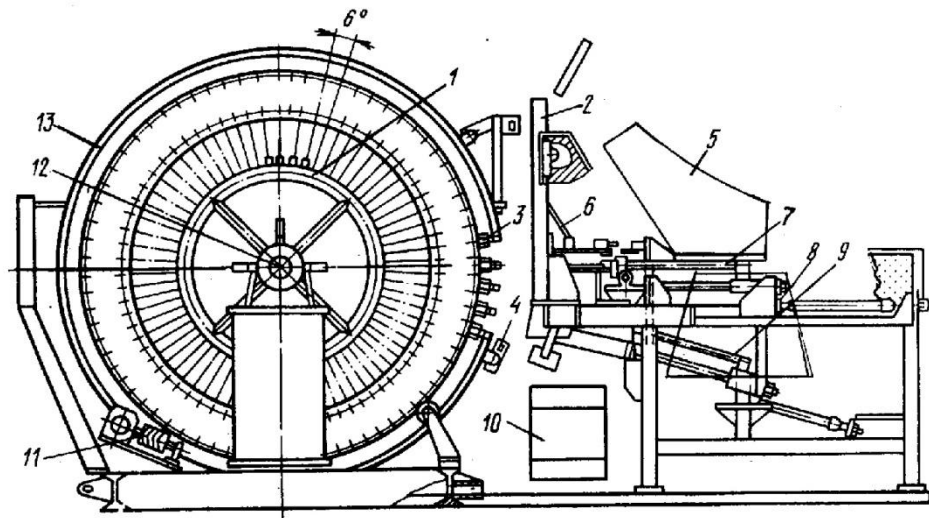


Рисунок 1.5 – Роторный морозильный аппарат: 1-кольцевой коллектор для подачи и отвода хладагента, 2 – щит подпрессовывающего устройства, 3 – морозильная плита, 4 – лоток, 5 – весы, 6 – подпрессовывающее устройство, 7 – механизм передвижения стола, 8 – загрузочное устройство, 9 – механизм выгрузки замороженных блоков, 10 – конвейер, 11 – привод, 12 – вал ротора, 13 – бандаж ротора

Ленточные аппараты представляют собой конвейерную ленту из нержавеющей стали, на которой происходит замораживание продукта при прохождении ленты через охлаждаемую часть аппарата. Под лентой в охлаждаемой части аппарата находятся емкости, заполненные хладоносителем так, что лента конвейера «плавает» на его поверхности. Емкости заполняются из-за непрерывной подачи в испаритель охлажденного хладоносителя. В емкости охлажденный хладоноситель подается форсунками, расположенными ниже его уровня. Избыток хладоносителя отводится в испаритель [22].

Рассмотрим криогенные морозильные аппараты.

В этих аппаратах продукт замораживается при непосредственном контакте с веществами, которые изменяют свое фазовое состояние при криогенной температуре. Продукт замораживается очень быстро благодаря высокой интенсивности теплоотвода (5 – 10 мин), этим обеспечиваются малые потери массы и хороший товарный вид. Аппараты эти просты в конструкции и в обслуживании, занимают меньше площадь, менее энергоемкие.

У этих аппаратов есть существенные эксплуатационные недостатки, связано это с потерей в атмосферу отработанного агента, иногда с большим холодильным потенциалом. Поэтому криогенные аппараты применяют в основном для замораживания продуктов природные свойства, которых можно сохранить только при высокой скорости замораживания.

В качестве охлаждающих веществ применяется жидкий азот и диоксид углерода (CO_2). Диоксид углерода и жидкий азот являются природными веществами, инертными по отношению к другим продуктам и конструкционным материалам. Диоксид углерода имеет преимущества, по сравнению с жидким азотом. Ди-

						АКЗ. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			24

оксид углерода храниться без потерь вследствие испарения, путем конденсации можно возвращать в работу до 80 % от расхода. Также он является более дешевым хладагентом и обладает бактерицидным действием [28].

Азотные аппараты. Существуют различные виды азотных аппаратов, которые отличаются назначением, производительностью и способами замораживания. Замораживание продуктов в этих аппаратах происходит следующими способами: орошением, погружением в жидкость и в потоке газообразного азота.

Замораживание продуктов при большой разности температур считается нецелесообразным с точки зрения термодинамики. Так как при таких условиях возможно растрескивание и деформация продукта из-за внутренних напряжений, появляющихся вследствие неравномерного по объему льдообразования. При охлаждении жидкостью, охлаждающая способность азота реализуется на 50 %, расход азота на 1 кг замораживаемого продукта достигает 2 кг. Поэтому экономичнее замораживать продукт в две стадии: предварительно с помощью газообразного азота и домораживанием в жидком азоте. Расход жидкого азота уменьшается, но увеличивается длина аппарата в 2 раза [18].

Также применяют аппараты, где продукт замораживается в газообразном потоке и путем орошения. В этих аппаратах расход азота сокращается до 1,2 – 1,5 кг на 1кг продукта. Конструкция аппарата состоит из трех зон холодильной обработки: зоны предварительного охлаждения парами азота, зона замораживания, зона выравнивания температуры изделий по их объему. В первую зону поступают пары азота из зоны замораживания и зоны выравнивания температур, что уменьшает расход жидкого криоагента. Во второй зоне происходит замораживание продуктов за счет подачи жидкого азота в эту зону, через систему форсунок. В зону предварительного охлаждения продукта пары азота направляются циркуляционными осевыми вентиляторами.

Рабочая камера аппарата это теплоизолированный туннель внутри, которого расположен конвейер (спиральный или ленточный) по нему продукт транспортируется через все температурные зоны. Система охлаждения состоит из емкостей, в которых хранится жидкий азот, форсунок, сосуда для сбора жидкого азота и насоса, также в аппарате предусмотрена система удаления отработанного газообразного азота [16].

Преимуществами данного аппарата являются: простота конструкции и эксплуатации, быстрый выход на режим (не более 4 мин), высокая скорость замораживания, универсальность аппарата, минимальные потери массы продукта из-за усушки, возможность замораживания продуктов различной геометрической формы и размеров без изменения в конструкции аппарата, экологическая безопасность. Азотный морозильный аппарат представлен на рисунке 2.6.

Диоксидуглеродные морозильные аппараты. Данные аппараты применяют для замораживания практически всех видов продуктов. Диапазон температур до – 73 °С.

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

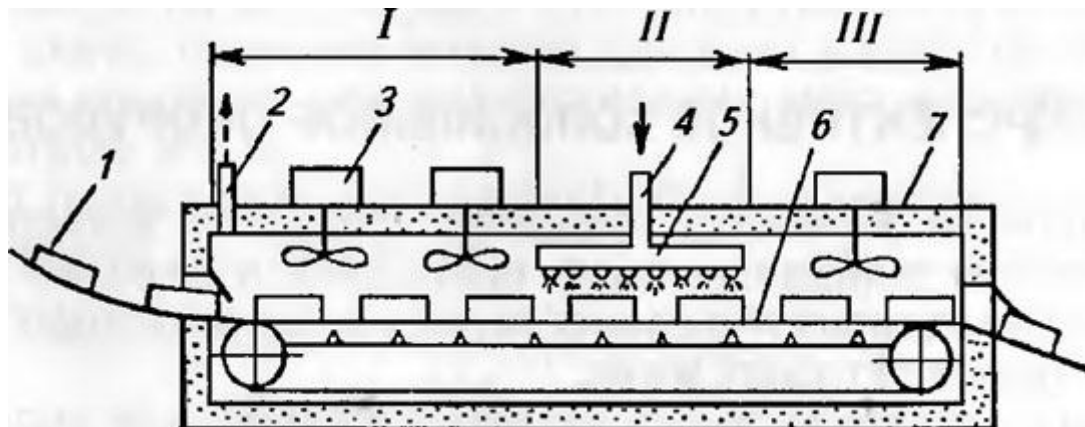


Рисунок 1.6 – Азотный морозильный аппарат: I—зона предварительного охлаждения продукта; II—зона орошения; III — зона выравнивания температуры продукта; 1 — блок продукта; 2—трубопровод отвода газообразного азота; 3— вентилятор; 4—трубопровод подачи жидкого азота; 5—распылительное устройство; 6— грузовой конвейер; 7—теплоизолированный короб

Диоксидуглеродные морозильные аппараты состоят из несущего каркаса, теплоизоляционного ограждения из панелей типа «сэндвич», конвейеров для транспортировки продуктов, устройства загрузки и выгрузки, системы охлаждения и газораспределения. Система охлаждения состоит из емкостей для хранения жидкого CO_2 и распределительных форсунок. Транспортировка и хранение диоксида углерода осуществляется в жидком виде в теплоизолированных сосудах при температуре $-18... -30\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $1,4...2,1\text{ Мпа}$, поддерживаемые холодильными агрегатами. Вследствие чего потери CO_2 исключаются при хранении и упрощается его подача в систему охлаждения, так как используется естественная разность давлений. Жидкий агент подается через форсунки в охлаждаемый объем. В форсунках агент дросселируется, образуя газ и твердую фазу в виде снега, который осаждается на продуктах и конструкции аппарата. Газовая прослойка в зоне контакта с продуктом снижает интенсивность теплоотвода, поэтому плотный слой CO_2 нежелателен. Поэтому продукт замораживают в контакте с твердой фазой путем смешивания продукта и снега, что увеличивает интенсивность теплоотвода, либо в газообразной среде с температурой выше $-78\text{ }^\circ\text{C}$, при которой снег превращается в газ.

Расход CO_2 составляет примерно 1 кг на 1 кг продукта [2].

1.3 Хранение, отепление и размораживание овощных полуфабрикатов

Охлаждение, подмораживание и замораживание – это операции, которые предшествуют холодильному хранению продуктов. Операции завершающие хо-

лодильное хранение – отепление, размораживание, которые необходимы для дальнейшей обработки, для продажи и для промышленного производства.

Целью холодильной обработки является изменение состояния продукта в зависимости от температуры как главного параметра холодильной технологии. При осуществлении холодильной обработки от продукта отводится либо подводится теплота, при хранении это не требуется [26].

Целью хранения является исключение изменения состояния хранимых продуктов, но в реальности это недостижимо. Поэтому реально достижимым результатом холодильного хранения пищевых продуктов является замедление изменений, которые ухудшают качество продукта. Основным средством достижения этой цели – стабильная, достаточно низкая температура хранения, также большую роль играют и другие факторы.

Иногда при хранении продуктов задача заключается не просто в торможении изменений, а направленного их регулирования, например при дозревании хранимых плодов. Для этого выбирается наиболее благоприятный режим для выполнения нужных изменений в продукте [30].

Температура хранения охлажденных продуктов находится в пределах от 2 до -2°C . При таких температурах развитие микрофлоры и ферментативные процессы не прекращаются. Отчетливо ощущаются запахи продуктов и сами продукты адсорбируют посторонние запахи. Внутренние изменения протекают быстро, продолжаются изменения, происходящие при охлаждении. С поверхности охлажденного продукта испаряется влага в воздух камеры.

Чрезмерно высокая влажность воздуха и местные застои создают опасность недопустимого развития микрофлоры и затхлость. Во избежание этого применяют воздушные или смешанные системы охлаждения, продукт размещают так, чтобы обеспечивалось достаточное движение воздуха во всем объеме камеры. Удовлетворительной считается скорость воздуха у поверхности продукта от 0,1 до 0,3 м/с.

Относительная влажность рекомендуется в пределах от 80 до 90 % (для различных продуктов). При такой относительной влажности воздуха и побудительном его движении усушка продуктов значительна. Таким образом, тремя основными регулируемыми параметрами для хранения охлажденных продуктов являются температура, относительная влажность и скорость движения воздуха [24].

При хранении замороженных продуктов температура настолько низка, что прекращается жизнедеятельность микрофлоры, а ферментативные процессы тормозятся гораздо сильнее, чем в охлажденных продуктах. Основным регулируемым параметром остается температура хранения, а значение других параметров хранения снижается, поскольку их влияние на успех существенно зависит от температуры.

Понижение температуры хранения способствует более длительной сохранности продукта, поэтому в зависимости от срока хранения можно выбрать тот или иной температурный режим. Международный институт холода в качестве допустимой для хранения мороженых продуктов называет температуру -12°C , а рекомендуемая температура -18°C и ниже. При герметичной упаковке продукта

					AK3. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

побудительное движение воздуха позволяет применять интенсивные охлаждающие приборы малой металлоемкости, допускающие автоматизацию регулирования работы и обеспечивающие равномерность температурного поля. Если продукт упакован не герметично, то побудительное движение воздуха увеличивает усушку [31].

Относительная влажность в камерах хранения не регулируется искусственно, а устанавливается произвольно в зависимости от условий, создаваемых в камере, особенности продукта, наличие теплопритоков. В камерах хранения замороженной продукции рекомендуется максимальная относительная влажность воздуха, она не должна быть ниже 92 или 95 %.

Из всего вышеизложенного вытекают общие требования, которые учитываются при выборе режимов хранения охлажденных и замороженных продуктов, а также соответствующие им требования к холодильным сооружениям и системам охлаждения камер хранения.

Первым требованием считается устойчивое, строгое постоянство и равномерность поля режимных параметров в камерах хранения. При изменении внешних условий, которые воздействуют на режимные параметры в камере, необходимо компенсировать их, чтобы режим в камере не нарушался. Этого достигнуть полностью не удастся, поэтому ограничиваются минимальным отклонением от заданного режима. Это осуществляется при совершенной теплоизоляции камер и правильном выборе и размещении охлаждающих устройств с автоматическим регулированием их работы.

Вторым общим требованием при хранении продуктов является сокращение внешних и внутренних теплопритоков, которые нарушают не только температурный режим, но и воздействуют на влажность воздуха и вызывают его неконтролируемое свободное конвективное движение, создавая неравномерность поля режимных параметров [7].

При хранении замороженных плодов и овощей должен обеспечиваться высокий уровень пищевой ценности при минимальных потерях массы. Задача эта трудновыполнимая, так как качество плодов и овощей зависит от их свойств и состава, вида и наличия упаковки и температуры хранения. Важное значение имеет первоначальное качество, поступающего на замораживание продукта, степень измельчения, условия предварительной обработки [32].

Потребительские свойства плодов и овощей зависят от температурных режимов хранения. Низкие температуры уменьшают потери массы и необратимые изменения качества продуктов. Большое значение имеет выравненность температурно-влажностного режима при хранении, колебания температуры приводит к увеличению кристаллов льда и сублимации влаги. Колебания температуры и влажности в камерах хранения допускаются не более 1 – 2 % [8].

Упакованные замороженные продукты растительного происхождения хранят в камерах холодильных при температуре – 18 °С и относительной влажности воздуха не менее 95 % в течении 9...12 месяцев со дня выработки. Возможно хранение быстрозамороженных овощей при температуре – 15 °С не более 8 месяцев со дня их выработки. Длительность хранения в холодильных камерах торговых

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

сетей при температурах – 9 и – 12 °С, составляет 2 – 7 суток. Размораживание и повторное замораживание плодов и овощей не допускается [2].

Упаковка замороженных продуктов защищает от загрязнений и сохраняет его на всем пути от производителя до потребителя. Упаковка защищает продукт от: внешней микробиологической среды; обезвоживания; окисления липидов, вкусоароматических веществ, пигментов и витаминов; потери запаха и вкуса, а также от приобретения постороннего запаха и привкуса; физических повреждений при хранении и транспортировки [29].

Упаковочные материалы должны выдерживать низкие температуры до -30 °С без растрескивания, а также и высокие температуры, которые возникают при разогреве в микроволновых печах. Материалы, используемые для упаковки продуктов должны быть химически инертными, нетоксичными и герметичными. Обязательными свойствами упаковочных материалов являются прочность, эластичность, стабильность и непроницаемость для водяного пара. Для предотвращения изменения продуктом вкуса и аромата, окисления в присутствии кислорода, необходимо использовать упаковочные материалы, не пропускающие кислород и позволяющие удалять кислород путем создания частичного вакуума и впрыска инертных газов. Упаковочные материалы должны быть светонепроницаемыми, особенно для ультрафиолетового излучения, приспособлены к применению на различных фасовочно-упаковочных линиях, должны иметь подходящий размер и форму и легкое вскрытие упаковки. Также упаковка должна обеспечивать хорошую теплоизоляцию продукта, чтобы избежать возможные колебания его температуры. Для упаковки замороженных продуктов применяется разные виды материалов: пленки с покрытием, металлизированные, ламинированные и простые пленки, пластмассовые лотки с крышкой и другие виды термоформованной упаковки [32].

Для упаковки замороженных продуктов чаще всего используются следующие материалы: картон и формованная бумажная масса; полимерные материалы; полужесткие пластмассовые контейнеры; алюминий.

Большую часть плодоовощной продукции упаковывают в полимерную пленку, из которой на вертикальных фасовочно-упаковочных машинах, осуществляющих операции формования, наполнения и герметизации, изготавливают пакеты типа подушки. Овощи упаковываются в пленку с водонепроницаемыми слоями [3].

Овощи, плоды и ягоды, предназначенные для розничной торговли, упаковывают в мелкую потребительскую тару: в пачки из ламинированного картона (по 0,5 – 1 кг.); в пакеты из пищевой полиэтиленовой пленки или лакированного целлофана (до 1 кг.); в ящики из гофрированного картона № 5 (до 15 кг.), для реализации предприятиям общественного питания – в те же ящики, но снабженные пленочными мешками-вкладышами.

Овощные полуфабрикаты, быстрозамороженные обеденные, закусочные блюда фасуются блоками по 1 – 5, 10, 20 порций, салаты, гарниры и овощные полуфабрикаты, предназначенные для общественного питания, фасуются в пакеты из лакированного целлофана, полипропилена ПП – 4, ПП – 5, полиэтилена по 0,5,

					AK3. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

1, 3, 5 кг. Блоки по пять порций фасуют в парафинированные картонные коробки с пакетами из лакированного целлофана. Транспортировка овощных полуфабрикатов производится при температуре – 15... - 18 °С [8].

Перед употреблением охлажденные пищевые продукты отепляют, а замороженные – размораживают. Отопление и размораживание – это заключительные операции в непрерывной холодильной цепи, которые производятся непосредственно перед выпуском этих продуктов в розничную торговлю, промышленной и кулинарной обработкой [5].

Отопление это процесс постепенного повышения температуры охлажденных продуктов до температуры окружающей среды при максимальном сохранении их качества. Отопление предотвращает отпотевание продуктов, т. е. конденсацию влаги на его холодной поверхности и обсеменение поверхностей микрофлорой из воздуха.

В отеплении не нуждаются продукты в герметичной упаковке при условии их быстрого употребления, а также некоторые продукты, которым конденсирующаяся влага не причиняет вреда (сливочное масло, соленая рыба и др.). Для овощей, плодов и баночных консервов отепление необходимо.

Отопление проводится в воздушной среде, в которой регулируется количество водяных паров и обеспечивается максимальная стерильность. Отопление происходит в результате теплообмена с нагретым воздухом, при этом следует избегать на поверхности продукта точки росы. Слишком сухой воздух нежелателен, так как вызывает усушку продукта. Поэтому влагосодержание и скорость необходимо регулировать так, чтобы обеспечить хороший теплообмен, избежать перегрева поверхности продукта и приблизить состояние воздуха при температуре поверхности продукта к состоянию насыщения водяными парами. Процесс отепления завершается, когда температура поверхности продукта становится такой, что при перемещении в новые условия поверхностная конденсация влаги уменьшается [8].

Отопление производится в камерах оборудованных установками для кондиционирования воздуха. Необходимые параметры циркулирующего воздуха обеспечиваются кондиционерами, которые оборудованы последовательно включенными воздухоохладителем и калорифером. С помощью вентилятора воздух из камеры поступает в кондиционер, где охлаждается и подсушивается в воздухоохладителе до необходимого влагосодержания, затем он проходит калорифер, где подогревается до постоянного влагосодержания и направляется в камеру отепления. Здесь воздух отдает тепло продукту, сам охлаждается и увлажняется.

При отеплении ускоряются биохимические, микробиологические, физико-химические и физические процессы в продукте. Чтобы замедлить микробиологические процессы воздух в камерах подвергается фильтрации, озонированию, ультрафиолетовому излучению для обеззараживания воздуха [32].

Продукты при отеплении размещают таким образом, чтобы обеспечивалась свободная циркуляция воздуха. Упакованные продукты укладывают в штабеля в шахматном порядке с прокладкой реек между рядами, а неупакованные продукты располагают в таком же порядке, что и при хранении, - на подвесных

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

путях и стеллажах. Не разрешается отепление продуктов со специфическими запахами вместе с другими продуктами.

