

АВТОМАТИКА, КОМП'ЮТЕРНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.051:664.3.032.8:637.5.02

Интеграция робототехнического комплекса производства замороженных полуфабрикатов особых форм

О. Бурдо¹, В. Егоров², П. Голубков³, Д. Путников⁴, В. Гонгало⁵, К. Габуев⁶

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039, Украина
 ORCID: ¹0000-0002-2630-1819; ²0000-0003-4699-834X; ³0000-0002-7663-6772; ⁴0000-0003-2577-8858;
⁵0000-0002-5392-6574; ⁶0000-0003-0704-9774

E-mail: ¹terma_onaft@rambler.ru, ²mechatronics.robotlab@gmail.com, ³pavelsergeevichgolubkov@gmail.com, ⁴ulkiorrrra@gmail.com, ⁵skipper9629@gmail.com, ⁶kostyacart@gmail.com

На текущий момент, сфера создания полуфабрикатов постоянно расширяется. Процесс получения полуфабрикатов достаточно хорошо известен и распространен. Данная работа включает в себя новый взгляд на производство и разработку роботизированного комплекса по производству пельменной продукции особых форм. Особая, труднореализуемая форма, защищает продукцию от подделки и является гарантией качества производителя. При разработке такого комплекса, были поставлены две задачи. Первая – достичь труднореализуемой формы. Вторая – добиться сокращения экономической составляющей, на производстве. В нашем случае, разработка оборудования способствует использованию фарша в замороженном виде, так что повторная заморозка при использовании нового оборудования, не требуется. Фаршковые заготовки поступают на линию производства в замороженном виде с температурой от -13°C до -30°C. Что в свою очередь является нормой для производства ПП категории А.

Ключевые слова: пищевая промышленность; полуфабрикаты; пельмени; производство; робототехника.

Інтеграція робототехнічного комплексу виробництва заморожених напівфабрикатів особливих форм

О. Бурдо, В. Єгоров, П. Голубков, Д. Путніков, В. Гонгало, К. Габуєв

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна

Сьогодні сфера створення напівфабрикатів постійно розширюється. Процес отримання напівфабрикатів добре відомий і поширений. Дана робота включає в себе новий погляд на виробництво і розробку роботизованого комплексу по виробництву продукції особливих форм. Особлива, важкореалізована форма, захищає продукцію від підробки і є гарантією якості виробника. При розробці такого комплексу, було поставлено два завдання. Перше - досягти важкореалізованої форми. Друга - домогтися збільшення економічної складової, на виробництві. У нашому випадку, розробка обладнання сприяє використанню фаршу в замороженому вигляді, отже повторне заморожування при використанні нового обладнання не потрібно. Фаршеві заготовки надходять на лінію виробництва в замороженому вигляді з температурою від -13 °С до -30 °С. Що в свою чергу є нормою для виробництва продукції категорії А. Робота над розробкою нового комплексу обладнання з виробництва пельменної продукції особливої, кубічної форми, для збільшення економічної складової може зіткнутися з низкою труднощів, які необхідно подолати. Однією з них є занурення фаршу з мінусовою температурою в тісто, що має кімнатну температуру. Було проведено ряд активних експериментів з замороженим фаршем і теплим тестом, отримано і оброблено отримані результати. Створюване обладнання повинно мати не тільки систему автоматичного управління, що включає в себе можливість управляти комплексом, а й містити алгоритми, які дадуть можливість розраховувати за математичними моделями необхідну для підтримання властивостей тіста температуру. А також включити в можливості комплексу комп'ютерну обробку отриманої продукції і з використанням сучасних технологій комунікації, забезпечити передачу інформації, яка буде доступна для віддаленої роботи як самого комплексу, так і інформації щодо виготовленої ним продукції. Використовуючи нову, важкореалізовану форму і сучасні технології, створений комплекс в майбутньому дасть можливість не тільки виготовляти нову продукцію з формою, захищеною від підробки, а й скоротити витрати виробництва. Ефективність буде обумовлена ще й в тому, що на продукцію такої форми може бути підвищена ціна з міркувань вмісту кращих інгредієнтів і можливості використання більш компактною упаковки. Так як в пачках напівфабрикати кубічної форми, фактично буде відсутнє вільне місце, на відміну від сучасних пачок з пельменною продукцією, що містить до 20% повітря. Це так само дасть приріст ефективності при зберіганні і переміщенні продукції. Обладнання зможе виробляти нові види продукції напівфабрикатів, що включають в себе не тільки використовуються в даний час поширені інгредієнти, такі як свинина і