Для отепления продукта к нему подводится теплота равная по количеству расходу холода на охлаждение этого продукта в одинаковом по величине температурном интервале. Теплота, подводимая к продукту, идет не только на его нагревание, но и на испарение влаги с его поверхности. Продолжительность отепления зависит от размера продукта, упаковки, вида тары, температуры и скорости воздуха, начальной и конечной температуры продукта [24].

Флодоовощную продукцию при отеплении перемещают из холодильной камеры в коридор или специальную камеру, где температура воздуха постепенно повышается, через 12 – 15 часов в помещение с температурой от 18 до 20 °С. Отепление переохлажденных плодов и овощей может продолжаться от нескольких суток до нескольких недель. Только таким режимом можно достичь максимальной обратимости процесса и обеспечить их высокое качество [31].

Размораживание – это процесс восстановления исходного состояния продукта, при котором кристаллы льда превращаются в жидкость. При неправильном процессе размораживания можно значительно ухудшить качества продукта.

Размораживание протекает медленнее замораживания при одной и той же разнице температур, это связано с различными условиями теплопередачи для льда и воды. Для фазового перехода льда в воду необходимо большое количество теплоты. Теплопроводность льда в 4 раза больше теплопроводности воды. При замораживании сначала замерзают поверхностные слои, их теплопроводность увеличивается, повышается теплообмен, в результате чего процесс замораживания ускоряется. При размораживании первыми размораживаются поверхностные слои, что приводит к резкому снижению теплопроводности и теплообмена, скорость процесса уменьшается. Замедление процесса приходится на самый критический диапазон температур (точка плавления льда). При размораживании крупных продуктов это связано с перекристаллизацией, что может вызвать повреждение тканей [33].

Качество размороженной продукции зависит от длительности хранения, колебания температуры хранения, усушка при хранении. Если происходит колебания температур при хранении, наблюдается рекристаллизация с образованием более крупных кристаллов льда, что приводит к дополнительному повреждению тканей и потери сока при размораживании.

После размораживания некоторые продукты подвергают дальнейшей обработке, либо используют для производства других изделий, в этих случаях конечная температура этих продуктов составит от -1 до 1 °С. При размораживании продуктов, не требующих подогрева перед употреблением (ягоды, плоды, зелень), их нагревают до температуры окружающей среды. Для размораживания овощных полуфабрикатов необходима полная кулинарная обработка. В большинстве случаев этот процесс совмещают с варкой или тушением. Конечная температура обработки должна быть равна температуре, при которой продукты готовы к употреблению [32].

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		31

2 РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Для замораживания овощных полуфабрикатов использовалось следующее оборудование: лабораторный холодильный ларь; туннель с сетчатой металлической подложкой, туннель с металлическими плитами; приборы и средства измерения температуры.

Для конвекционного способа заморозки был изготовлен туннель с сетчатой металлической подложкой. Снизу металлической подложки был установлен вентилятор для обдува продукта. Размеры ячеек сетки 13×13 мм.

Для контактного замораживания был изготовлен туннель с установленными в нем металлическими плитами. С торца туннеля был установлен вентилятор для обдува продукта и плит. Размеры металлических плит 10×15 мм.

Вентиляторы создают поток холодного воздуха движущегося со скоростью 1,5 м/с. На поверхность и в центр продукта устанавливаются термодатчики, которые сообщаются с приборами и средствами измерения температуры (рисунок 2.1).

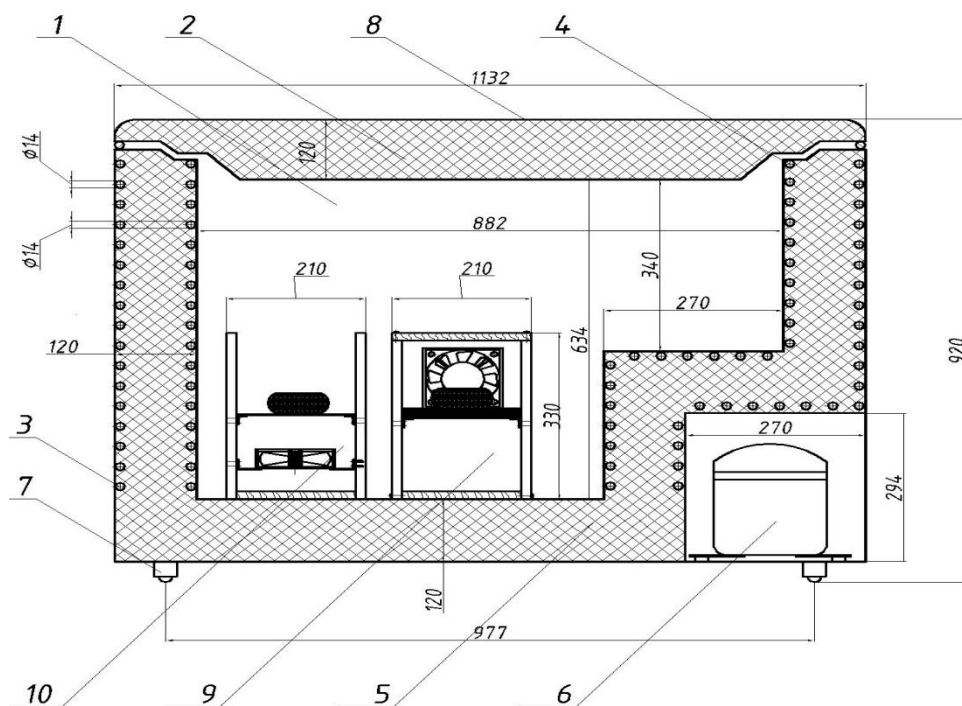


Рисунок 2.1 – Лабораторный стенд: 1 – внутренняя камера; 2 – крышка холодильного ларя; 3 – конденсатор; 4 – испаритель; 5 – изоляционный слой; 6 – компрессор; 7 – колесная опора; 8 – корпус; 9 – туннель с металлическими плитами; 10 – туннель с металлической решеткой

Лабораторный морозильный ларь Liebherr LGT 2325 Mediline изображенный на рисунке 2.2, предназначен для хранения при низких температурах различных веществ, используется исследовательскими институтами и лабораториями. У

компактного морозильника статичная система охлаждения, равномерную и заданную температуру с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$ температуру поддерживает контроллер Comfort. При повышении температуры и сбое электроэнергии срабатывает аудиовизуальная сигнализация.

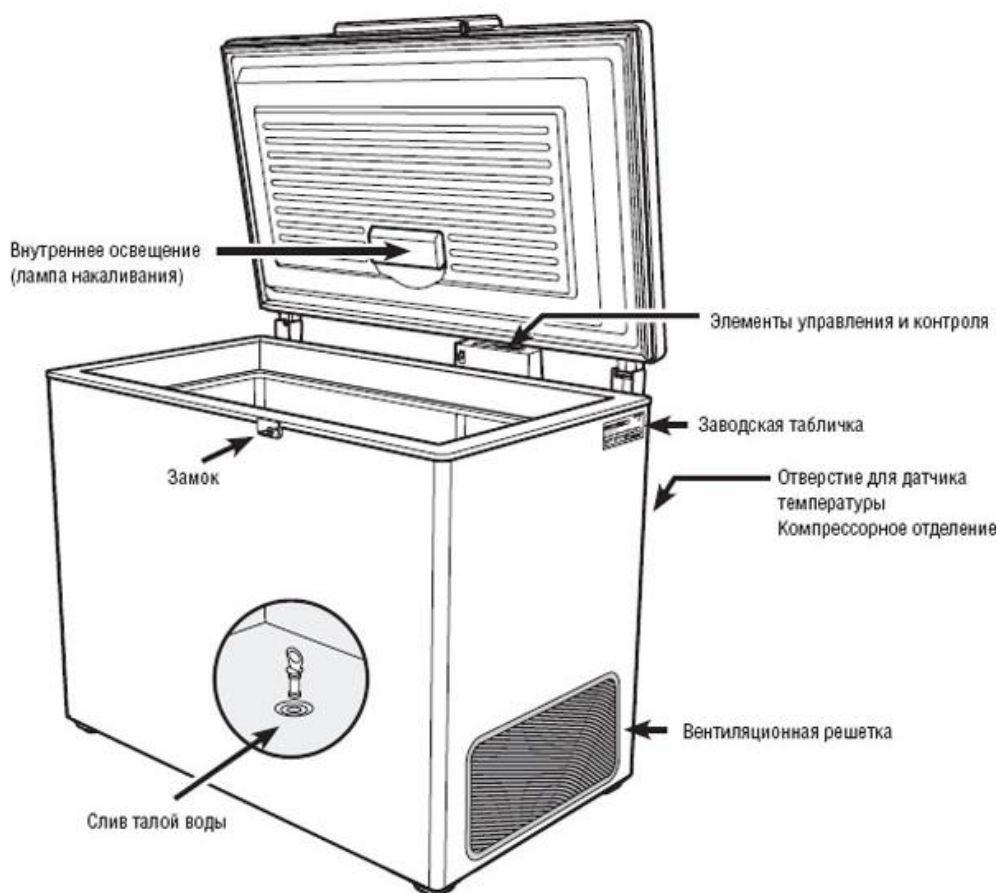


Рисунок 2.2 – Общий вид морозильного ларя

При помощи встроенных беспотенциальных контактов можно вывести подачу аварийных сигналов на внешнюю сигнализацию. Данные о работе устройства могут передаваться на компьютер, для этого имеется интерфейс RS 485. Есть наружный дисплей, на который выводится внутренняя температура и другие показатели работы ларя.

Морозильный ларь Liebherr LGT 2325 – с ручной оттайкой, но благодаря системе Stop-Frost на нем образуется меньше наледи и его нужно меньше размораживать. Крышка открывается и закрывается без усилий. Корпус ларя изготовлен из стали, материал внутренней поверхности алюминий с белым покрытием. Крышка выполнена из цельного листа, что увеличивает ее прочность и облегчает очистку. Петли износоустойчивые и выдерживают минимум 300 тыс. открываний. Имеется встроенный замок и ручка из алюминиевого профиля. На крышке есть подсветка, что облегчает поиск нужного предмета в ларе и уменьшает время его пребывания открытым. Имеется система противовеса, при открывании крышки ларя

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		33

более чем на 45 градусов она не будет стремиться захлопнуться. Технические характеристики морозильного ларя представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики морозильного ларя Liebherr LGT 2325 Mediline

Параметр	Значение
Объем общий	215 литров
Возможность встраивания	нет
Габариты (Ш×Г×В), мм	1132/760/919
Внутренние размеры (Ш×Г×В), мм	889/410/630
Полезный объем, л	200
Тип крышки	Крышка стальная, глухая
Суточное энергопотребление, кВтч	2,3
Диапазон внутренних температур	-10°С ... -45°С
Материал/цвет корпуса	Сталь/белый
Материал внутренней облицовки	Алюминий
Толщина изоляции корпус/крышка, мм	120
Климатический класс	SN
Хладагент	R 290
Уровень шума относительно 1 пВт	55 dB (A)
Напряжение питания / частота	220-240 В / 2 А

Туннель с металлическими плитами был изготовлен из четырех досок. Две доски размерами 210 × 210 мм являются крышкой и дном туннеля, другие две размером 330 × 210 мм стенками туннеля. Соединены эти доски были винтами. К внутренним сторонам стенки винтами прикрутили металлические уголки, которые являются опорой для металлических пластин. Металлические пластины устанавливаются на высоте 160 мм от дна туннеля. С торца туннеля установили вентилятор, который крепится к пластинам с помощью болтов М5, пластины крепятся к стенкам и крышке туннеля при помощи винтов. Туннель с металлическими пластинами показан на рисунке 2.3.

Туннель с металлической решеткой изготавливался из трех досок. Две доски размерами 330 × 210 мм и одна доска размером 210 × 210 мм дно туннеля. Между собой они соединяются винтами. К внутренней стороне стенок туннеля прикрутили восемь металлических уголков, которые являются опорой для металлической решетки и вентилятора. Решетка устанавливается на высоте 166 мм от дна туннеля, а вентилятор устанавливается ниже на высоте 59 мм. Туннель с металлической решеткой показан на рисунке 2.4.

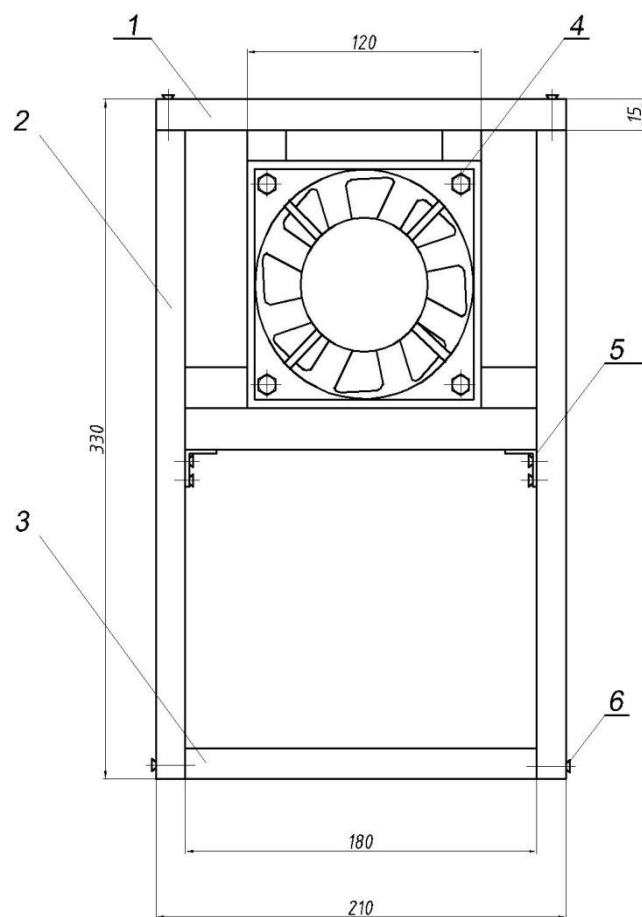


Рисунок 2.3 – Туннель с металлическими пластинами: 1 – крышка; 2 – стенка; 3 – дно; 4 – вентилятор; 5 – металлический уголок; 6 – винты

Измерительный комплекс состоит из четырех хромель-копелевых термопар, модуля ввода аналогового измерительного МВА 8, преобразователя интерфейсов АС4 и персонального компьютера.

Измерение параметров, характеризующих свойства холодильного оборудования, позволяет определить стабильность показателей качества в процессе выпуска и тем самым осуществить объективный контроль за состоянием технического уровня и качества холодильной техники. Поэтому измерения должны сопровождать весь жизненный цикл каждого типоразмера холодильного оборудования, в том числе и испытательного опытного образца. Важнейшую роль играют измерения при экспериментальных исследованиях в процессе проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Они позволяют не только ответить на вопрос о соответствии испытываемой модели предъявляемым требованиям или ожидаемым результатам, но и вскрыть причины отклонений от них, понять физическую сущность протекающих в модели процессов, влияющих на значения анализируемых параметров. Достоверность полученных данных зависит от точности измерений, которая определяется рядом условий, обеспечиваемых при

					АКЗ. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

проведении измерений, а именно точности измерительных приборов, соблюдения правил установки датчиков, конструкции испытательного стенда и др. [9].

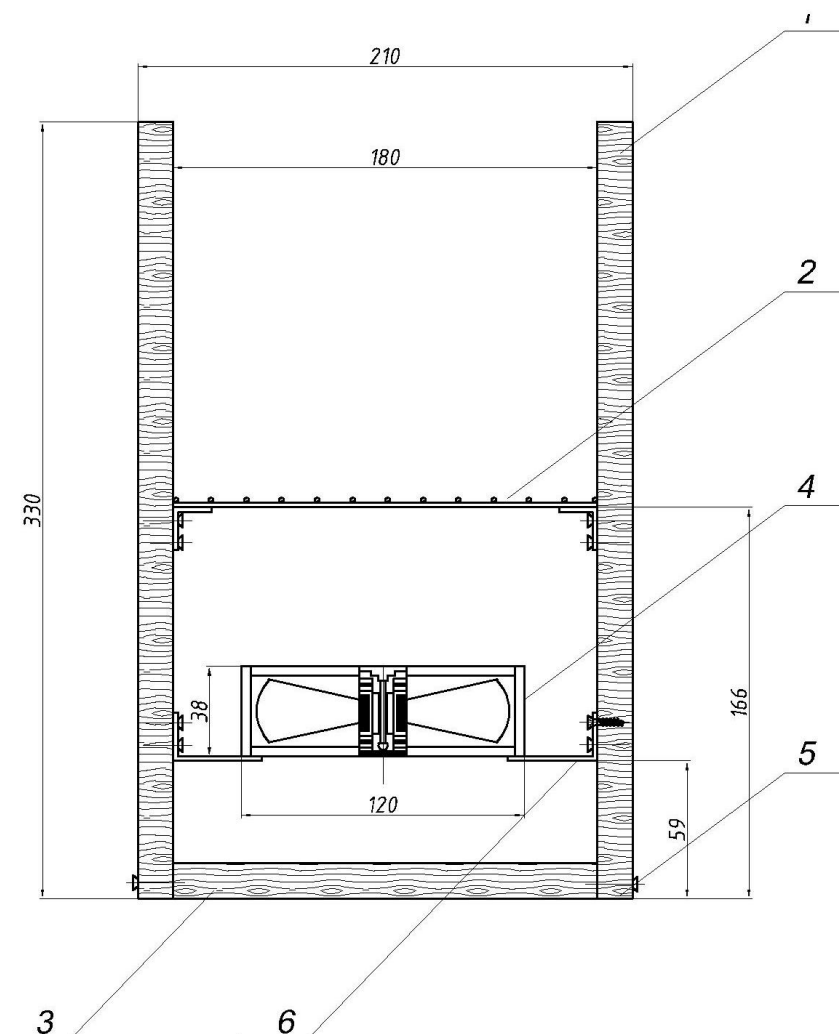


Рисунок 2.4 – Туннель с металлической решеткой: 1 – стенка; 2 – металлическая решетка; 3 – дно; 4 – вентилятор; 5 – винты; 6 – металлические уголки

Одним из основных параметров, характеризующих тепловое состояние системы, является температура. В холодильной технике находит применение контактное измерение температуры тела, которое основано на теплообмене между ним и чувствительным элементом измерительного прибора и последующем преобразовании температуры чувствительного элемента в другие величины, удобные для восприятия. В практике чувствительный элемент может оказаться под воздействием посторонних тепловых потоков, которые приводят к отклонению его температуры от температуры измеряемого тела, и как следствие, к погрешностям измерения. Одно из основных требования к методам измерения температуры – это обеспечение наименьшего термического сопротивления между чувствительным элементом прибора и измеряемым телом и изоляция чувствительного элемента от посторонних тепловых потоков [9].

Термопары преобразуют температуру в движущую силу (термо-ЭДС), действие основано на явлении Зеебека, т.е на генерации термо-ЭДС в месте соединения двух различных проводников. Хромель-копелевые термопары могут использоваться в области температур от минус 50 °С до 600 °С. Они обладают следующими достоинствами: наивысшая чувствительность по сравнению с другими типами термопар. Недостатки – это плохая воспроизводимость функции преобразования различными партиями термоэлектродных проводов, а также наличие неоднородностей материала, особенно хромеля, которые приводят к возникновению паразитных термо-ЭДС. Также термоэлектродные провода хромель и копель очень чувствительны к механическим повреждениям, которые приводят к дополнительным неоднородностям. Допускаемое отклонение термо-ЭДС хромель-копелевых термопар промышленного изготовления от градуировочных характеристик в рабочей области температур составляет более 2 °С. Термопары, используемые в измерительном комплексе, были изготовлены в лабораторных условиях и были подвергнуты индивидуальной градуировке. Для этого спай термопары был помещен в сосуд Дьюара с тающим льдом, в котором температура с достаточно высокой точностью поддерживается около 0 °С [1, 2].

Полученная градуировка представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Градуировка измерительного комплекса

ХК ТП №1	$\pm 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
ХК ТП №2	$\pm 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$
ХК ТП №3	$\pm 0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$
ХК ТП №4	$\pm 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Модуль ввода аналоговый измерительный МВА8 предназначен для построения автоматических систем контроля и регулирования производственных технологических процессов в различных областях промышленности, сельском, коммунальном и других отраслях народного хозяйства.