яловичина, а й м'ясо птиці, риби і містити безліч різних рецептів фаршу і тіста. Що в свою чергу розширить асортимент виробляються напівфабрикатів.

Ключові слова: харчова промисловість; напівфабрикати; пельмені; виробництво; робототехніка.

© The Author(s) 2018. This article is an open access publication
This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Введение

Мясоперерабатывающее производство, в частности производство быстрозамороженной продукции (пельменей) – выгодный бизнес с достаточно быстрой окупаемостью вложений. Главное – во-первых, правильное позиционирование на рынке, во-вторых, не ошибиться с выбором поставщика оборудования и информационного и технологического сервиса.

Для небольших и малых хозяйств, особенно тех, где имеются собственные производственные мощности, избыток мясного сырья и/или муки, актуальным является изготовление наиболее популярных видов полуфабрикатов – быстрозамороженных пельменей. Это недорогое производство, которое позволит предложить потребителям готовые изделия. Благодаря разнообразию начинок, пельменную продукцию можно производить в течение всего года, что обеспечивает широкий ассортимент и относительно стабильный спрос на продукцию.

Производство пельменей может быть выделено как отдельная отрасль именно благодаря большой популярности. Для развития малых производств существенной положительной особенностью спроса является повышенный интерес населения к малосерийной продукции, имеющей явные отличия от привычных стандартов массового производства. Другой особенностью малого производства, благоприятной для развития малого и среднего бизнеса, является простота, что позволяет быстро его наладить. При необходимости цех может быть доукомплектован другим оборудованием, что позволит быстро переориентировать производство на другие виды продукции.

Многие мясоперерабатывающие предприятия расширяют производство, ориентируясь на покупательский спрос. Одной из основных задач предпринимателя является выбор оборудования для пельменей, ведь в настоящее время украинские и иностранные заводы-изготовители предлагают широкий спектр оборудования для выработки, фасовки и хранения пельменей. Основными критериями выбора чаще всего являются: цена, производительность, комплектация линии, гарантии качества оборудования.

Для упаковки пельменей в малых производствах наиболее целесообразно использовать фасовочно-упаковочные устройства с весовым дозированием. Упаковка производится после замораживания. Используемый упаковочный материал, в основном – полипропиленовые пакеты с запаиваемыми швами. Готовые пакеты помещаются для хранения в среднетемпературную камеру.

Как было отмечено выше, для организации малых производств по производству пельменей в странах

Украины и ближнего зарубежья, производится несколько моделей аппаратов различных конструкций. Например, такие известные предприятия как Черкасское ПО «ТЕМП», Белопольский машиностроительный завод (Украина) выпускают несколько модификаций пельменных аппаратов. Заслуженной популярностью среди производителей пельменей пользуются китайские пельменные аппараты производства харбинского и пекинского заводов.

Крупные предприятия, выпускающие такую продукцию, используют итальянские пельменные линии фирмы «LB Italia». А предприниматели, которые начинали производство на отечественном и китайском оборудовании стремятся выпускать более качественную продукцию и позиционировать ее в другом ценовом сегменте, приобретают итальянские пельменные аппараты, такие, например, как автоматы RS-250 (производительность 140-160 кг/час) и RS-540 (производительность 300 кг/час). Идеальным вариантом оборудования для замораживания и хранения пельменей и сырья является использование скороморозильных конвейерных агрегатов, позволяющих замораживать пельмени с той же скоростью, с которой они производятся (50 кг/час и более). Однако эти аппараты весьма дороги и в малых производствах практически не используются, а используются холодильные камеры с производительностью, которой достаточно для обеспечения охлаждения продукции, произведенной за смену, в течение текущих суток.

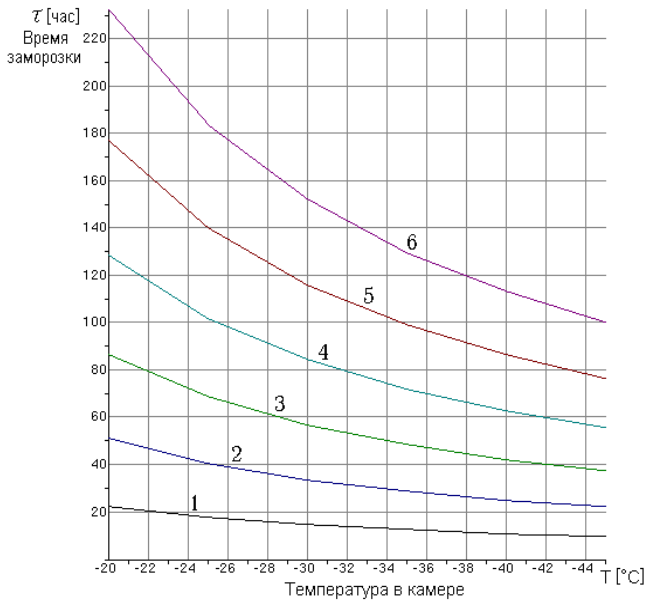
Для производительности от 50 до 250 кг/час используются камеры с объемом от 4 до 20 м³. Для хранения продукции используются низкотемпературные камеры (-18 °C) аналогичного объема. На каждом этапе производства, по отдельным операциям технологического процесса, осуществляется контроль за изготовлением продукции в соответствии с техническими условиями. Для обеспечения наиболее рационального процесса изготовления сырья составляется план работ с указанием, последовательности операций с сырьем, порядком и способами. В связи с этим весь процесс работы с сырьем расчленяется на отдельные составные части – технологические операции. [1]

2. Анализ существующих схем работы предприятий

Технологический процесс производства замороженной пельменной продукции, должен осуществляться в соответствии с санитарными правилами и с инструкцией по мойке и профилактической дезинфекции для предприятий мясной промышленности. Технологический процесс начинается с подготовки сырья: муки, мяса и ингредиентов. Перед замораживанием отштампованные пельмени не должны находиться при плюсо

вой температуре более 20 минут.

Замораживаниепельменей производится до температуры в центре пельменя (в фарше) минус 18°C. Подносы с пельменями размещают на стеллажной тележке, которая вкатывается в холодильную камеру. Холодильные низкотемпературные камеры обеспечивают заморозку и хранение продуктов при температуре до минус 50°C при температуре окружающего воздуха от 12°C до +40°C (рис. 1).



Где толщина блока: 1-0.1м, 2-0.2м, 3-0.3м, 4-0.4м, 5-0.5м, 6-0.6м

Рисунок 1 – Зависимость времени замораживания мясного сырья в блоках в гофаре от его толщины и температуры и в камере при обдуве воздухом с обеих сторон.

Упаковка и маркировка замороженных пельменей производится на автоматах фасовочно-упаковочных/пельмени фасуют в пакеты из полипропиленовой плёнки по 500 г или 1000 г. Количество пельменей с разрывами тестовой оболочки не должно превышать 5% от общей массы; допустимое отклонение массы нетто +14 г. На упаковке типографским способом должна быть указана необходимая информация для покупателя, в частности, наименование предприятия-изготовителя, товарный знак, дата изготовления. Хранение пельменей в упакованном виде осуществляется в холодильных камерах при температуре не ниже минус 10°C в течение не более одного месяца со дня выработки. Срок хранения и реализации пельменей в торговой сети при температуре минус 5°C не более 48 часов. При отсутствии холода пельмени хранению и реализации не подлежат.