Прибор выполняет следующие основные функции:

- измерение физических параметров объекта, контролируемых входными первичными преобразователями;
- цифровую фильтрацию измеренных параметров от промышленных импульсных помех;
- коррекцию измеренных параметров для устранения погрешностей первичных преобразователей;
- формирование аварийного сигнала при обнаружении неисправности первичных преобразователей;
- передачу компьютеру информации о значениях измеренных датчиками величин или значениях, полученных после преобразования этих величин;
- изменение значений его программируемых параметров с помощью программы конфигурирования;

- сохранение заданных программируемых параметров в энергонезависимой памяти при отключении напряжения питания МВА8;
- снятие показаний датчиков положения (резистивного и токового типа) и контактных дискретных датчиков [10].

Основные технические характеристики МВА8 приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные технические характеристики

Наименование	Значение
Диапазон переменного напряжения питания частотой 43...63 Гц	90...245 В
Потребляемая мощность	не более 6 ВА
Количество измерительных каналов	8
Время опроса одного канала	не более 0,4 с
Напряжение источника питания активных датчиков	24±3 В постоянного тока (180 мА макс.)
Интерфейс связи с компьютером	RS – 485
Протокол связи, используемый для передачи информации о результатах измерения	Овен; ModBus-RTU; ModBus-ASCII; DCON
Степень защиты корпуса	IP20
Габаритные размеры прибора	157×86×57мм
Масса прибора	Не более 0,5 кг
Средний срок службы	8 лет

Предел основной приведенной погрешности для термопар составляет 0,5%. Схема подключения термопар к входу прибора представлен на рисунке 2.5.

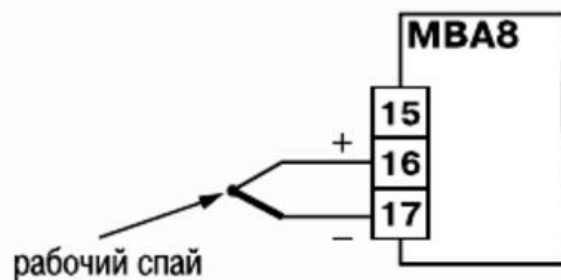


Рисунок 2.5 – Схема подключения термопары к МВА8

Сигнал с датчика, измеряющий физический параметр объекта (температуру, давление), поступает в прибор в результате последовательного опроса датчиков прибора. Полученные сигналы по данным НСХ преобразуются в цифровые. В процессе обработки сигналов происходит их фильтрация от помех и коррекция показаний в соответствии с заданными пользователем параметрами. Опрос датчиков и их обработка происходит последовательно по замкнутому циклу. Включе-

ние датчиков в список опроса происходит автоматически, после задания типа их НСХ. Для каждого входа задается период опроса. Период опроса устанавливается в интервале от 0,3с До 30с.

Соединение прибора с термоэлектрическими преобразователями производится непосредственно (при достаточной длине термопар), либо с помощью удлинительных компенсационных проводов, марка которых должна соответствовать марке используемых термопар. Подключение компенсационного провода к входным контактам прибора следует, соблюдая полярность. Длина линии связи должна быть не более 20 м [10].

При проектировании промышленных систем автоматизации широкое распространение получили информационные сети, основанные на интерфейсе стандарта EIA RS – 485. Он предусматривает передачу данных по двум линиям (А и В) с помощью «симметричного» (дифференциального) сигнала и использование дополнительной линии для выравнивания потенциалов устройств заземления, объединенных в сеть в сеть стандарта RS – 485. Логический уровень сигнала определяется разностью напряжений на линиях (А и В).

Стандарт USB разработан как альтернатива более «медленным» компьютерным стандартам RS – 232 и LPT. В настоящее время устройства с интерфейсом USB 2.0 позволяет передавать данные со скоростью до 480 Мбит/с.

Интерфейс USB, как и RS-485, является симметричным и позволяет передавать данные по двум проводам (D+ и D-), при этом логические уровни аналогичны соответствующим уровням стандарта RS-485. Помимо информационных линий D+ и D- интерфейс предполагает наличие линий питания Vcc и GND для запитывания подключенного устройства (при условии, что потребляемый им ток не превышает 500 мА).

Прибор АС-4 предназначен для взаимного электрического преобразования сигналов интерфейсов USB и RS-485 с обеспечением гальванической изоляции входов между собой. Прибор автоматически определяет направление передачи данных, что позволяет исключить необходимость в дополнительном управлении обменом данными и значительно снизить временные интервалы (тайм-ауты) между кадрами данных. Прибор позволяет подключать к промышленной сети RS-485 персональный компьютер, имеющий USB-порт, при этом питание прибора осуществляется от шины USB. При подключении прибора к ПК в последнем появляется виртуальный COM-порт, что позволяет без дополнительной адаптации использовать информационные системы (SCADA, конфигураторы), работающие с аппаратным COM-портом. В таблице 2.4 приведены основные технические параметры прибора АС – 4.

Таблица 2.4 – Основные технические характеристики прибора АС – 4

Наименование	Значение
1	2
Питание	
Постоянное напряжение (на шине USB)	4,75...5,25

					АКЗ. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
						39

Продолжение таблицы 2.4

1	2
Потребляемая мощность	не более 0,5 ВА
Допустимое напряжение гальванической изоляции входов	не менее 1500 В
Интерфейс USB	
Стандарт интерфейса	USB 2.0
Длина линии связи с внешним устройством	не более 3 м
Скорость обмена данными	до 115200 бит/с
Используемые линии передачи данных	D+, D-
Интерфейс RS-485	
Стандарт интерфейса	TIA/EIA-485
Длина линии связи с внешним устройством	не более 1200 м
Количество приборов в сети	не более 32
Используемые линии передачи данных	A(D+),B(D-)
Корпус	
Габаритные размеры	36×93×57 мм
Степень защиты	IP20
Крепление	на DIN-рейку
Масса	65 г

Функциональная схема прибора приведена на рисунке 2.6.

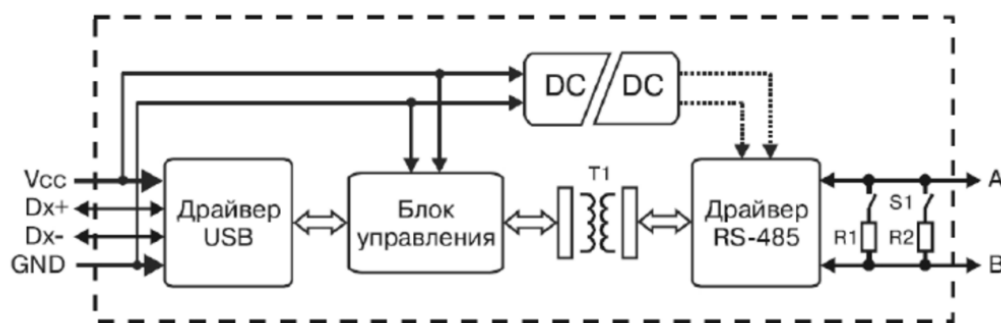


Рисунок 2.6 – Функциональная схема прибора АС-4

Прибор состоит из следующих функциональных блоков:

- драйвера USB, предназначенного для преобразования электрических сигналов интерфейса USB в сигналы ТТЛ-логики и обратно;
- драйвера RS-485, необходимого для преобразования электрических сигналов интерфейса RS-485 в сигналы ТТЛ-логики и обратно, а также для выбора направления передачи данных, поскольку двухпроводный интерфейс RS-485 в один момент времени может либо передавать, либо принимать данные;

- блока управления, предназначенного для определения направления передачи пакета данных и соответствующего переключения драйвера RS-485 на прием или передачу, а также фильтрации электрических сигналов;
- для гальванической изоляции блоков предназначен трансформаторный преобразователь Т1;
- для питания гальванически изолированных частей прибора предназначен DC/DC преобразователь;
- для выбора номинала оконечного согласующего резистора $R_{ср}$ предназначены DIP переключатель S1 и резисторы R1 и R2 [11].

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Объекты исследования и режимы замораживания

В качестве компонентов исследуемой плодоовощной смеси были выбраны овощи и плоды, произрастающие в Сибири. Рецепт исследуемой плодоовощной смеси показана в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Рецепт овощного гарнира с тыквой

Овощи	Расчетная норма закладки, кг на т
Картофель	250
Морковь	210
Перец болгарский	230
Тыква	250
Лук красный	50
Чеснок	5
Зелень (укроп)	5

Перед приготовлением смеси овощного полуфабриката овощи и плоды проходят следующие операции: сортировку, мойку и очистку, резку и бланшировку.

При сортировке овощи распределяют по сорту, крепости и размеру. Рассортированные овощи легче очищаются и они дают меньше отходов.

После сортировки овощи моют и очищают. Картофель и корнеплоды моются вручную, каждый клубень в отдельности. Зелень очищается от корней и поврежденных листьев и промывается в большом количестве воды, слегка перемешивается. Вымытые овощи отцеживаются на сите или в небольших ящиках.

Вымытые овощи нарезаются вручную. Картофель нарезают кубиками 2×2 см, морковь соломкой, лук нарезают полукольцами, чеснок маленькими кусочками, тыкву полосками 3×2 см, болгарский перец ломтиками.

В процессе бланширования овощи погружаются в кипящую воду на 2 мин. После бланширования овощи охлаждаются погружением в холодную воду на 4 мин. Далее овощи перемешиваются и упаковываются в термоусадочный пакет по 400 грамм. Размер упаковки 100×150 мм, толщина пакета 25 мм.

Для замораживания овощных полуфабрикатов были выбраны следующие режимы:

1. Конвекционное замораживание в потоке восходящего воздуха.

На сетчатую металлическую подложку укладывается продукт. Снизу подложки располагается вентилятор, который создает поток воздуха движущейся вверх со скоростью 1,5 м / с.

2. Контактное замораживание на металлической плите с одновременным обдувом холодным воздухом.

На металлические плиты размером 10×15 см укладывается продукт. С торца туннеля закреплен вентилятор, который создает горизонтальный поток воздуха. Нижний слой продукта замораживается вследствие отдачи тепла металлическим плитам, верхний слой – вследствие отдачи тепла потоку холодного воздуха.

3. Контактное замораживание при расположении продукта между двумя металлическими плитами с одновременным обдувом холодным воздухом.

Продукт помещается между двумя металлическими плитами. С торца туннеля закреплен вентилятор, который создает горизонтальный поток воздуха. Верхний и нижний слой продукта замораживается вследствие отдачи тепла металлическим плитам, горизонтальный поток воздуха дополнительно отводит тепло от продукта.

4. Подмораживание нижнего слоя продукта с последующим контактном замораживанием.

Продукт укладывается на сетчатую металлическую подложку и находится там, пока не подмерзнет нижний слой продукта. Далее продукт помещается в туннель с металлическими плитами, где находится до конца замораживания. Подмораживание продукта необходимо, при наличии влаги на упаковке продукта, чтобы при дальнейшем контактном замораживании упаковка не примерзала к металлическим плитам.

Для замораживания овощных полуфабрикатов применялось два температурных режима – 40 °С и - 30 °С.

3.2 Подготовка приборов и средств измерения к работе

Для того чтобы следить за изменениями температуры в продукте используются термопары. Термопара – это два проводника из различных материалов, которые с одной стороны свариваются в одной точке (горячий спай) именно этот спай помещают в измеряемый продукт. С другой стороны имеется два свободных проводника (холодный спай) на котором измеряется термо-ЭДС.

Достоинства термопар:

- высокая точность измерения температур;
- большой диапазон измерения температуры;
- простота;
- надежность;
- стоимость.

Недостатки термопар:

- на показания влияет температура холодного спаея;
- протекающий через термопару ток может вносить существенную погрешность;
- зависимость термо-ЭДС от температуры очень нелинейна;
- при большой длине проводников термопары могут возникать помехи, которые искажают показания;

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

- очень маленькое значение термо-ЭДС на один градус.

Термопары устанавливаются на поверхности продукта с двух сторон на расстоянии 2 мм от поверхности и в центре продукта. Установка термопар показана на рисунке 3.1

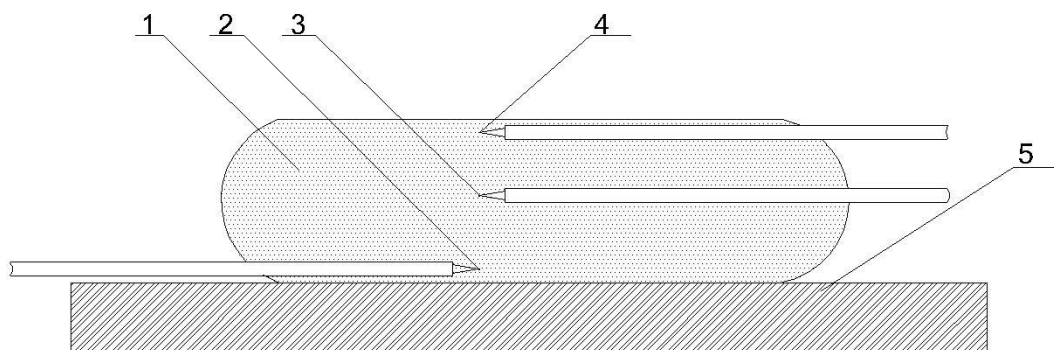


Рисунок 3.1 – Схема установки термопар: 1 – упакованная плодоовощная смесь; 2, 4 – термопары на поверхности продукта; 3 – термопара установленная в центре продукта; 5 – металлическая плита.

Рассмотрим подключение и подготовку к эксплуатации прибора АС – 4.

Подключение прибора АС – 4 выполнялось согласно схеме изображенной на рисунке 3.1

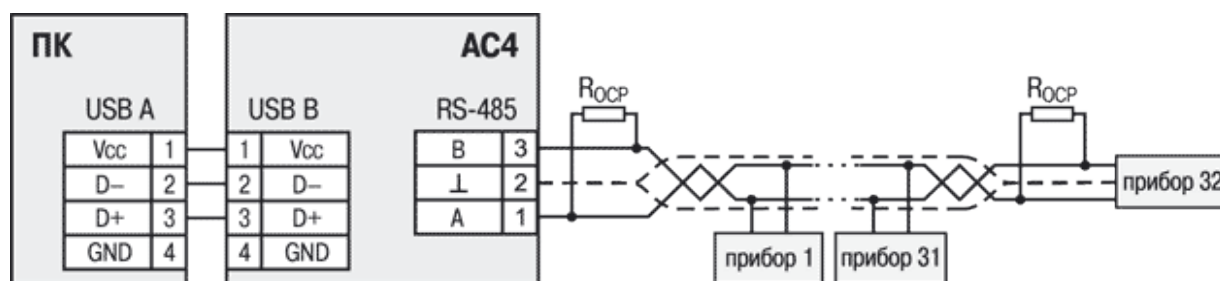


Рисунок 3.2 – Схема подключения прибора АС – 4

Кабель S интерфейса R– 485 подключается по двухпроводной схеме с соблюдением полярности. К прибору подключается USB кабель. Для обеспечения надежности винтовых соединений использовался многожильный медный кабель сечением 0,75 мм².

Перед первым включением прибора к компьютеру необходимо установить драйвер. Для этого запускается файл, который содержится на компакт-диске. USB кабель подсоединяется к ПК. Операционная система должна определить прибор как виртуальный COM-порт. Далее подается напряжение питания на устройства интерфейса RS – 485. Запускается программа опроса на ПК [11].

Рассмотрим подключение и подготовку к работе прибора МВА – 8.

Соединение прибора с термоэлектрическими преобразователями производится непосредственно (при достаточной длине проводников термопар), либо при помощи дополнительных компенсационных проводов, марка которых должна соответствовать типу используемых термопар. Компенсационные провода подключаются непосредственно к входным контактам прибора. Длина линии связи должна быть не более 20 м.

Связь прибора по интерфейсу R– 485 выполняется по двухпроводной схеме. Длина линии связи должна быть не менее 800 м. Подключение осуществляется витой парой проводов, соблюдая полярность. Провод А подключается к выводу А прибора. Аналогично соединяются выводы В.

Для обеспечения надежности электрических соединений использовался кабель с медными многопроволочными жилами, сечением 0,75 мм², концы которых зачищаются.

При подключении прибора необходимо соблюдать следующую последовательность операций:

- 1) Произвести подключение МВА8 к источнику питания прибора.
- 2) Подключить линии связи «прибор – датчики» к первичным преобразователям.
- 3) Подключить линии связи «прибор – датчики» к входам МВА8.
- 4) Подключить линии интерфейса RS – 485.
- 5) На неиспользуемые при работе прибора измерительные входы установить перемычки.

Схема расположения контактов для подключения внешних связей показана на рисунке 3.3

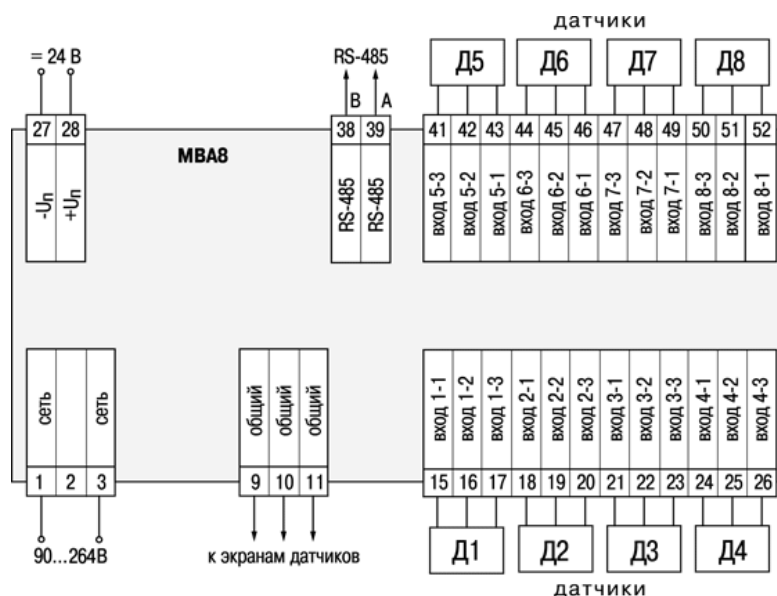


Рисунок 3.3 – Схема расположения контактов для подключения внешних связей

ния). Для изменения значения атрибута следует дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на требуемой строке списка параметров в ячейке «Атрибут редактирования». Значение перейдет в режим редактирования, и из раскрывающегося списка можно выбрать требуемое значение атрибута. Эта процедура доступна только для тех параметров, атрибут редактирования которых может быть изменен. Для тех параметров, редактирование которых недоступно пользователю, значение в ячейке «Атрибут редактирования» не отображается.

– Значение – присваивается автоматически (если атрибут редактирования имеет значение «Нередактируемый»), или выбирается пользователем (если атрибут редактирования имеет значение «Редактируемый»).

– Ошибки ввода-вывода – в соответствующей ячейке отображается сообщение о причине ошибки в случае возникновения таковой; строка, соответствующая параметру с ошибкой ввода вывода отображается красным цветом.

Оперативные параметры – служат для передачи текущих измерений или вычислений из прибора в сеть RSA485 по протоколу ОВЕН. Эти параметры доступны только для чтения [10].

Оперативные параметры обладают характеристиками, схожими с характеристиками программируемых параметров, но не имеют атрибута редактирования.

В процессе измерения прибор контролирует работоспособность датчиков и при возникновении неисправности в поле Значение выводит сообщение о ее причине.