Пельмени – одно из самых демократических блюд. Их можно найти в меню как рабочих и студенческих столовых, так и дорогих ресторанов. Разумеется, любой поклонник пельменей скажет, что полуфабрикаты не сравнить с домашними пельменями. Но именно благодаря технологии быстрой заморозки пельмени превратились из домашнего блюда, требующего временных затрат и определенных кулинарных навыков, в еду для быстрого приготовления. Естественно, такая пища

не ассоциируется со вкусом, качеством и пользой. Однако промышленники пельменных производств утверждают, что товар товару рознь, и крупные производители полуфабрикатов подходят к этому вопросу по-разному.

Далее, рассмотрим классификацию и состав пельменной продукции. Как и другие продукты, пельмени делятся по ценовым сегментам. К первому сегменту относятся пельмени так называемой экономичной ценовой категории, которые пользуются популярностью за счет неплохого качества по приемлемой цене. Невысокая стоимость такой продукции часто обеспечивается за счет экономии на сырье, отсутствия красочной упаковки и минимальных затрат на рекламу. По качеству и вкусовым свойствам продукция большинства марок этой группы не уступает пельменям среднего класса.

В ценовой категории среднего сегмента представлена широкая ассортиментная линейка. Пельмени изготавливаются из высококачественных сортов говядины и свинины с добавлением других ингредиентов. Некоторые ассортиментные позиции производятся с добавлением чеснока, укропа, картофеля, капусты. Экономия достигается за счет использования недорогих упаковок и сырья.

Продукция высокой ценовой категории – пельмени из качественного сырья в яркой красочной упаковке. Они изготавливаются из говядины, свинины, муки высших сортов. Пельмени многих наименований этой группы отличаются «домашним» вкусом.

Пельмени класса «премиум» отличаются тонким изысканным вкусом, изготовлены из высококачественного сырья. Как правило, это пельмени ручной лепки, выполненные по оригинальной рецептуре и упакованные в прочную и оригинальную упаковку.

К сожалению, на рынке элитных пельменей есть мошенники, которые дискредитируют саму идею «элитного класса» и, выпуская якобы «натуральные» и «100% настоящие» пельмени по высокой цене. В крупных компаниях производители отмечают, что подделок много, но их отличить можно по качеству, так как элитный продукт – почти всегда ручной лепки. Кроме того, обычно все элитные продукты фасуются в картонную упаковку с многочисленными защитами от подделок. [2]

Автоматизированная линия производства пельменей дает возможность получать на выходе продукцию разного вида. Впрочем, это относится и к изделиям, получаемым в домашних условиях. И основная классификация здесь основывается на виде мяса, которое задействовано в процессе. Цех пельменей ручной лепки потребует значительно меньших затрат, поскольку не придется закупать дорогостоящего оборудования. Но здесь предстоят дополнительные траты на заработную плату сотрудников, которые всю работу будут осуществлять вручную. Такой подход значительно снижает производительность, зато делает выпущенную продукцию дороже. И определенный сегмент потребителей готов переплачивать за натуральные качественные продукты. В итоге получается, что выручка с продаж может быть практически такой же, как и в случае с автоматизированным мини-цехом.



Рисунок 2 – Структурная схема работы предприятия по производству обычной пельменной продукции

Открытие пельменного цеха с наличием высокопроизводительного оборудования позволит на выходе получать большие объемы готовой продукции, и себестоимость ее будет несколько ниже. Но высокие затраты, которые придется понести, оснащая завод, при налаженных каналах сбыта окупятся достаточно быстро.

В производстве пельменей с помощью автоматических устройств важно, чтобы и фарш, и тесто обладали определенными механическими свойствами. А именно: тесто должно быть эластичным и не липким, а фарш – однородным, с умеренной вязкостью, т.е. не сухой и не жирный, чтобы обеспечивалась необходимая текучесть.