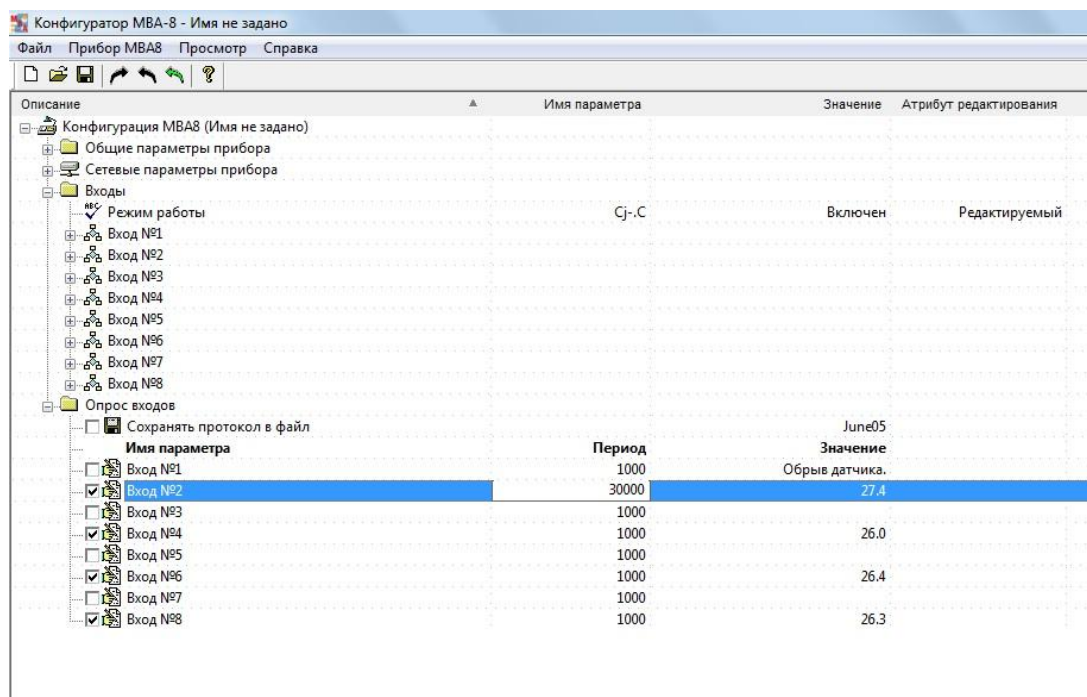


Рисунок 3.5 – Главное окно конфигуратора МВА 8. Изменение периода считывания информации

Для просмотра измеряемых прибором значений необходимо открыть папку «Опрос входов» и установить флажки в полях переключателей в строках, соответствующих тем входам, которые следует опросить.

Для сохранения измеренных значений в файл следует установить флажок в поле переключателя в строке «Сохранить протокол в файл». Сохранение в файл начинается немедленно. Протокол сохраняется в текстовый файл с расширением .log, который в дальнейшем может быть загружен в электронную таблицу.

По умолчанию программа предлагает имя файла для сохранения, состоящее из месяца и даты. Имя файла указано в поле «Значение» [10]. Протокол показан на рисунке 3.6

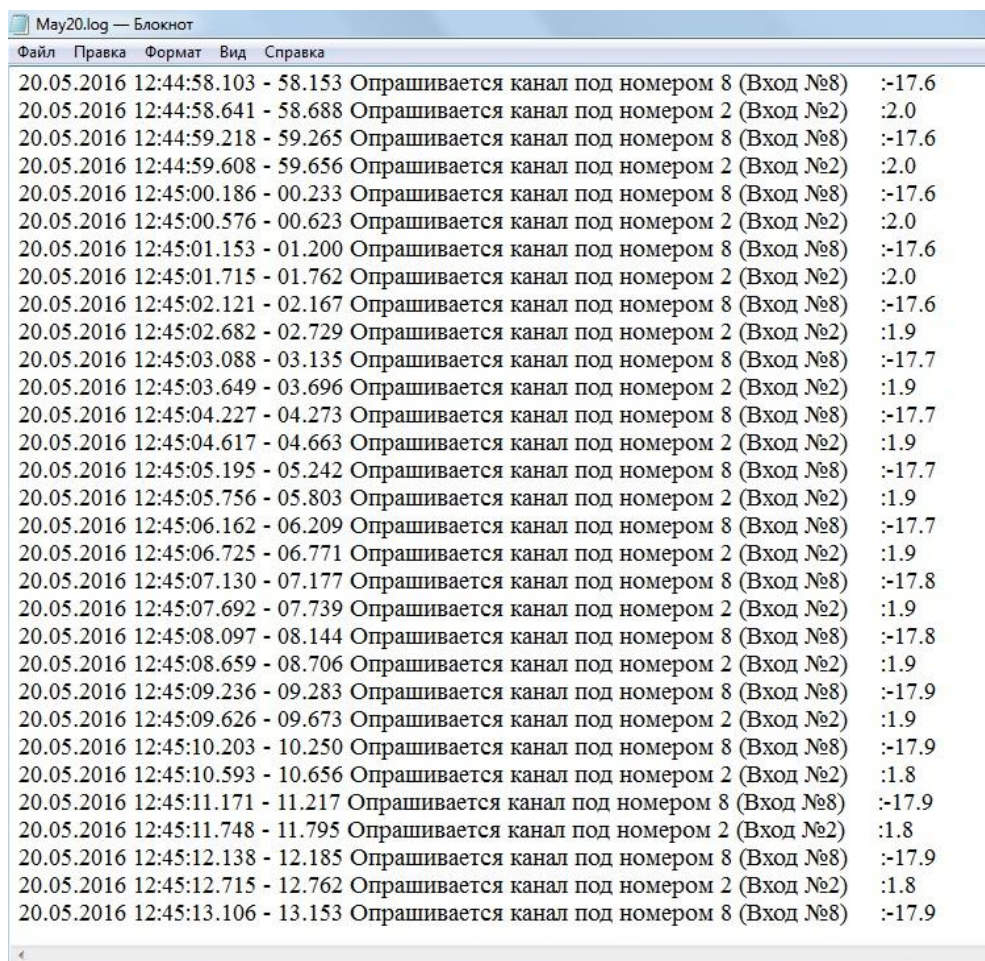


Рисунок 3.6 – Протокол с сохраненными измеряемыми значениями

Далее протокол копируется и вставляется в лист Microsoft Excel для обработки результатов (рисунок 3.7).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
7	20.05.2016	12:44:08.715	- 08.762	Опрашивается канал под номером 2 (Вход №2)					:2.8
8	20.05.2016	12:44:10.704	- 10.754	Опрашивается канал под номером 2 (Вход №2)					:2.7
9	20.05.2016	12:44:56.172	- 56.219	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.5
10	20.05.2016	12:44:58.103	- 58.153	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.6
11	20.05.2016	12:45:00.186	- 00.233	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.6
12	20.05.2016	12:45:02.121	- 02.167	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.6
13	20.05.2016	12:45:04.227	- 04.273	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.7
14	20.05.2016	12:45:06.162	- 06.209	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.7
15	20.05.2016	12:45:08.097	- 08.144	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.8
16	20.05.2016	12:45:10.203	- 10.250	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.9
17	20.05.2016	12:45:12.138	- 12.185	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.9
18	20.05.2016	12:45:14.073	- 14.120	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.9
19	20.05.2016	12:45:16.179	- 16.226	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.0
20	20.05.2016	12:45:18.114	- 18.160	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.0
21	20.05.2016	12:45:20.220	- 20.266	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.0
22	20.05.2016	12:45:22.154	- 22.201	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.0
23	20.05.2016	12:45:24.088	- 24.135	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:17.9
24	20.05.2016	12:45:26.194	- 26.241	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.0
25	20.05.2016	12:45:28.129	- 28.176	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.0
26	20.05.2016	12:45:30.063	- 30.110	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.0
27	20.05.2016	12:45:32.169	- 32.216	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.1
28	20.05.2016	12:45:34.104	- 34.150	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.1
29	20.05.2016	12:45:36.210	- 36.256	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.2
30	20.05.2016	12:45:38.144	- 38.191	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.2
31	20.05.2016	12:45:40.078	- 40.125	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.2
32	20.05.2016	12:45:42.184	- 42.231	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.3
33	20.05.2016	12:45:44.119	- 44.166	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.2
34	20.05.2016	12:45:46.225	- 46.272	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)					:18.3

Рисунок 3.7 – Вставка протокола в лист Microsoft Excel

Для удаления лишних строк нужно воспользоваться макросом, текст которого приведен на рисунке 3.8.

```

Sub Delete_Every_Other_RowA ()
ActiveSheet.Range("a1", ActiveSheet.Range("a65536").End(xlUp)).Select

' Переменные размерности.
Y = False           ' Измените значение на True, если необходимо
                    ' удалить строки 1, 3, 5 и т.д.

I = 1
Set xRng = Selection

' Цикл по всем строкам выделенного диапазона.

For xCounter = 1 To xRng.Rows.Count

' Если Y = True, тогда...
If Y = True Then

' ...удалить целую строку ячеек.
xRng.Cells(I).EntireRow.Delete

' В противном случае...
Else

' ...увеличить переменную I на единицу и продолжить выполнение цикла по диапазону ячеек.
I = I + 1

End If

' Если Y = True, изменить значение на False; если Y = False, изменить значение на True.
Y = Not Y

Next xCounter

End Sub

```

Рисунок 3.8 – Окно Visual Basic

Чтобы войти в окно Visual Basic необходимо воспользоваться комбинацией клавиш Alt + F11. В открывшееся окно вставляем текст макроса. Закрываем окно. Для того, чтобы запустить работу макроса используем сочетание клавиш Alt + F8. В появившемся окне выбираем название созданного макроса, запускаем его, нажав кнопку выполнить (рисунок 3.9).

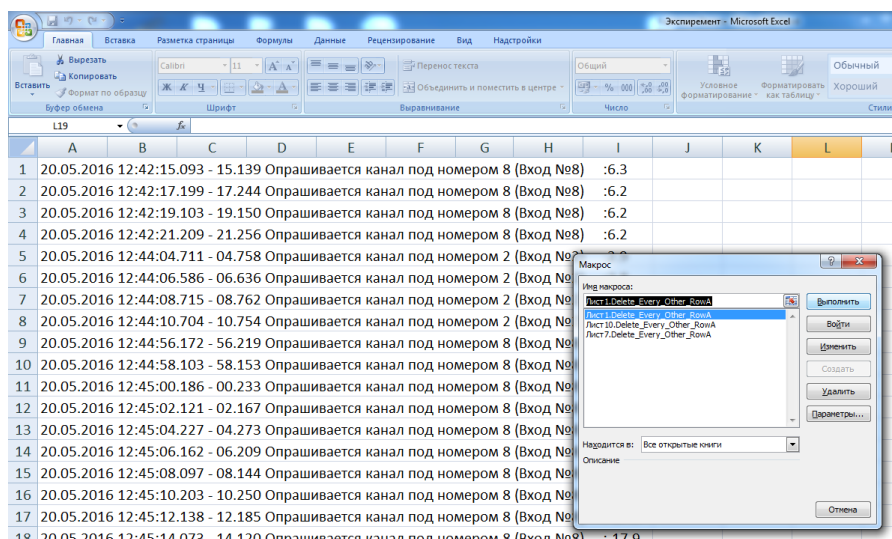


Рисунок 3.9 – Запуск макроса

Запускаем макрос до тех пор, пока изменение интервала температуры не станет равным 32 секундам. Указанный интервал достаточно точно отражает изменение температуры в процессе замораживания при построении графика (рисунок 3.10).

№	Дата	Время	Температура	Состояние	Интервал
1	20.05.2016	12:44:56.172	-17.5	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-17.5
2	20.05.2016	12:45:28.129	-18.0	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.0
3	20.05.2016	12:46:00.125	-18.4	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.4
4	20.05.2016	12:46:32.108	-18.8	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.8
5	20.05.2016	12:47:04.124	-18.9	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.9
6	20.05.2016	12:47:36.128	-19.2	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-19.2
7	20.05.2016	12:48:08.112	-19.0	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-19.0
8	20.05.2016	12:48:40.129	-18.9	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.9
9	20.05.2016	12:49:12.132	-18.7	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.7
10	20.05.2016	12:49:44.116	-18.5	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.5
11	20.05.2016	12:50:16.132	-18.3	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.3
12	20.05.2016	12:50:48.133	-18.2	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.2
13	20.05.2016	12:51:20.117	-18.1	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.1
14	20.05.2016	12:51:52.116	-18.0	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.0
15	20.05.2016	12:52:24.121	-18.0	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.0
16	20.05.2016	12:52:56.102	-18.0	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.0
17	20.05.2016	12:53:28.101	-18.2	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.2
18	20.05.2016	12:54:00.084	-18.4	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.4
19	20.05.2016	12:54:32.083	-18.6	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.6
20	20.05.2016	12:55:04.243	-18.8	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.8
21	20.05.2016	12:55:36.240	-18.9	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.9
22	20.05.2016	12:56:08.221	-19.1	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-19.1
23	20.05.2016	12:56:40.221	-19.2	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-19.2
24	20.05.2016	12:57:12.205	-19.3	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-19.3
25	20.05.2016	12:57:44.202	-19.3	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-19.3
26	20.05.2016	12:58:16.184	-19.2	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-19.2
27	20.05.2016	12:58:48.182	-19.0	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-19.0
28	20.05.2016	12:59:20.169	-18.8	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	-18.8

Рисунок 3.10 – Протокол после обработки

Для создания данных используемых при построении графика изменения температуры в процессе замораживания необходимо выбрать из текстовой строки протокола значения времени и температуры. Делается это с помощью функции ПСТР. Функция ПСТР предназначена для того, чтобы отражать заданное число знаков из текстовой строки с указанной позиции. Синтаксис функции выглядит следующим образом: ПСТР (текст; начальная позиция; число знаков). Выборка времени с помощью функции ПСТР приведена на рисунке 3.11.

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	К	Л
1												
2												
3												
4												
5												
6											Время	Температура, град.
7	20.05.2016	12:42:15.093	-15.139	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	:6.3						=ПСТР(A7;12;8)	
8	20.05.2016	12:42:19.103	-19.150	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	:6.2						1 ПСТР(текст; начальная_позиция; количество_знаков)	
9	20.05.2016	12:44:05.132	-05.179	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	:-15.5						12:44:05	
10	20.05.2016	12:44:07.117	-07.167	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	:-15.6						12:44:07	
11	20.05.2016	12:44:09.183	-09.230	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	:-15.8						12:44:09	
12	20.05.2016	12:44:56.172	-56.219	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	:-17.5						12:44:56	
13	20.05.2016	12:45:28.129	-28.176	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	:-18.0						12:45:28	
14	20.05.2016	12:46:00.125	-00.172	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	:-18.4						12:46:00	
15	20.05.2016	12:46:32.108	-32.155	Опрашивается канал под номером 8 (Вход №8)	:-18.8						12:46:32	

Рисунок 3.11 – Выборка времени с помощью функции ПСТР

Таким же образом выбираем значение температуры. Вычисляем интервал времени с помощью формулы $(K7-\$K\$7)*24*60$ (рисунок 3.12).

	Г	Н	И	Ж	К	Л	М	Н	О
4									
5									
6					Время	Температура, град.		Время, мин.	Температура, град.
7	лером 8 (Вход №8)	:6.3			12:42:15	6.3		=(K7-\$K\$7)*24*60	
8	лером 8 (Вход №8)	:6.2			12:42:19	6.2		0,07	
9	лером 8 (Вход №8)	:-15.5			12:44:05	-15.5		1,83	
10	лером 8 (Вход №8)	:-15.6			12:44:07	-15.6		1,87	
11	лером 8 (Вход №8)	:-15.8			12:44:09	-15.8		1,90	
12	лером 8 (Вход №8)	:-17.5			12:44:56	-17.5		2,68	
13	лером 8 (Вход №8)	:-18.0			12:45:28	-18.0		3,22	
14	лером 8 (Вход №8)	:-18.4			12:46:00	-18.4		3,75	
15	лером 8 (Вход №8)	:-18.8			12:46:32	-18.8		4,28	
16	лером 8 (Вход №8)	:-18.9			12:47:04	-18.9		4,82	
17	лером 8 (Вход №8)	:-19.2			12:47:36	-19.2		5,35	
18	лером 8 (Вход №8)	:-19.0			12:48:08	-19.0		5,88	
19	лером 8 (Вход №8)	:-18.9			12:48:40	-18.9		6,42	
20	лером 8 (Вход №8)	:-18.7			12:49:12	-18.7		6,95	
21	лером 8 (Вход №8)	:-18.5			12:49:44	-18.5		7,48	
22	лером 8 (Вход №8)	:-18.3			12:50:16	-18.3		8,02	
23	лером 8 (Вход №8)	:-18.2			12:50:48	-18.2		8,55	
24	лером 8 (Вход №8)	:-18.1			12:51:20	-18.1		9,08	
25	лером 8 (Вход №8)	:-18.0			12:51:52	-18.0		9,62	
26	лером 8 (Вход №8)	:-18.0			12:52:24	-18.0		10,15	
27	лером 8 (Вход №8)	:-18.0			12:52:56	-18.0		10,68	
28	лером 8 (Вход №8)	:-18.2			12:53:28	-18.2		11,22	

Рисунок 3.12 – Выборка температуры с помощью функции ПСТР

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Далее меняем точку на запятую в значении температур. Для этого выделяем ячейки со значениями температур и заходим во вкладку «Редактирование», пользуемся командой «Заменить». Во всплывающем окне в строчке «Найти» указываем «.», в строчке «Заменить на» - «,». Далее нажимаем клавишу «Заменить все» (рисунок 3.13).

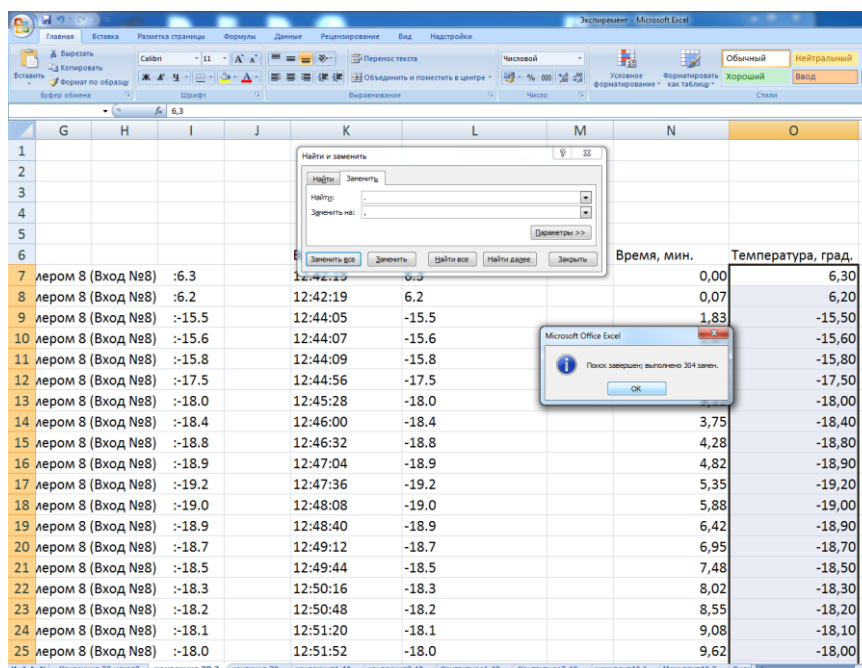


Рисунок 3.13 – Замена точки на запятую

Таким образом, получаем для каждого метода заморозки два столбца, в которых показано, как измеряется температура с течением времени. Выделяя значения в указанных столбцах, строим графики изменения температуры в ходе замораживания.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ АНАЛИЗ

Замораживание производилось в двух температурных режимах (-30 и -40 °С) и длилось до тех пор, пока температура в продукте не достигала -22 °С. В ходе проведения экспериментов были получены следующие результаты. На рисунке 4.1 изображен график изменения температуры в потоке восходящего воздуха, на рисунке 4.2 показан график изменения температуры при замораживании на металлической плите.

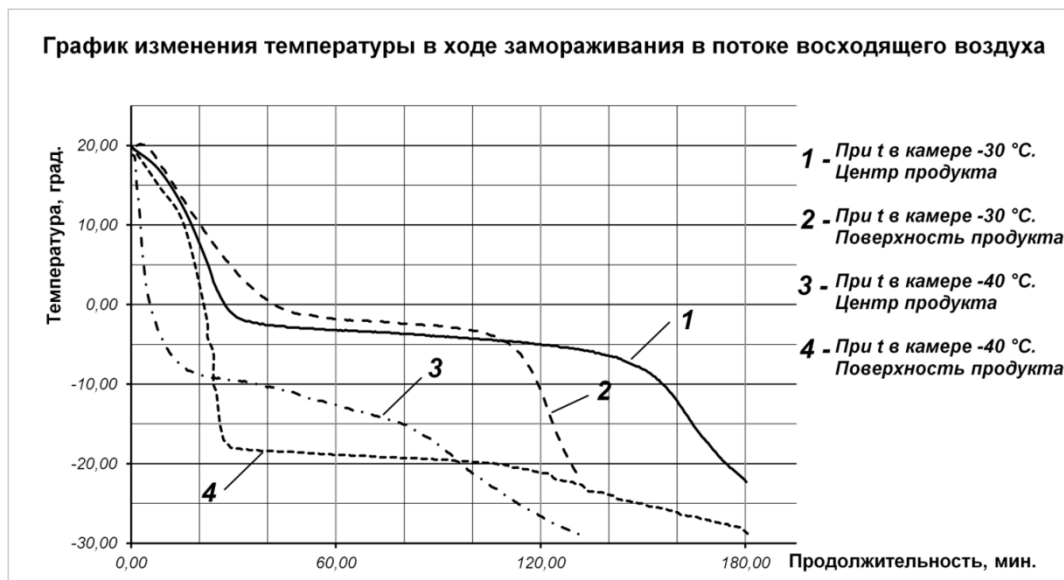


Рисунок 4.1 – График изменения температуры в ходе замораживания в потоке восходящего воздуха



Рисунок 4.2 – График изменения температуры в ходе замораживания на металлической плите

Замораживание в потоке восходящего воздуха наиболее длительное: при -40°C продолжительность составила 131 мин., при -30°C – 179 мин. Замораживание продукта на металлической плите самое быстрое: при -40°C продолжительность составила 108 мин., а при -30°C – 163 мин. Изменение температуры при замораживании продукта между двумя металлическими плитами показано на рисунке 4.3.