Для замораживания и хранения пельменей используются холодильные камеры объемом от 4 до 20 м³ с соответствующими техническими параметрами. Если позволяют финансовые возможности и есть производственная необходимость, то приобретаются скороморозильные конвейерные агрегаты. Такое оборудование дорогое, но позволяет замораживать пельмени с той же скоростью, с которой их производят (в среднем 50 кг в час). А для сохранения вкусовых качеств и уменьшения потерь массы пельменей как раз необходимо быстро их замораживать. Процесс заморозки осуществляется на лотках, которые установлены на рамы или тележки, помещаемые в морозильные камеры.

После замораживания пельмени должны пройти галтовку. При вращении галтовочного барабана пельмени очищаются от крошек, муки и отделяются друг от друга. Таким образом улучшается товарный вид продукции, а отходы, собираемые в лоток под барабаном, направляются: крошка – в колбасное производство, просеянная мука – в тесто (рис.2).

Для упаковки пельменей необходимо применять фасовочно-упаковочные устройства с весовым дозатором. Упаковка производится после галтовки.

Упакованная продукция хранится в среднетемпературных холодильных камерах. Хранить готовую продукцию необходимо с температурой не выше -10°C и не более одного месяца со дня их изготовления.

Рассмотрим упаковывание пельменей. Замороженные пельмени фасуют в картонные пачки массой нетто 350, 500 и 1000 г или пакеты из полиэтиленовой пленки с такой же массой.

Хранение, транспортирование, реализация пельменей. Пельмени хранят на предприятиях-изготовителях в упакованном виде при температуре не выше -10°C не более 1 месяца со дня изготовления. В случае более длительного хранения пельмени могут быть реализованы с разрешения ветеринарно-санитарной службы. Пельмени, выпускаемые с предприятия, должны иметь температуру не выше -10°C .

Замороженные пельмени транспортируют автотранспортом с изотермическим или охлаждаемым кузовом, а также в изотермических или охлаждаемых железнодорожных вагонах.

Хранение и реализация пельменей в торговой сети и на предприятиях общественного питания осуществляются при температуре не выше -5°C не более 48 ч. При отсутствии холода пельмени хранению и реализации не подлежат. На рисунке 1 приведены результаты расчета процесса заморозки пищевого сырья по уравнению (2). Полученный график позволяет оценить время заморозки (до -18°C в центре продукта) в зависимости от температуры хладоносителя и толщины продукта и тем самым определить рациональный способ заморозки и его предполагаемые режимы.

Реальные режимы замораживания пищевых продуктов позволяют специалистам оценивать степень адекватности используемых моделей действительно процессу. В случае необходимости в модель могут быть внесены соответствующие поправки. [3].



Рисунок 3 – Структурная схема работы предприятия по производству пельменной продукции особых форм.

3. Анализ схемы работы предприятия по производству пельменной продукции особых форм

Исходя из вышеперечисленного можно предложить производство полуфабрикатов другой, оригинальной и трудно воспроизводимой формы, которая защитит изделие от подделки. Такой формой может стать либо круглая, либо кубическую. Оценивая эти две формы, можно прийти к выводу, что продукция, имея строгую кубическую форму будет, по мимо прочего, экономить место на складе предварительного хранения и место в упаковке. Так как на текущий момент, в упаковках пельменной продукции содержится до 30% воздуха. Если взять за основу то, что при хранении и транспортировке будет использоваться полностью заполненная тара, то экономическая составляющая возрастет до тридцати процентов. Кроме того, имеет смысл, при производстве полуфабрикатов новой, строго кубической формы, использовать ингредиенты, которые высшего качества, так как эта продукция будет защищена своей труднореализуемой формой от подделки. Стоит так же поднять вопрос о том, что при производстве данного типа полуфабрикатов, придется изменить структурную схему работы предприятия и внести коррекцию в существующую. Это будет необходимо для того, чтобы поднять эффективность. При получении мяса, будет необходимо сразу после первичной разделки туш производить фарш и сразу отправлять его на склад сырья в уже подготовленных для этого формах. На текущий момент, хранение фарша при температурах от -15°C до -30°C может длиться годами, а для производства полуфабрикатов необходима будет разработка

оборудования, по средствам которого фарш не нужно будет размораживать.