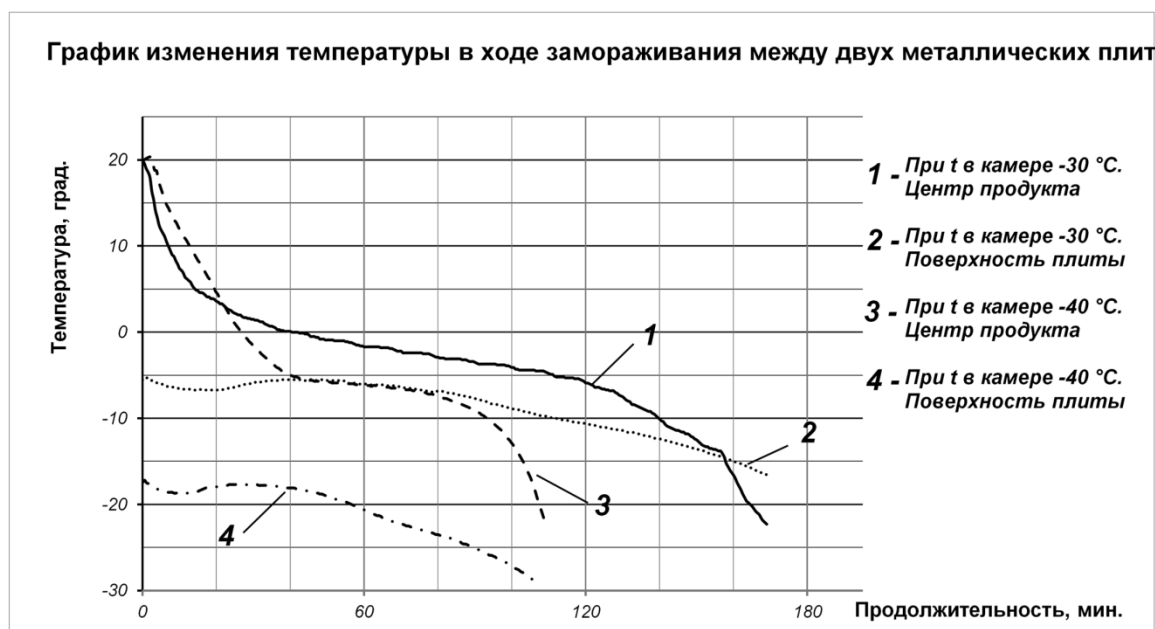


Рисунок 4.3 – График изменения температуры в ходе замораживания между двумя металлическими плитами

Время замораживания между двумя металлическими плитами почти не отличается от замораживания на одной плите, и продолжительность составляет при -40°C 109 мин., при -30°C 165 мин. При замораживании продукта на металлической плите и между двух плит произошло примерзание пакета к их поверхности, при отделении пакета его поверхность была повреждена, нарушилась целостность упаковки.

Конвекционное подмораживание на металлической решетке с последующим домораживанием продукта на металлической плите, необходимо при наличие влаги на упаковке продукта для предотвращения примерзания пакета к поверхности плиты. Продукт подмораживают конвекционным способом до тех пор, пока влага на поверхности продукта не замерзнет, далее продукт перемещается на металлическую плиту для домораживания.

Время замораживания в ходе конвекционного подмораживания и домораживания на металлической плите составило при -40°C 117 мин., а при -30°C 166 мин.

Изменение температуры в ходе конвекционного подмораживания и домораживания на металлической плите показано на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – График изменения температуры в ходе конвекционного подмораживания и домораживания на металлической плите

Итоговое время всех способов замораживания приведено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Итоговое время замораживания

Способ	Время (мин.)
при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$	
в потоке воздуха	131
на металлической плите	108
между двумя плитами	109
смешанное замораживание	117
при температуре $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$	
В потоке воздуха	179
На металлической плите	163
Между двумя плитами	165
Смешанное замораживание	166

Можно сделать вывод, что целесообразно использовать метод конвекционного подмораживания с последующим домораживанием на металлической плите для плодовоовощной смеси «Гарнир с тыквой» при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Замораживание в потоке восходящего воздуха не обеспечивает быстроту процесса, при замораживании на плите и между двух плит приводит к промерзанию пакета к поверхности и повреждению его в процессе отделения по окончании заморозки.

Рассчитаем продолжительность замораживания смешанным способом с учетом того, что продукт находится на плите. Соответственно, его нижний слой будет заморожен за счет отдачи тепла металлической плите, верхний слой за счет вертикального потока холодного воздуха (как в туннеле) со скоростью около 1,5 м/с. Рассчитаем толщины этих двух слоев и время необходимое для их замораживания.

Примем, что замораживается неограниченное тело с плоской поверхностью. Спустя некоторое время от момента начала замораживания граница раздела между замерзшей и незамерзшей частями тела продвинулось на расстояние l вглубь поверхности тела, т.е. замерз слой толщиной l .

За время $d\tau$ граница раздела продвигается вглубь тела на расстояние dl . Функция $\tau(l)$ будет определяться по дифференциальному уравнению:

$$d\tau = \frac{q\rho}{t_{кр}-t_{хл}} \left(\frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right) dl, \quad (4.1)$$

- где q – теплота, выделяемая единицей массы тела при замораживании, кДж/кг;
 ρ – плотность тела, кг/м³;
 $t_{кр}$ – криоскопическая температура, °С;
 $t_{хл}$ – температура хладоносителя, °С;
 λ – теплопроводность, Вт/м·К;
 α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К) [7].

Расчет толщины замороженной части продукта будем вести по следующему алгоритму:

1. Примем, что в начале замораживания $\tau=0$; $l=0$; $d\tau=10$ с.
2. Толщина замороженного слоя за $d\tau=10$ с определим по формуле:

$$dl = \frac{d\tau}{\frac{q\rho}{t_{кр}-t_{хл}} \left(\frac{1}{\alpha} \right)}, \quad (4.2)$$

3. Тогда $l_1 = dl$, последующее приращение dl определим по формуле:

$$dl = \frac{d\tau}{\frac{q\rho}{t_{кр}-t_{хл}} \left(\frac{l_1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} \right)}, \quad (4.3)$$

4. Далее $l_2 = l_1 + dl$. Аналогично продолжаем расчет толщины замороженного продукта: нижнего слоя $l_{конт.}$ с учетом контактного замораживания, верхнего $l_{конвекц.}$ – конвекционного замораживания.

5. Расчет останавливаем в тот момент, когда продукт полностью замерзнет, т.е. суммарная толщина замороженных слоев продукта достигнет 25 мм.

$$l_{общ} = l_{конт.} + l_{конвекц.}, \quad (4.4)$$

При этом теплота q , выделяемая телом при замораживании, определялась, как разность энтальпий свежей смеси «Гарнир с тыквой» и замороженной смеси, и составила 327,9 кДж/кг. Средняя плотность смеси составила 897 кг/м³, криоскопическая температура смеси с учетом массовой доли каждого из компонентов равна -1,17 °С. Температура хладоносителя $t_{хл}$ равна температуре воздуха в камере и составила -40 °С. Теплопроводность смеси принимаем равной 1,97 Вт/м·К.

Коэффициенты теплоотдачи для конвекционного и контактного замораживания будут различны и составят 8 и 30 Вт/(м²·К) соответственно.

По результатам расчетов был построен график продолжительности замораживания, представленный на рисунке 4.5.

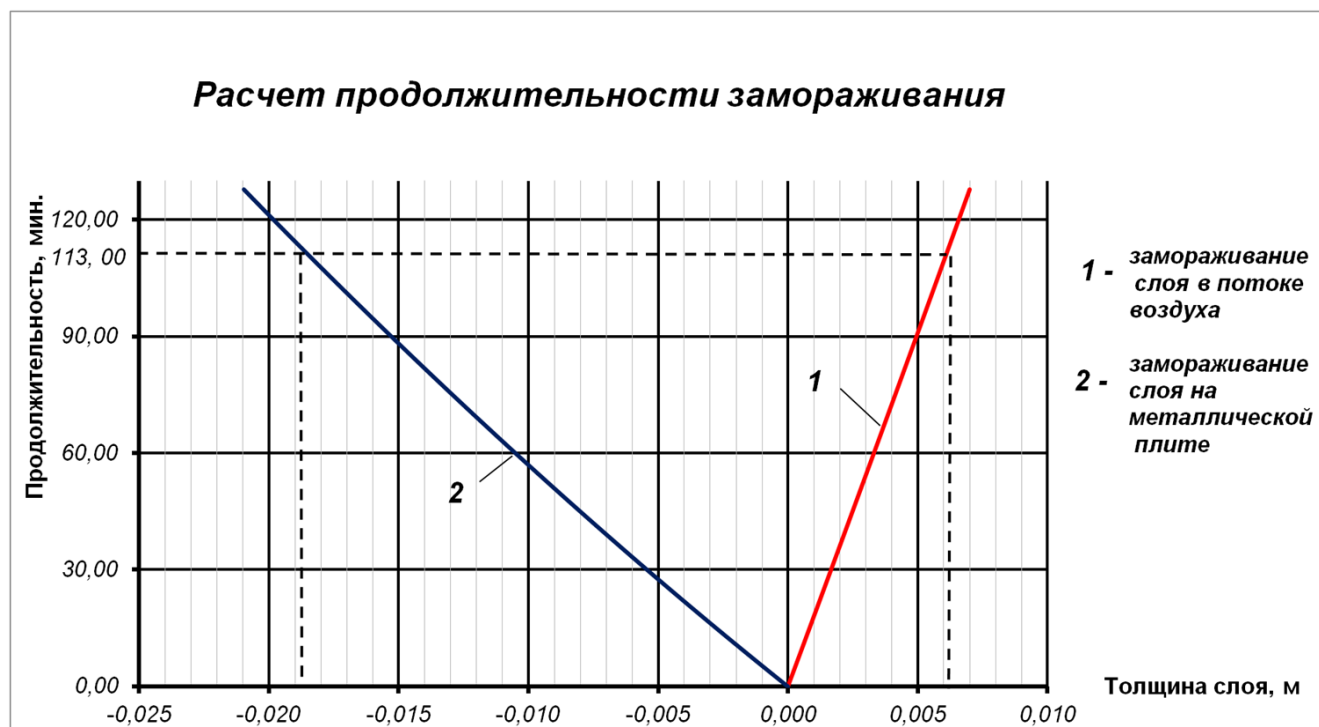


Рисунок 4.5 – График продолжительности замораживания

Продолжительность замораживания, полученная расчетным методом, составила 113 мин., что соответствует экспериментальным данным. При этом толщина слоя, замерзшего в результате нахождения в потоке холодного воздуха, составила 0,006 м. Толщина слоя, замерзшего в результате нахождения на металлической плите, равна 0,019 м.

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛОДООВОЩНОЙ СМЕСИ

Теплофизические свойства определялись для компонентов плодовоовощной смеси «Гарнир с тыквой» с использованием математической модели, разработанной на основе физической модели процесса замораживания плодов и ягод. В качестве физической модели замораживания используется процесс кристаллизации влаги в растворе глюкозы, сахарозы, фруктозы в воде. Эктетическая температура замораживания водного раствора глюкозы составляет - 5,3 °С, водного раствора сахарозы - 8,5 °С, водного раствора фруктозы - 21 °С. Математическая модель позволяет рассчитать долю замерзшей влаги, энтальпию, удельную теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, плотность плодов в свежем, замороженном состоянии, а также изменение этих показателей в процессе замораживания в зависимости от температуры плодов и овощей. Исходными данными для расчета перечисленных теплофизических параметров являются данные соотношения основных компонентов плодов и овощей, а именно массовые доли влаги, сахаров, фруктозы, сахарозы, глюкозы и крахмала [12, 13, 14]. Данные для расчета приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Данные для расчета

Данные	картофель	морковь	лук репчатый	перец	укроп	тыква	чеснок
Плотность, кг/м ³	1100	1040	970	800	670	930	850
Массовая доля влаги	0,8	0,88	0,86	0,92	0,85	0,91	0,77
Массовая доля сахаров	0,045	0,08	0,094	0,008	0,075	0,066	0,16
Массовая доля фруктозы	0,002	0,015	0,013	0,0025	0,007	0,0009	0,0003
Массовая доля сахарозы	0,007	0,025	0,066	0,0001	0,004	0,0008	0,025
Массовая доля глюкозы	0,001	0,015	0,014	0,0017	0,015	0,001	0,0008
Массовая доля крахмала	0,16	0,013	0,001	0	0,001	0,0007	0,09
Криоскопическая температура, °С	-1,3	-1,3	-1,5	-1,4	-0,8	-0,6	-2,5

Количество льда в компонентах плодовоовощной смеси увеличивается с понижением температуры и определяется по следующей формуле:

$$m_{\text{л}} = m_{\text{вл}} - m_{\text{с}} \cdot \left(\frac{1}{\xi_{\text{p}}(t)} - 1 \right), \quad (5.1)$$

где $m_{\text{л}}(t)$ – массовая доля образовавшегося льда в компонентах плодовоовощной смеси при данной температуре;
 $m_{\text{с}}$ – массовая доля сахаров в компонентах смеси;
 $m_{\text{вл}}$ – массовая доля влаги в овощах;

Скорость кристаллизации воды зависит от температуры вымерзания, чем она ниже, тем больше скорость кристаллизации. При этом число образующихся центров кристаллизации возрастает, и образующаяся микрокристаллическая структура более мелкая. Кристаллики будут распределяться внутри клеток, а также в межклеточном пространстве равномерно, при этом кристаллики льда сначала будут образовываться в межклеточном пространстве.

Массовая доля фруктозы в растворе определялась по уравнению регрессии в зависимости от температуры:

$$\xi_{\text{p}} = -0,196 - 7,771 \cdot t_{\text{кр}} - 0,374 \cdot t_{\text{кр}}^2 - 7,459 \cdot 10^{-3} \cdot t_{\text{кр}}^3, \quad (5.2)$$

где $t_{\text{кр}}$ – криоскопическая температура.

При определении доли замерзшей влаги, в формулу (5.1) в диапазоне температур начиная от криоскопической до температуры минус 5,3°С вместо $m_{\text{с}}$ подставляли массовую долю всех сахаров, входящих в состав компонента смеси. Массовую долю фруктозы и сахарозы использовали в диапазоне температур от минус 5,3 до минус 8,5°С. Массовую долю фруктозы подставляли в диапазоне для температур от минус 8,5 до минус 21°С. Изменение доли замерзшей влаги в компонентах плодовоовощной смеси представлены на рисунке 5.1.

Средние значения теплофизических характеристик для смеси «Гарнир с тыквой» определяли с учетом доли каждого компонента в готовой смеси, соотношения компонентов определено рецептурой.

Удельную теплоемкость c овощей, входящих в состав смеси, находили по правилу аддитивности:

$$c = \sum_{k=1}^n (c_k \chi_k), \quad (5.3)$$

где c_k – теплоемкость компонента
 (теплоемкость воды 4,19 кДж/(кг·К),
 сахаров 1,315 кДж/(кг·К),
 льда 2,3 кДж/(кг·К),

прочих компонентов принимали $1,214 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$);
 χ_k – массовая доля компонента.

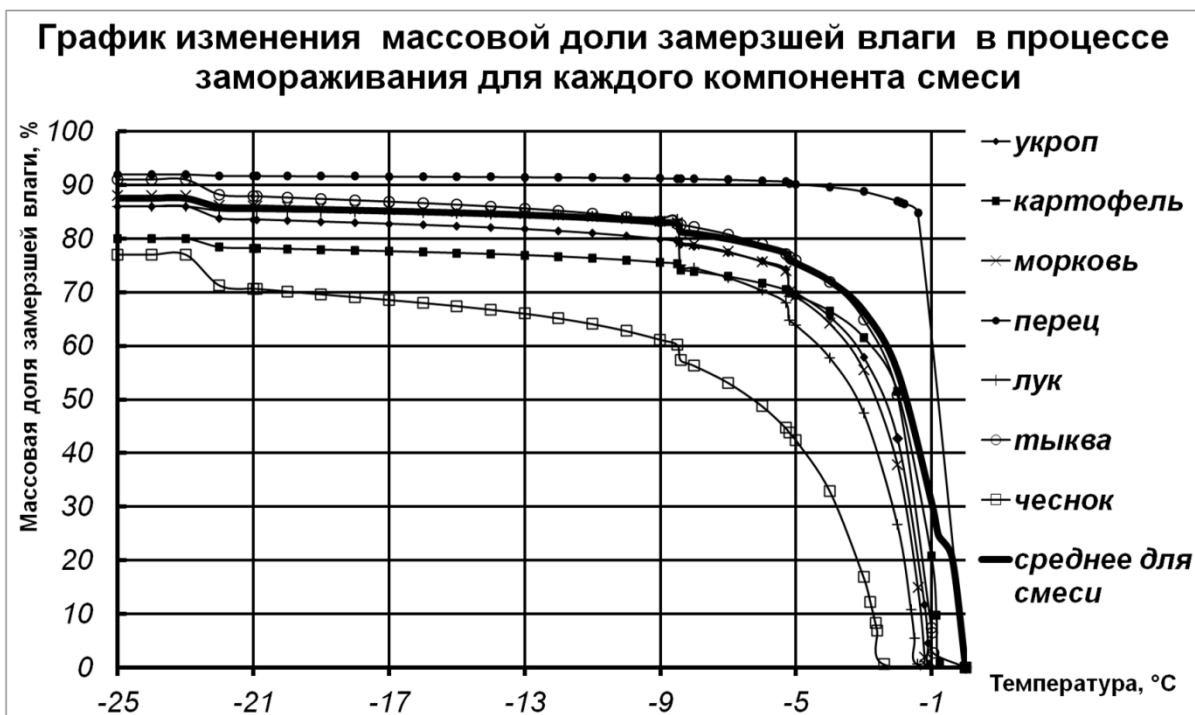


Рисунок 5.1 – Изменение доли замерзшей влаги в компонентах смеси

Изменение удельной теплоемкости в компонентах плодовоовощной смеси представлены на рисунке 5.2.

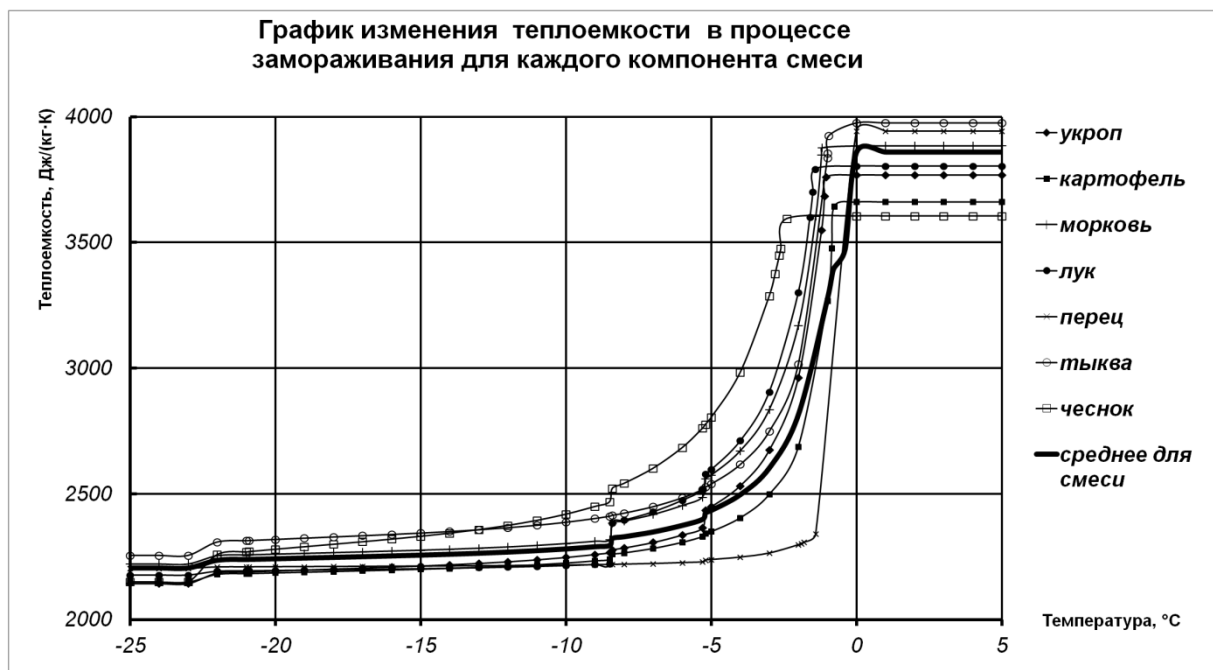


Рисунок 5.2 – Изменение удельной теплоемкости в компонентах смеси

Приращение энтальпий Δi рассчитывали по приведенной зависимости, при этом за нулевое значение энтальпии приняли теплосодержание плодов и овощей, соответствующее температуре минус 40° С:

$$\Delta i = c\Delta t + r \cdot \Delta\chi_{\text{л}}, \quad (5.4)$$

где Δt – изменение температуры в процессе замораживания;
 $r = 334$ кДж/кг – удельная теплота плавления водного льда;
 $\Delta\chi_{\text{л}}$ – массовая доля расплавившегося льда в диапазоне температура Δt .

Метод аддитивности достоверен для пищевых продуктов, т.к. они являются изотропными. Коэффициенты теплопроводности составных компонентов представляют собой величины одного порядка (кроме газов). При расчете теплопроводность сахаров принимали 0,582 Вт/(м · К), воды – 0,597 Вт/(м · К), льда – 2,24 Вт/(м · К), крахмала – 0,115 Вт/(м · К).

Изменение энтальпии в компонентах плодовоовощной смеси представлены на рисунке 5.3.

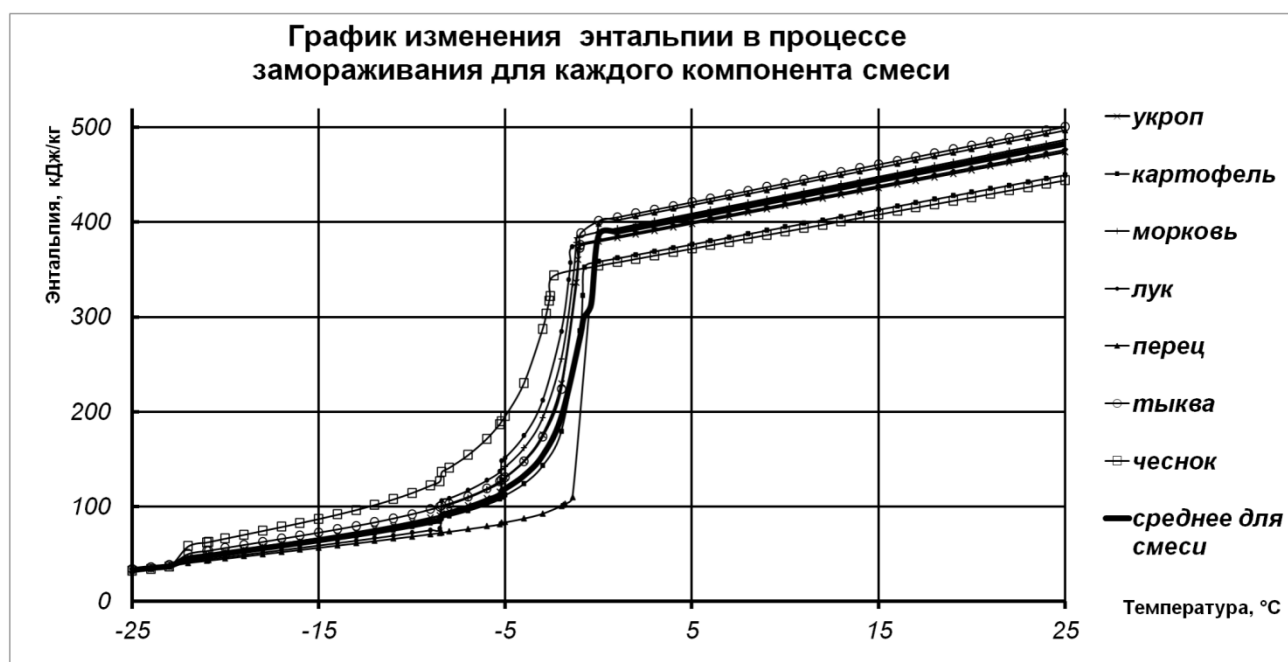


Рисунок 5.3 – Изменение энтальпии в компонентах смеси

Изменение теплопроводности в компонентах плодовоовощной смеси представлены на рисунке 5.4.

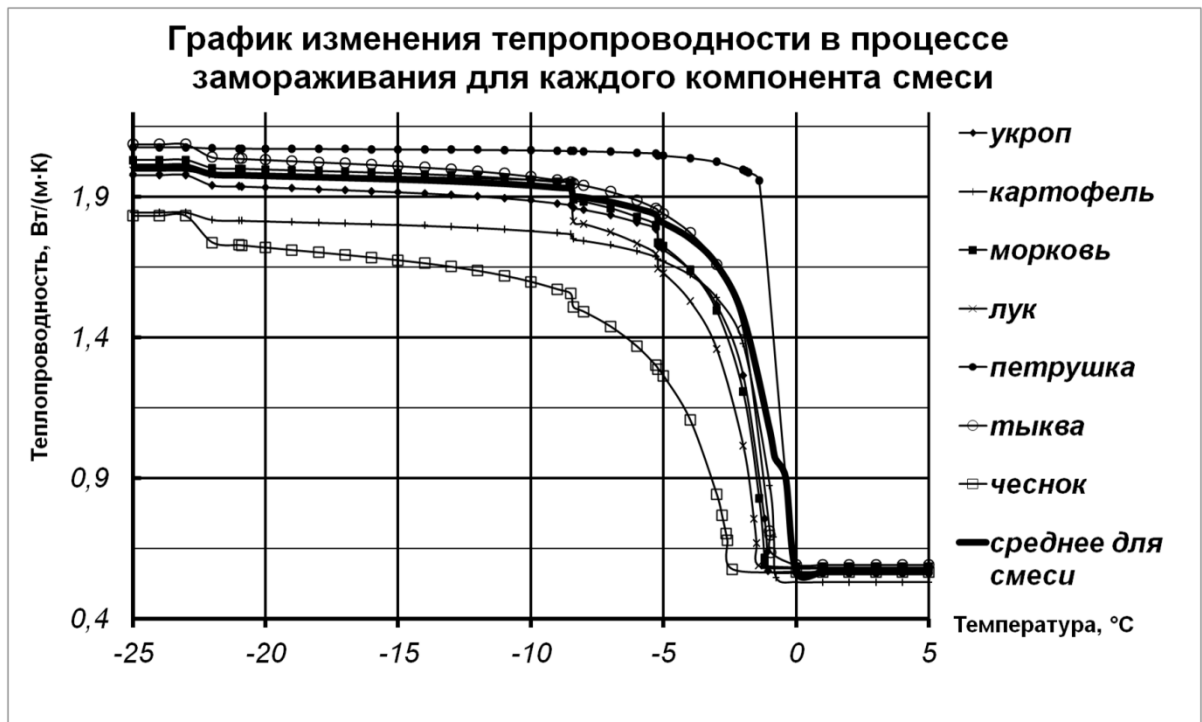


Рисунок 5.4 – Изменение теплопроводности в компонентах смеси

Расчетную физическую плотность овощей и плодов, входящих в состав смеси, находили следующим образом:

$$\rho = \sum_{k=1}^n \chi_k / \sum_{k=1}^n \frac{\chi_k}{\rho_k}, \quad (5.5)$$

где χ_k – массовая доля компонента смеси,
 ρ_k – плотность компонента
 (плотность сахаров 1550 кг/м^3 ,
 крахмала 1648 кг/м^3 ,
 льда 9158 кг/м^3 ,
 воды 1000 кг/м^3).

Изменение плотности в компонентах плодовоовощной смеси представлены на рисунке 5.5.

Температуропроводность свежей смеси «Гарнир с тыквой» составила $1,545 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$. Теплопроводность смеси до замораживания $0,568 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Массовая теплоемкость свежей смеси равна $3858 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Для замороженной смеси «Гарнир с тыквой» найденные значения температуропроводности, теплопроводности и массовой теплоемкости составили соответственно: $10,35 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$; $2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $2204 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Изменение температуропроводности в компонентах плодовоовощной смеси показано на рисунке 5.6.

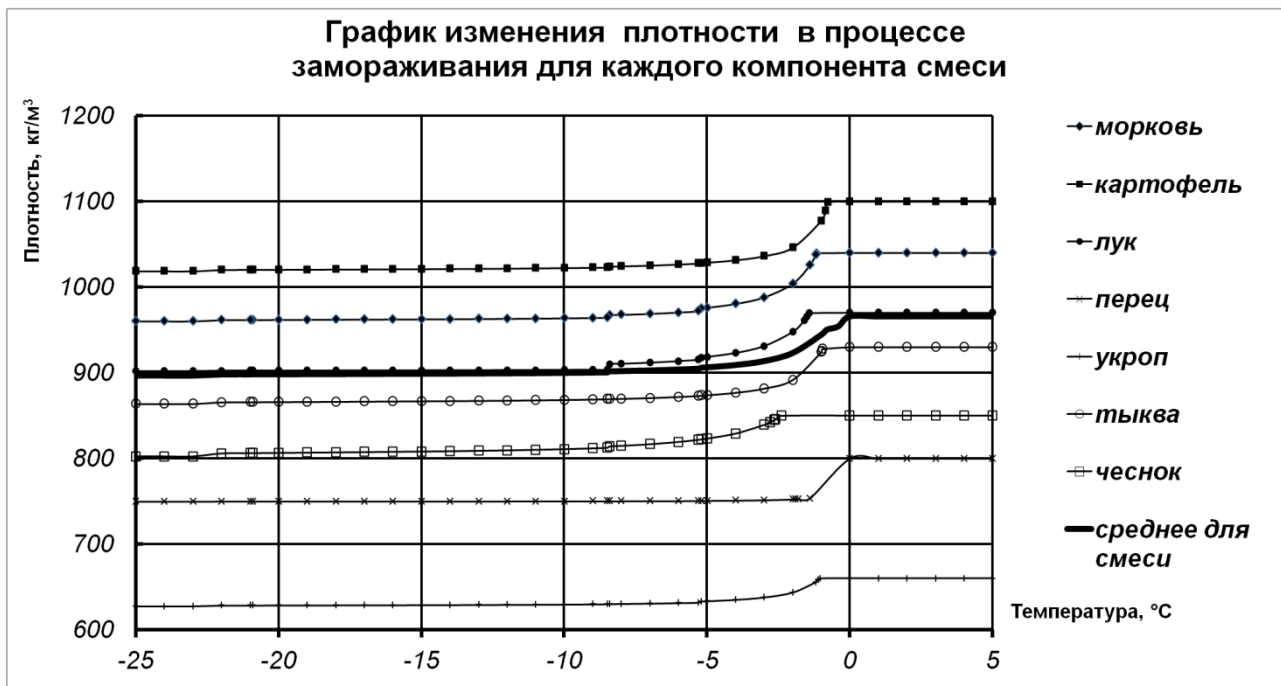


Рисунок 5.5 – Изменение плотности в компонентах смеси

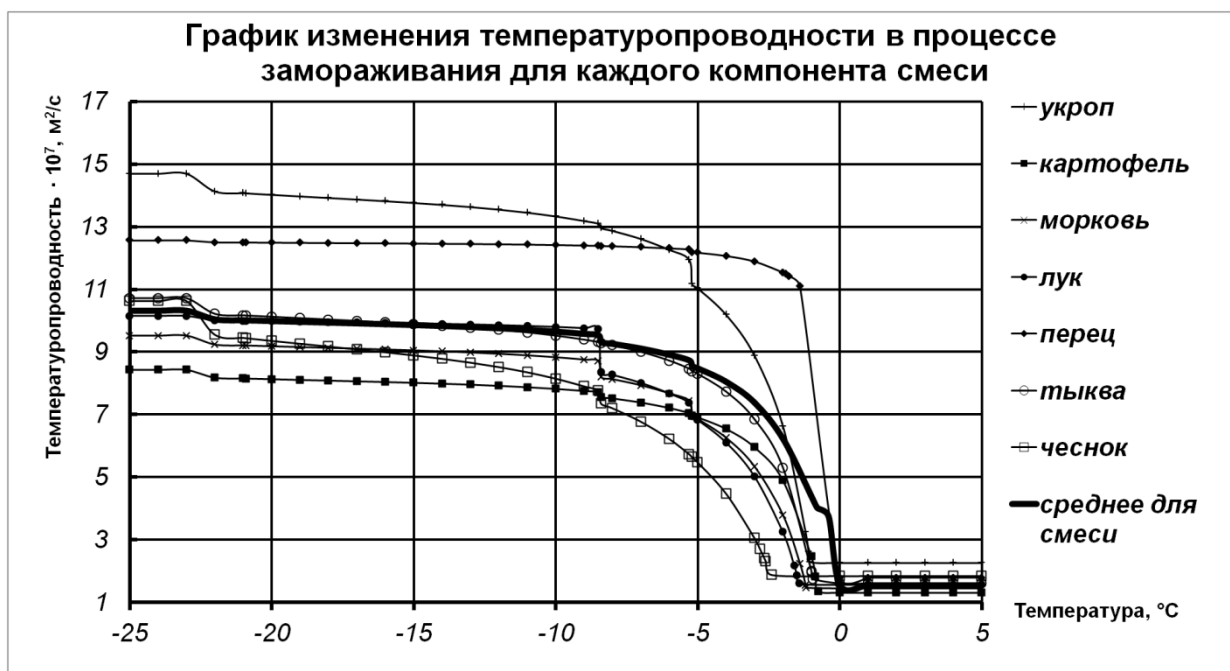


Рисунок 5.6 – Изменение теплопроводности в компонентах смеси

Проанализировав характер полученных кривых, можно сказать, что процесс замораживания плодовоовощной смеси проходит со значительным выделением скрытой теплоты кристаллизации при определенных температурах. К таким температурам следует отнести температуры кристаллизации растворов основных компонентов, содержащихся в них, и криоскопические температуры компонентов смеси. К основным растворимым компонентам относятся сахара, а именно содер-

жащаяся фруктоза, сахароза, глюкоза, а также крахмал. Содержание остальных сахаров, таких как моно-, дисахариды, галактоза, мальтоза, лактоза оказывает незначительное влияние на процесс кристаллизации.

Температура минус 5,3° С соответствует температуре кристаллизацией эвтектического раствора глюкозы, поэтому процесс замораживания должен сопровождаться некоторым всплеском тепловыделения, что соответствует первому скачку кривой на полученных зависимостях. Температура минус 8,5° С является температурой кристаллизацией эвтектического раствора сахарозы, что соответствует второго скачку кривой на графиках (рисунки 5.1 – 5.6). При температуре минус 21° С кристаллизуется эвтектический раствор фруктозы. При указанных температурах происходят наиболее значительные пиковые выделения теплоты кристаллизации, которые сопровождаются изменением характера кривой кристаллизации, что наиболее заметно на полученных графиках (рисунки 5.1, 5.3-5.6).

Проанализировав данные, полученные в ходе расчета массовой доли замерзшей влаги, был сделан вывод о том, что при температуре минус 21 ° С в компонентах смеси «Гарнир с тыквой» остается незамерзшая влага. Полученные значения сведены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 - Изменения массовой доли замерзшей влаги овощной смеси «Гарнир с тыквой»

Компоненты смеси	Массовая доля замерзшей влаги при t, ° С:				
	- 3	- 6	-15	-21	-22
картофель	0,61	0,71	0,77	0,78	0,8
морковь	0,55	0,75	0,85	0,86	0,88
лук репчатый	0,46	0,71	0,85	0,85	0,86
перец	0,88	0,90	0,91	0,915	0,92
зелень (укроп)	0,58	0,76	0,82	0,83	0,86
тыква	0,65	0,78	0,86	0,88	0,91
чеснок	0,16	0,48	0,67	0,71	0,77

В соответствии с проведенным тепловым расчетом, в картофеле при температуре минус 21° С остается незамерзшей 2% влаги (из 80%), в моркови 1,9% незамерзшей влаги (из 88%). Репчатый лук содержит 0,9% незамерзшей влаги (из 86%) при температуре минус 21° С. Для петрушки (92% влаги) при температуре 21° С имеется не замерзшая влага в количестве 0,5%. Для зелени укропа (86% влаги) были получены значения 1,5% незамерзшей влаги. Для чеснока (из 77%) и для тыквы (из 91%) указанное значение составило соответственно 6% и 1,8%. При температуре минус 22 ° С влага, содержащаяся в продуктах, полностью замерзает.

Погрешности определения теплофизических характеристик расчетным способом по сравнению с экспериментальными данными должны составлять не более 6% [12].

Согласно полученным данным, процесс замораживания смеси «Гарнир с тыквой» будет происходить в диапазоне температур от криоскопической до минус 22 °С. Стандартной температурой хранения замороженных полуфабрикатов является температура минус 18 °С, но с учетом полученных данных необходимо отметить, что при указанной температуре в продукте содержится около 1,3 % незамерзшей влаги. При минус 22 °С в продукте остается только химически и физико-химически связанная влага с высокой энергией связи, вся свободная влага заморожена, соответственно, исключено развитие патогенных микроорганизмов. Чтобы продлить срок хранения плодовоовощного полуфабриката «Гарнир с тыквой», необходимо хранить ее при температуре ниже минус 22 °С.

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен обзор литературы по теме исследования, в котором рассматривались свойства плодов и овощей, их теплофизические характеристики, закономерности их изменения в ходе замораживания. Был проведен анализ существующих методов замораживания плодоовощной продукции. Изучены процессы хранения, отепления и размораживания овощных полуфабрикатов.

Подобраны методы замораживания для экспериментальных исследований с учетом того, что продукт сначала упаковывается в термоусадочную пленку, после этого подвергается замораживанию.

Согласно выбранным методам замораживания был изготовлен лабораторный стенд, состоящий из двух туннелей для замораживания в потоке воздуха и для контактного замораживания на металлической плите. Туннели устанавливали в морозильный ларь, для определения и фиксирования температуры в ходе замораживания использовали термодпары, измерительный комплекс, компьютер.

В качестве объекта исследования использовали плодоовощную смесь «Гарнир с тыквой», упакованную в термоусадочный пакет, доза продукта 400 г. Замораживание проводили в двух температурных режимах: -40 и -30 °С. Использовали 4 метода: замораживание в потоке восходящего воздуха, замораживание на металлической плите, замораживание между двух металлических плит, комбинированное замораживание.

Описана подготовка приборов и средств измерения к работе, алгоритм обработки полученных результатов.

Был проведен теоретический расчет продолжительности замораживания, которая составила 113 минут.

Для каждого компонента смеси были рассчитаны изменения теплофизических свойств в процессе замораживания, также были определены средние теплофизические характеристики для всей смеси с учетом рецептуры.

По полученным данным были построены графики изменения температуры в ходе замораживания в центре пакета с продуктом и на поверхности пакета. Были сделаны соответствующие выводы: целесообразно использовать комбинированный метод, сочетающий конвекционное подмораживание в потоке восходящего воздуха и контактное домораживание на металлической плите. Конвекционное замораживание не обеспечивает быстроту процесса, замораживание на плите и между двух плит приводит к примерзанию пакета к поверхности и его повреждению при отделении. Комбинированный метод позволяет избежать примерзания, обеспечивает небольшую продолжительность процесса.