Такое оборудование будет производить полуфабрикаты используя заготовки с отрицательной температурой. Так же, при разработке оборудования стоит предусмотреть такие варианты, в которых будет отсутствовать галтовка. Что, так же скажется на экономической целесообразности. После производства готовых полуфабрикатов, их можно будет хранить достаточно длительное время. К тому же, для увеличения экономической составляющей, можно установить в место человеческого контроля за качеством, систему, которая будет производить оценку произведенной продукции, и будет использовать так называемое «компьютерное зрение» [4,5] (рис.3).

4. Моделирование тепловых процессов

Рассмотрим работу оборудования, содержащее в себе элементы конструкции, которые в свою очередь будут выполнять действия по облегованию замороженного фарша в теплое тесто. На первом этапе проведем исследование параметрической модели процесса в отдельном элементе аппарата – в рабочем участке (рис.4).

Параметрами качества считаем температуру на поверхности теста ($T_{\text{т}}$) и удельные затраты энергии на переработку 1 кг продукта (j , Дж/кг). Входными параметрами, в общем случае, являются теплофизические свойства фарша и теста, его расход, начальные значения температуры. Учитываются комплексы параметров, которые характеризуют конструкцию аппарата и энергетические показатели нагревателей.

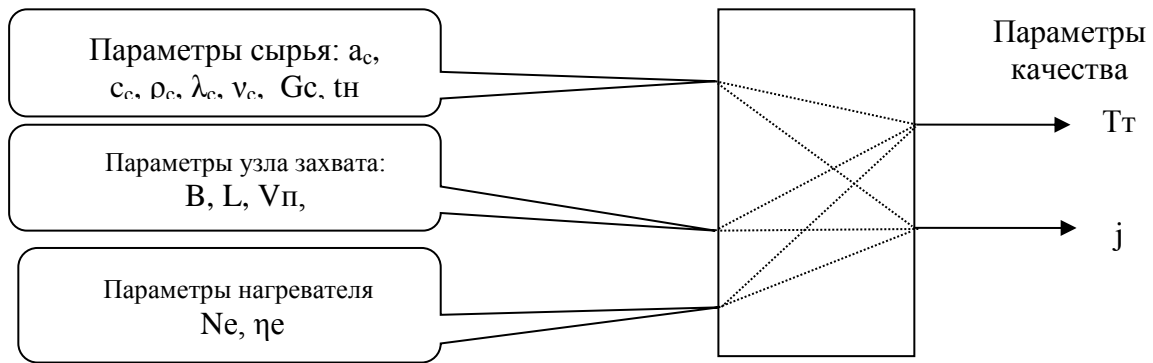


Рисунок 4 – Параметрическая модель.

На основе схемы (рис.4) составлена физическая модель аппарата (рис.5), которая является постановкой задачи формирования математической модели.

Поскольку задача является осесимметричной, то рассматривается модель до центра фарша, координата которого X_c . Таким образом:

зона 1 – окружающая среда с координатами $0 \leq X \leq X_1$; $0 \leq Z \leq Z_1$; и с температурой – t_c ;

зона 2 – захват с координатами $X_1 \leq X \leq X_2$; $0 \leq Z \leq Z_1$; и с текущей температурой – t_x ;

зона 3 – тесто с координатами $X_2 \leq X \leq X_3$; $0 \leq Z \leq Z_1$; и с текущей температурой – t_t ;

зона 4 – фарш с координатами $X_3 \leq X \leq X_c$; $0 \leq Z \leq Z_1$; и с текущей температурой – t_f .

Для поддержания необходимого значения температуры теста на уровне T_t используется нагреватель, мощность которого N .

Ставится задача разработать математическую модель аппарата для производства пельменей. Аппарат состоит из 4 зон (рис.5). В третьей зоне на тесто при необходимости осуществляется энергетическое воздействие на исследуемую систему. Подвод энергии N - при ГУ II рода. Тепловой поток отводится от центра фарша в окружающую среду.

В основе моделирования первый закон термодинамики и уравнение Фурье-Кирхгофа, которые отражают тепловые взаимодействия между элементами рассматриваемой системы.