					<i>AK3. 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		67

Список литературы

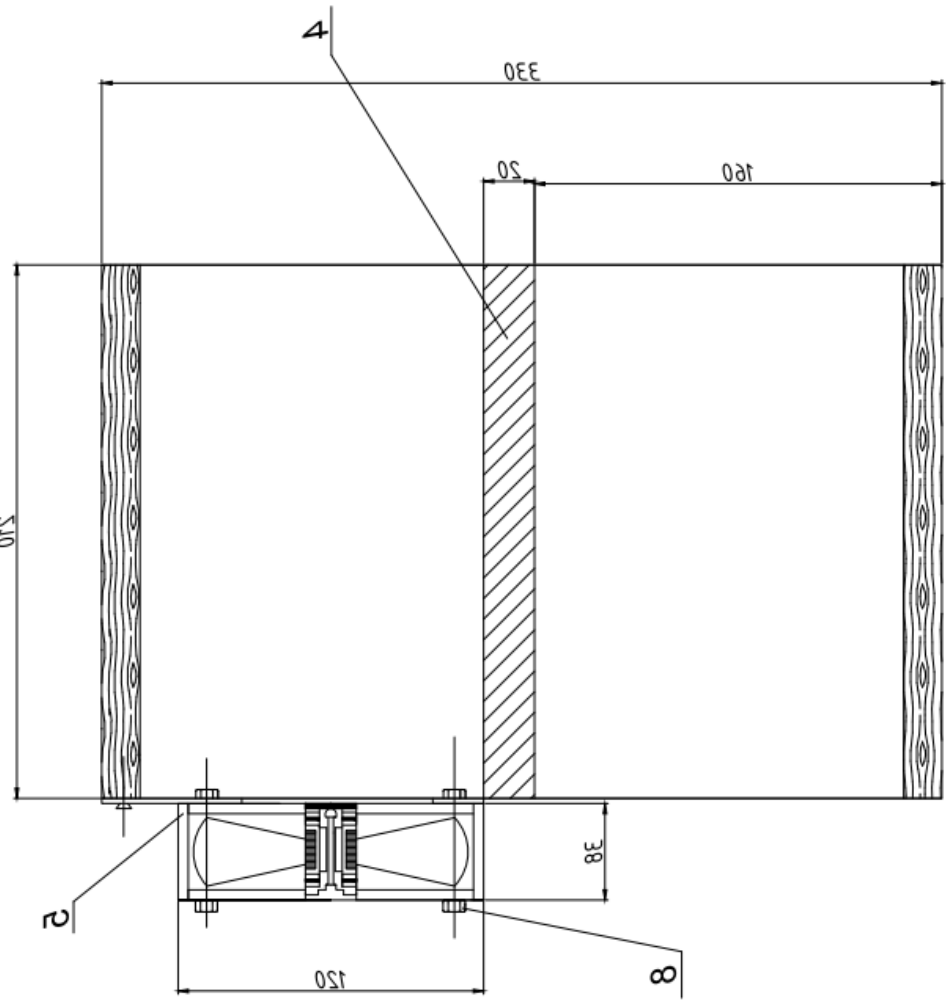
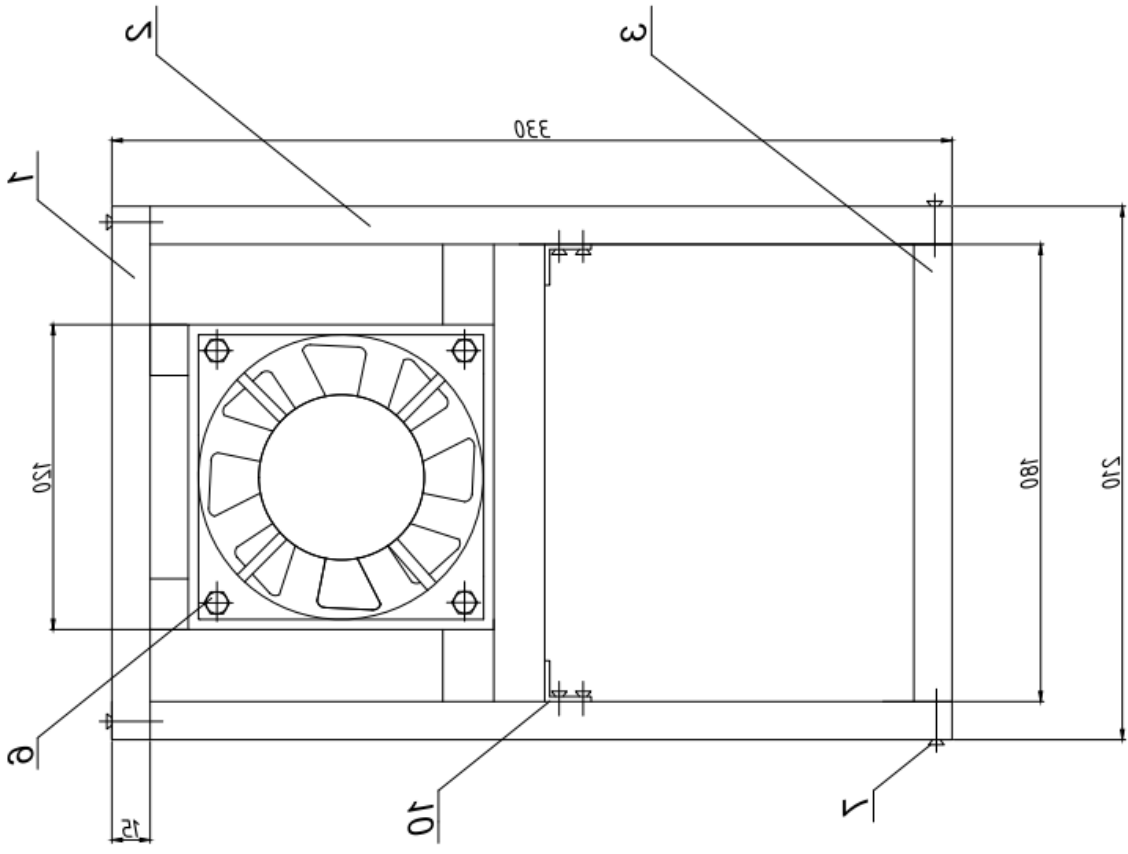
1. Я. Грубы. Производство замороженных продуктов/Пер. с чешск., ред. И предисл. д-ра техн. наук, проф. И. Ф. Бугаенко. – М.: Агропромиздат, 1990 г. – 336с.
2. Холодильная технология пищевых продуктов: Учебник для вузов: В 3 частях / [В. И. Филлипов, М. И. Кременевская, В. Е. Куцакова]. – Часть 2. Технологические основы. – СПб.: ГИОРД, 2008. – 576.
3. Замороженные пищевые продукты: производство и реализация / Дж. А. Эванс (ред.-сост.). – Пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2010. – 440с., ил. табл. – (Серия: Научные основы криологии)
4. Холодильная технология пищевых продуктов : Учебник для вузов: в 3 кн. / Бараненко А. Н. [и др.]. – Часть 1. Теплофизические основы. . – СПб.: ГИОРД, 2007. – 224с.
5. Технология хранения и переработки плодов и овощей. Изд. 2-е, испр. И доп. М., «Колос», 1978. 311 с. С ил. (Учебники и учеб. Пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).
6. Технология консервирования / Э. С. Гореньков, А. Н. Горенькова, Г. Г. Усачева – М.: Агропромиздат, 1987. – 351 с.: ил. (Учебники и учеб. пособия для учащихся техникумов).
7. Консервирование пищевых продуктов холодом (Теплофизические основы) / И. А. Рогов, В. Е. Куцакова, В. И. Филлипов, С. В. Фролов. Издательство «Колос» 1998.
8. Холодильная технология обработки и хранения продовольственных продуктов А. В. Рудский Минск «Высшая школа» 1991 г.
9. Нуждин А. С., Ужанский В. С. / Измерения в холодильной технике: Справочное руководство. – М.: Агропромиздат, 1986. – 368с.
10. Модуль ввода аналоговый измерительный МВА8 / руководство по эксплуатации 90 с.
11. Преобразователь интерфейсов АС - 4 / руководство по эксплуатации 25 с.
12. Короткий, И.А. Исследование и разработка технологий замораживания и низкотемпературного хранения плодоягодного сырья Сибирского региона: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.18.04/Короткий И.А. – Кемерово, 2009. – 42 с.
13. Таблицы химического состава пищевых продуктов. Режим доступа: <http://pharmacognosy.com.ua/index.php/vashe-zdorovoye-pitanije/pochti-vse-oppishchevykh-produktakh>, 22.12.2015 г.
14. Korotkij I.A. Sibirskaja jagoda. Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii nizektemperaturnogo konservirovaniya: monografija [Siberian berry. Physical and chemical bases of technologies of low-temperature conservation]. Kemerovo, 2007. 146 p.

					AK3. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

15. Аверин Г. Д., Журавская Н. К., Каухчешвили Э. И. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов / Под ред. Э. И. Каухчешвили. – М.: Агропромиздат, 1985. – 255 с.
16. Алмаши Э., Эрдели Л., Шарой Т. Быстрое замораживание пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 408 с.
17. Богатырев А. Н., Куцакова В. Е. Консервирование холодом. - Новосибирск: РПО СО РАСХН, 1992. – 162 с.
18. Большаков С. А. Холодильная техника и технология продуктов питания. – М.: Академия, 2003. – 304 с.
19. Бурмакин А. Г. Справочник по производству замороженных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1970. – 464 с.
20. Волкинд И. Л. Промышленная технология хранения картофеля, плодов и овощей. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
21. Головкин Н. А. Холодильная технология пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 240 с.
22. Головкин Н. А., Чижов Г. Б. Холодильная технология пищевых продуктов. – М.: Изд-во торговой литературы, 1963. – 240 с.
23. Джафаров А. Ф. Товароведение плодов и овощей. – М.: Экономика, 1979. – 364 с.
24. Жарова С. Н., Панкова Е. И., Старостенко И. Э. Заготовка и хранение плодов. – Л.: Лениздат, 1987. – 160 с.
25. Загибалов А. Ф., Зверькова А. С., Титова А. А., Флауменбаум Б. Л. Технология консервирования плодов и овощей и контроль качества продукции. – М.: Агропромиздат, 1992. – 352 с.
26. Круглякова Г. В. Заготовки, хранение и переработка дикорастущих ягод и грибов. – М.: Экономика, 1991. – 159 с.
27. Курылев Е. С., Оносовский В. В., Румянцев Ю. Д. Холодильные установки. – СПб.: Политехника, 2002. – 576 с.
28. Манжесов В. И., Попов И. А., Щедрин Д. С. Технология хранения растениводческой продукции. – М.: Колос, 2005. – 392 с.
29. Наместников А. Ф. Консервирование плодов и овощей в колхозах и совхозах. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 239 с.
30. Плотникова Т. В., Поздняковский В. М., Ларина Т. В., Елисеева Л. Г. Экспертиза свежих плодов и овощей. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2001. – 302 с.
31. Постольски Я., Груда З. Замораживание пищевых продуктов / Под ред. Ю. Ф. Заяса. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 608 с.
32. Скрипников Ю. Г. Хранение и переработка овощей, плодов и ягод. – М.: Агропромиздат, 1986. – 208 с.
33. Флауменбаум Б. Л. Основы консервирования пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 272 с.

					АКЗ. 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

000.01.10.ЭМА

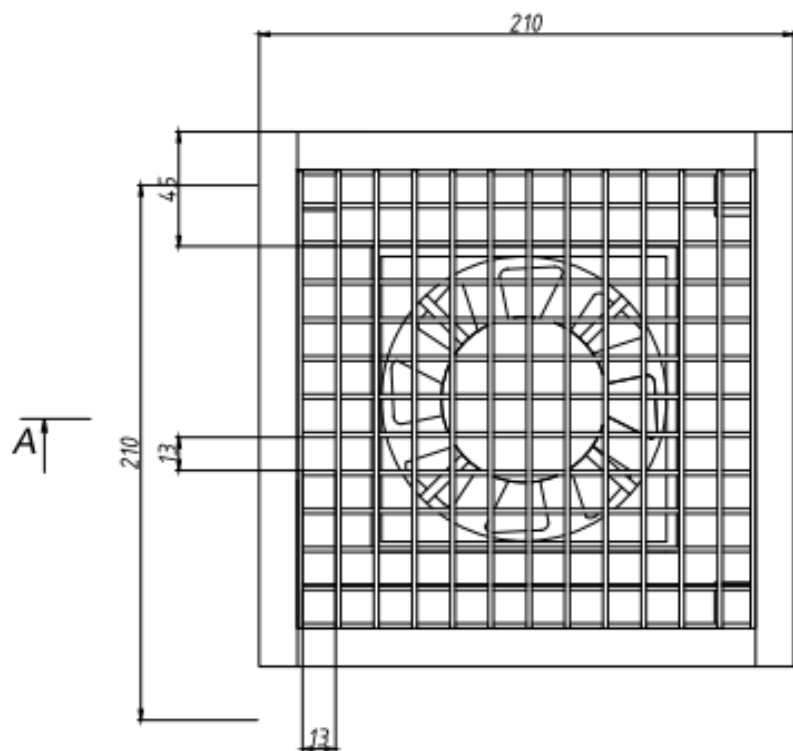
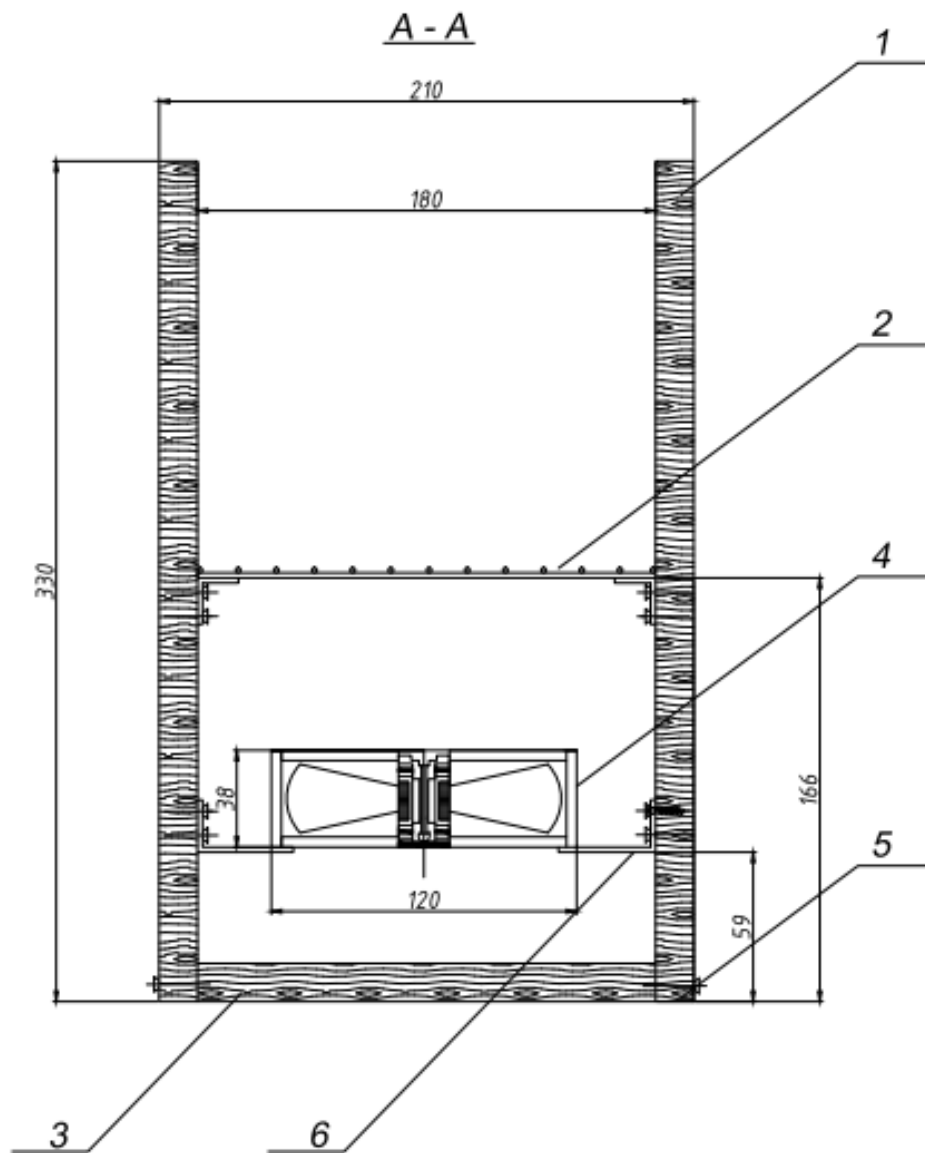


№ п/п	Код	Наименование и обозначение	Кол-во	Примечание
10		Металлоучастковый фрезерок	4	
8		Горшок МЭ ЛОСЛ 2812 - 30	4	
7		Решетка МЭ х 3 х 1 - 12 ЛОСЛ ЦП20 - 80 РЭ	4	
6		Решетка МЭ х 12 ЛОСЛ 2802 - 30	4	
2		Решетка МЭ ЛОСЛ 2802 - 30	4	
4		Металлоучастковая планка	1	
3		Дно	1	
5		Стежка	1	
1		Крышка	1	

Имя	С.С.Т.В.	Имя	С.С.Т.В.
Л.С.С.С.С.	С.С.Т.В.	Л.С.С.С.С.	С.С.Т.В.
С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.
С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.
С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.
С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.
С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.
С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.
С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.
С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.	С.С.Т.В.

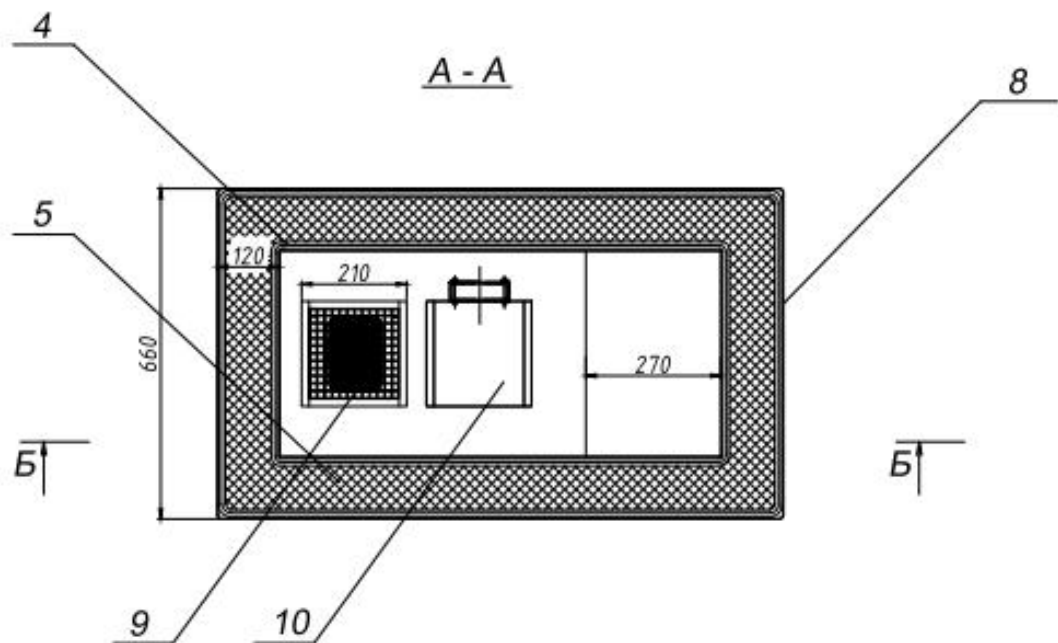
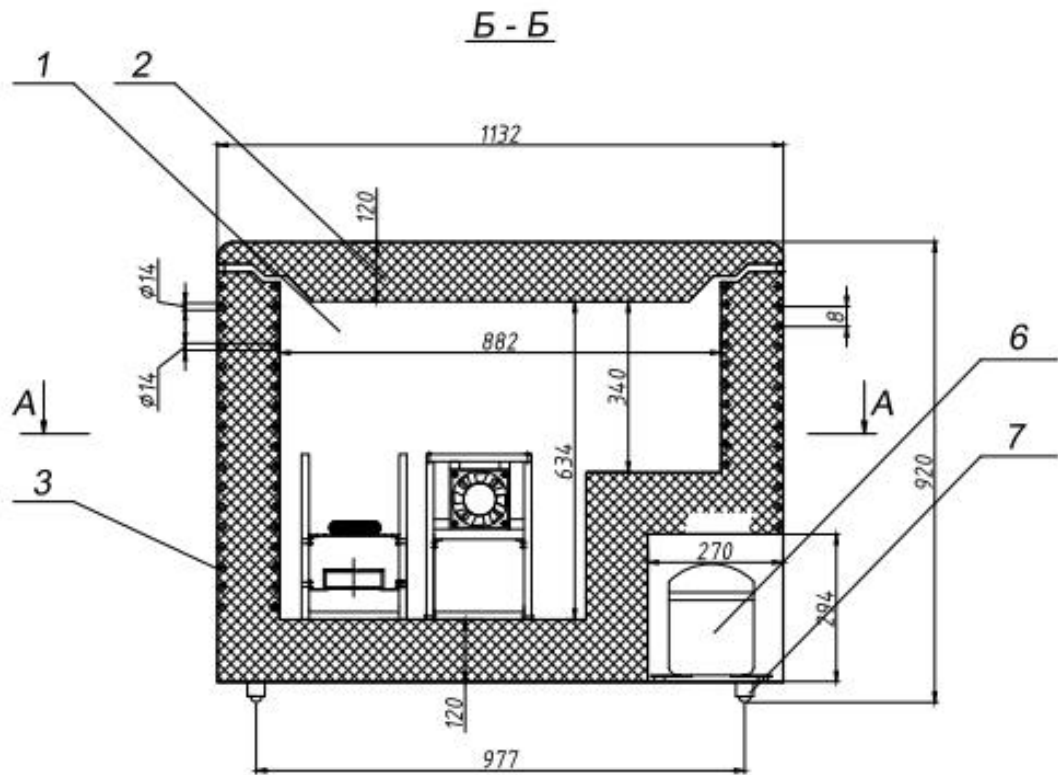
Учредитель: **Учреждение
Министерства
Труда Республики**

Код: 01.10.000
Масштаб: 1:1



Поз.	Наименование и оборудование	Кол-в	Примечание
1	Сленка	2	
2	Металлическая решетка	1	
3	Дно	1	
4	Вентилятор LFT 1238A2S	1	
5	Винт 1-3 х 1-15	20	
6	Металлический уголок	8	

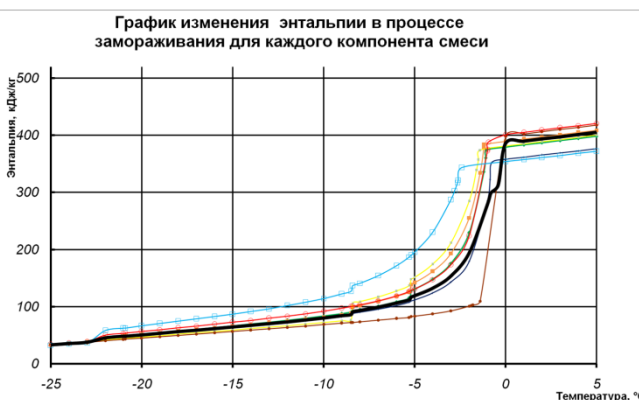
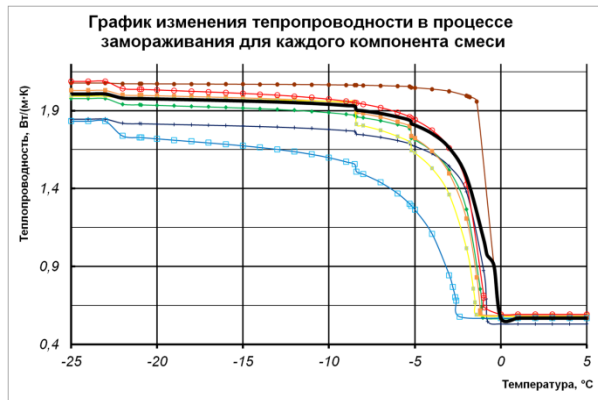
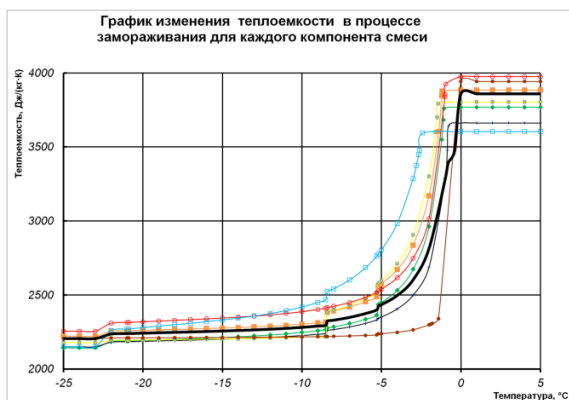
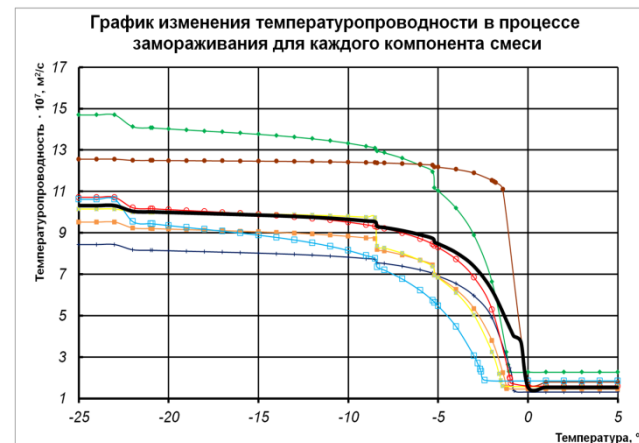
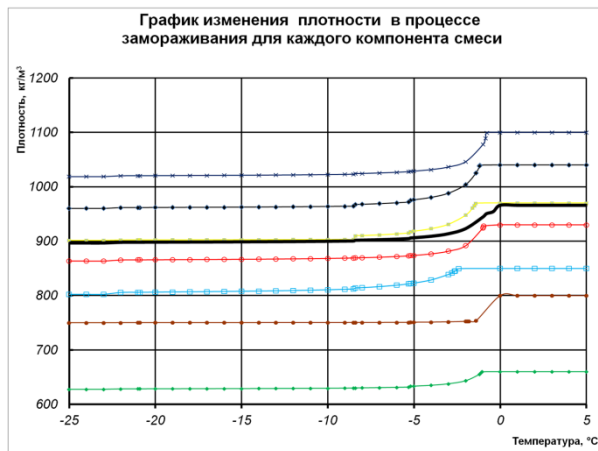
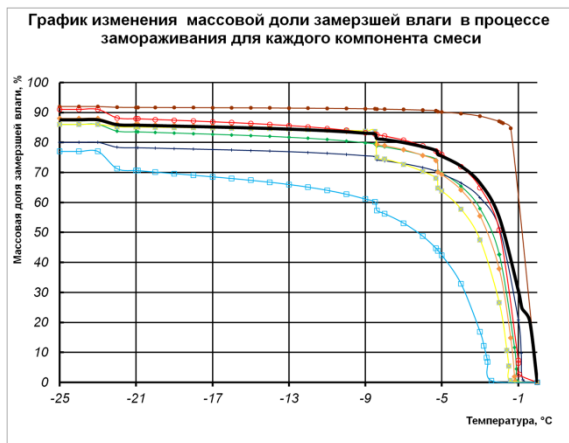
АКЭ. 01. 09. 000			
Исполн.	М. Мельник	Король	Мельник
Провер.	Григорьев В. В.		
Утверд.	Мельник В. В.		
С. проект	Мельник В. В.		
Дата	12.04.18		
Туннель с металлической решеткой			1:1
КанЛипЛ, ХМб-01			



Поз.	Наименование и оборудование	Кол.	Примечание
1	Внутренняя камера	1	
2	Крышка холодильного ларя	1	
3	Конденсатор	1	
4	Испаритель	1	
5	Изоляционный слой	1	
6	Компрессор	1	
7	Колесная опора	4	
8	Корпус	1	
9	Циннель с металлическими пластинами	1	
10	Циннель с металлической решеткой	1	

000 01 00 000			
Холодильный ларь			
Лист	№	Измен.	Дата
1			
			1 / 5
			Конт. №7, ХМУ-01

Изменение теплофизических характеристик плодовоовощной смеси «Гарнир с тыквой» в процессе замораживания



Условные обозначения

◆ укроп

+ картофель

■ морковь

■ лук

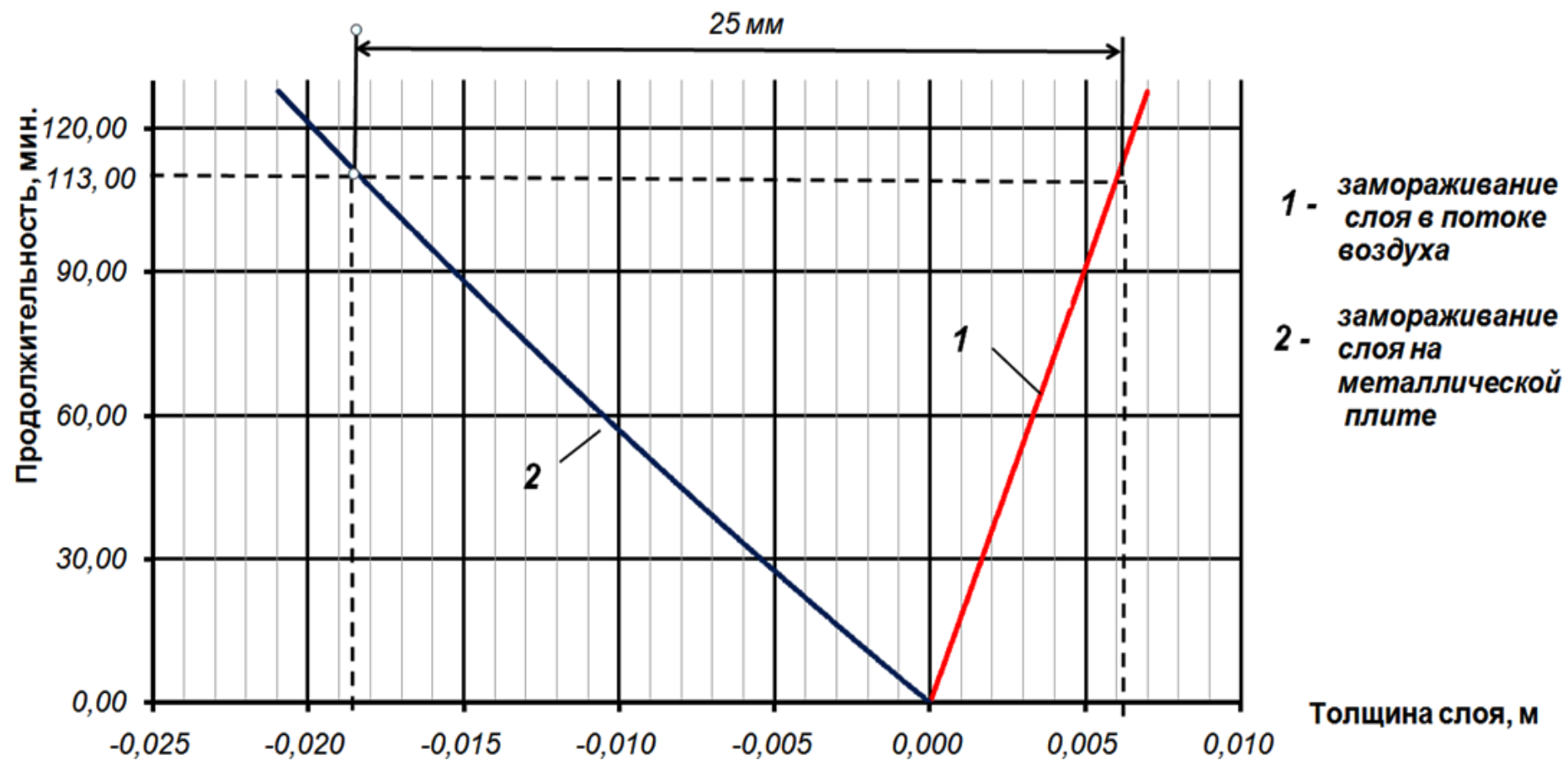
● перец

⊖ тыква

⊖ чеснок

— среднее для смеси

Расчет продолжительности замораживания плодовоовощной смеси «Гарнир с тыквой»



Графики изменения температуры при замораживании плодовоовощной смеси «Гарнир с тыквой» при температуре $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

График изменения температуры в ходе замораживания в потоке восходящего воздуха

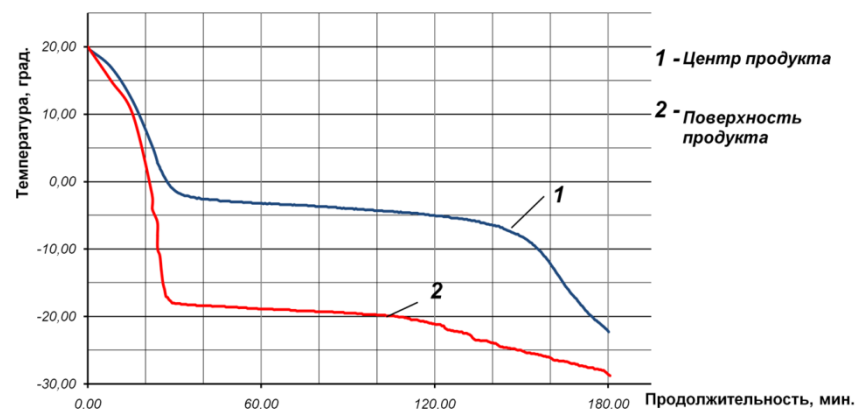


График изменения температуры в ходе замораживания на металлической плите

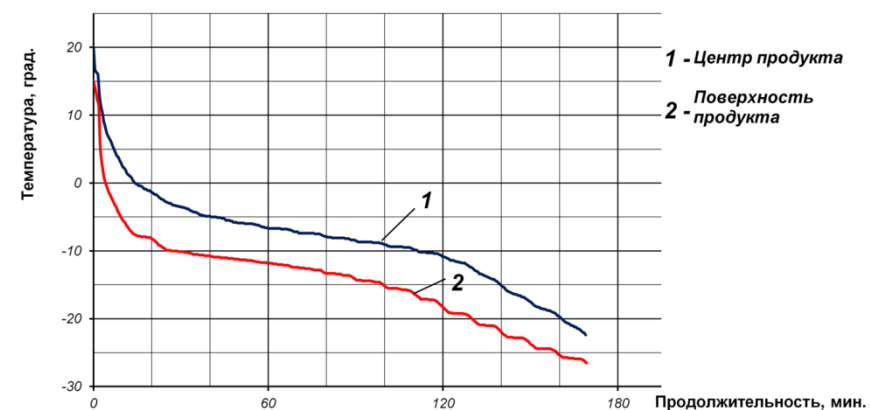


График изменения температуры в ходе замораживания между двух металлических плит

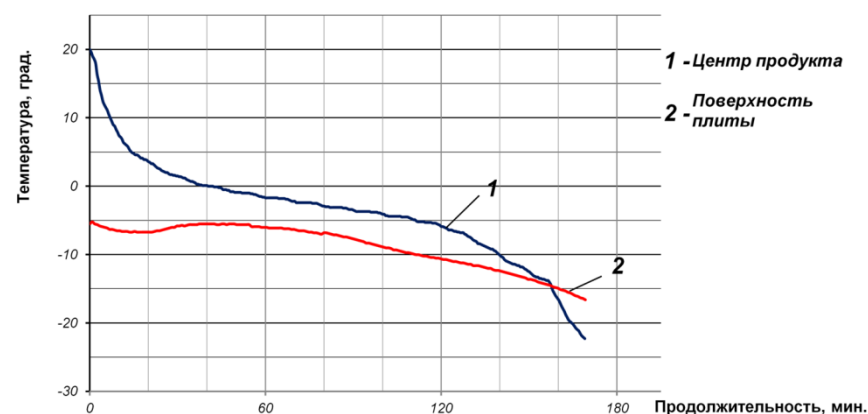
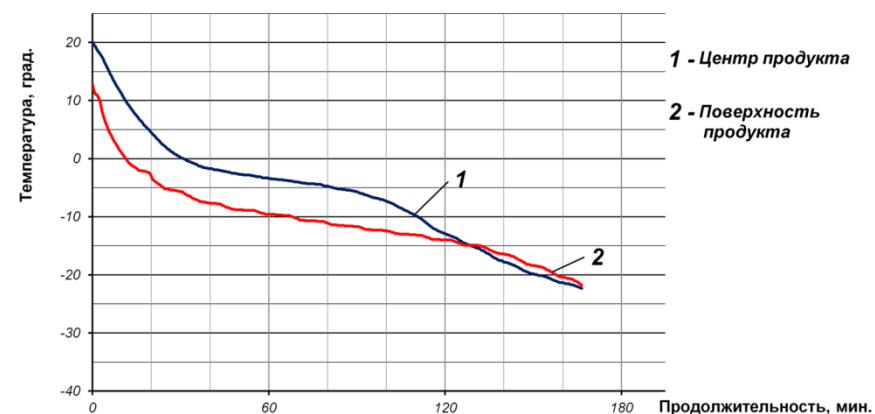


График изменения температуры в ходе конвекционного подмораживания и домораживания на металлической плите



Графики изменения температуры при замораживании плодовоовощной смеси «Гарнир с тыквой» при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

График изменения температуры в ходе замораживания в потоке восходящего воздуха

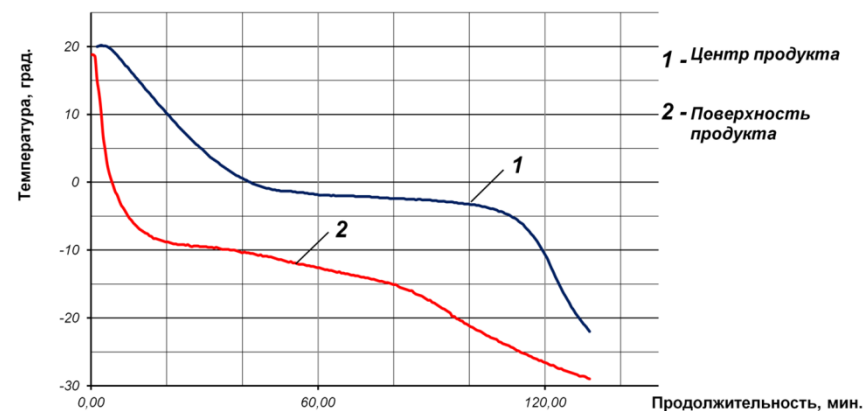


График изменения температуры в ходе замораживания на металлической плите

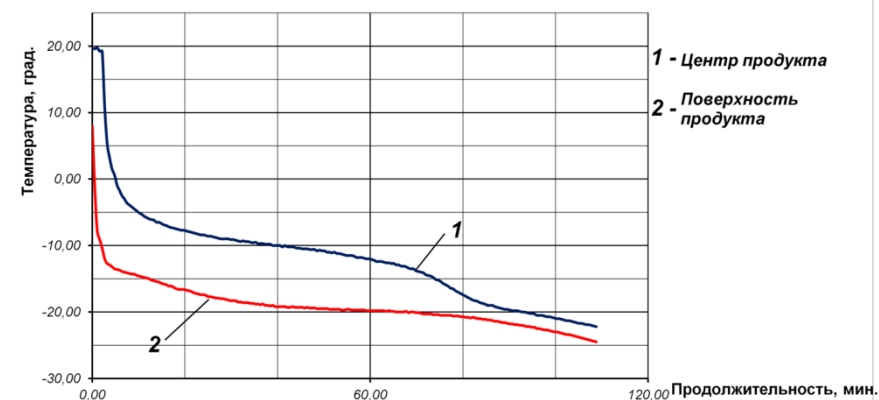


График изменения температуры в ходе замораживания между двух металлических плит

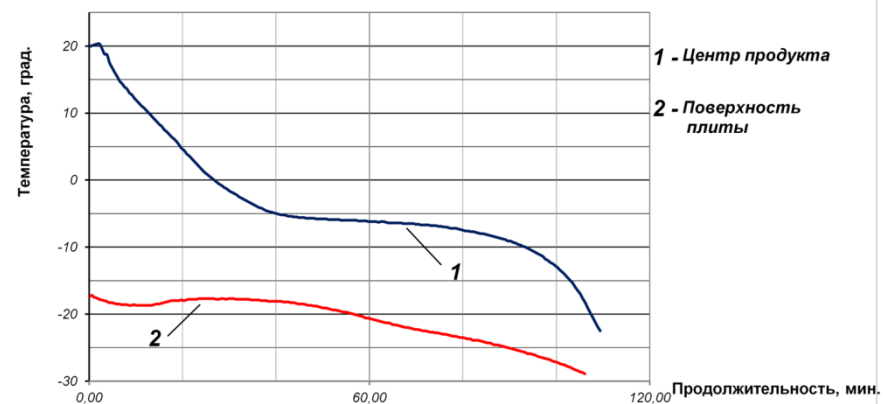


График изменения температуры в ходе конвекционного подмораживания и домораживания на металлической плите