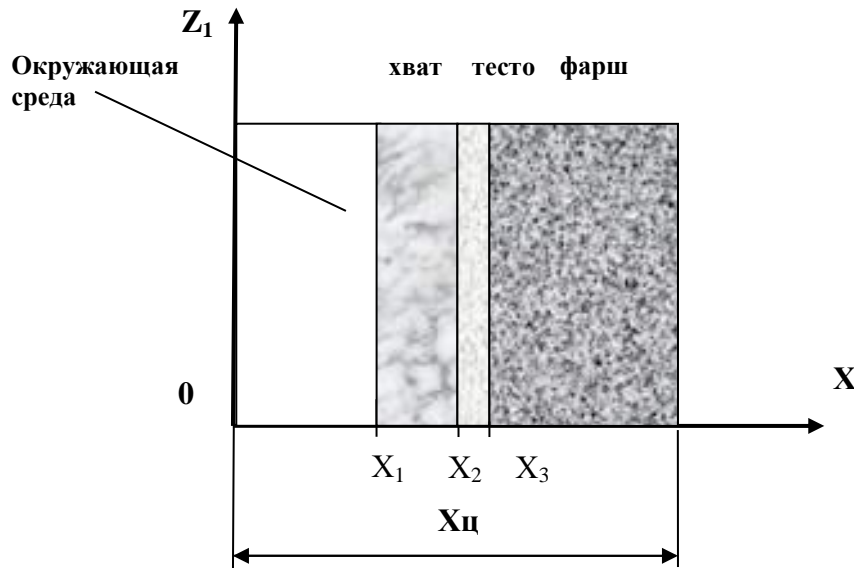


Рисунок 5 – Постановка задачи моделирования.

Поскольку работа, совершенная телом, в соответствии с поставленной задачей равна нулю, то первый закон термодинамики для этого случая запишется в виде:

$$Q_{cm} + Q_v = \Delta U, \quad (1)$$

где Q_{cm} – количество теплоты, отданное телом через

поверхность контакта (S); Q_v – количество теплоты, которое поглощается продуктом от электрических источников энергии; ΔU – изменение внутренней энергии.

Количество теплоты Q_{cm} , Q_v и изменение внутренней энергии тела может быть вычислено по ниже приведенным формулам.

$$Q_{cm} = \int_{s_0}^{\tau} dQ d\tau, Q_V = \int_{V_0}^{\tau} q_V dV d\tau, \Delta U = \int_{V_0}^{\tau} c_V \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} dV d\tau. \quad (2)$$

где, q_V – удельная мощность внутренних источников теплоты, Вт/м³.

С учетом (2), уравнения Фурье первый закон термодинамики в декартовой системе координат примет вид

$$\begin{aligned} & \iint dQ d\tau = \\ & = \iint_{V_0}^{\tau} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right] dV d\tau, \quad (3) \end{aligned}$$

Подставив далее (3) в (1), имеем

$$\iint_{V_0}^{\tau} \left[c_V \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) - q_V \right] dV d\tau = 0. \quad (4)$$

Если все характеристики в (4) – непрерывные функции координат и времени, то интеграл равен нулю при равенстве нулю подынтегрального выражения. Следовательно:

$$c_V \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) + q_V. \quad (5)$$

Уравнение (5) устанавливает связь между временным и пространственным изменением температуры в любой точке исследуемого объема. При постоянной теплопроводности уравнение (5) упрощается и приводится к линейному дифференциальному уравнению в частных производных второго параболического типа. Общие закономерности (5) позволяют конкретизировать модели для всех 4 зон аппарата.

Для 4 зоны (рис.5) известно: объем продукта V_4 ; энергия, температуры – t_f . На первом этапе происходит только повышение температуры зоны 4 и снижение температуры в остальных зонах.

Для высот $0 \leq Z \leq Z_1$; координат $X_3 \leq X \leq X_{II}$:

Начальные условия ($\tau = 0$): $t_1 = t_n$

$$\frac{\partial t_f}{\partial \tau} = a_1 \left(\frac{\partial^2 t_f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_f}{\partial z^2} \right), \quad (6)$$

где $a = \lambda / (c_V \rho)$ – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Для третьей зоны анализ выполним отдельно для 1 этапа (нагрева теста не проводится, тесто охлаждается от начальной температуры $t_T = t_{Tn}$ до температуры, когда требуется его подогрев $t_T = t_{Tp}$) и для 2 этапа, когда включаются нагреватели.

Для первого этапа:

$$\frac{\partial t_T}{\partial \tau} = a_T \left(\frac{\partial^2 t_T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_T}{\partial z^2} \right), \quad (7)$$

На втором этапе включаются нагреватели и энергия, потребляемая продуктом, равна $N\eta$

$$\frac{\partial t_T}{\partial \tau} = a_T \left(\frac{\partial^2 t_T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_T}{\partial z^2} \right) + \frac{N\eta}{V_T c_T \rho_T}, \quad (8)$$

Для 2 зоны модели подобны зоне 3.

Для первого этапа:

$$\frac{\partial t_3}{\partial \tau} = a_3 \left(\frac{\partial^2 t_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_3}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_3}{\partial z^2} \right), \quad (9)$$

На втором этапе включаются нагреватели

$$\frac{\partial t_3}{\partial \tau} = a_3 \left(\frac{\partial^2 t_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_3}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_3}{\partial z^2} \right) + \frac{N\eta}{V_3 c_3 \rho_3}, \quad (10)$$

Для 1 зоны следует учесть конвективный теплообмен на участке «наружная поверхность захвата – воздух окружающей среды».

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial t_B}{\partial \tau} = a_B \left(\frac{\partial^2 t_B}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_B}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_B}{\partial z^2} \right), \quad (11)$$

следует дополнить уравнением сплошности:

$$\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (12)$$

и уравнением Навье-Стокса

$$\rho w \text{grad} w = \rho g - \text{grad} P + \mu \nabla^2 w, \quad (13)$$

На границе 1 и 2 зон ГУ 3 рода

$$\frac{\partial t_B}{\partial \tau} = -\frac{\alpha_B}{\lambda_3} (t_B - t_3), \quad (14)$$

На границе 2 и 3 зон ГУ 4 рода

$$\lambda_3 \left(\frac{\partial t_3}{\partial x} \right)_3 = \lambda_T \left(\frac{\partial t_T}{\partial x} \right)_T, \quad (15)$$

На границе 3 и 4 зон ГУ 4 рода

$$\lambda_T \left(\frac{\partial t_T}{\partial x} \right)_T = \lambda_f \left(\frac{\partial t_f}{\partial x} \right)_f, \quad (16)$$

Приведенные соотношения дополняются условиями однозначности, выражающими теплофизические свойства элементов всех зон.

В соотношениях (2) – (16): α – коэффициент теплоотдачи; λ – коэффициент теплопроводности; N – мощность электрического нагревателя; τ – время работы; индексы В – воздух окружающей среды; 3 – металлический захват; Т – тесто; f – фарш.

Аналогичные уравнения следует записать и в координатах $Z - Y$ и $X - Y$. Искомая температура тогда определяется из условий суперпозиции.

Таким образом, система соотношений (2) – (16) определяют нестационарное поле температур, материальный и энергетический балансы процессов теплопередачи. Однако практическая реализация модели оказывается сложной. Для получения инженерной методики привлечем методы теории подобия.

Далее рассмотрим теплофизическую схему теплопередачи. Основными элементами схемы являются фарш с начальной температурой t_f , тесто t_T , хват t_x и окружающая среда t_B . Для условия отключенных нагревателей температурное поле определяется: $t_f < t_T, < t_3 < t_B$. Для условия включенных нагревателей температурное поле определяется: $t_f < t_T, < t_3 > t_B$. Направление теплового потока определяется из схемы (рис.6).

Тепловой поток преодолевает последовательную цепь термических сопротивлений. Электротепловую модель для схемы (рис.6.а) отобразим на (Рис.7).

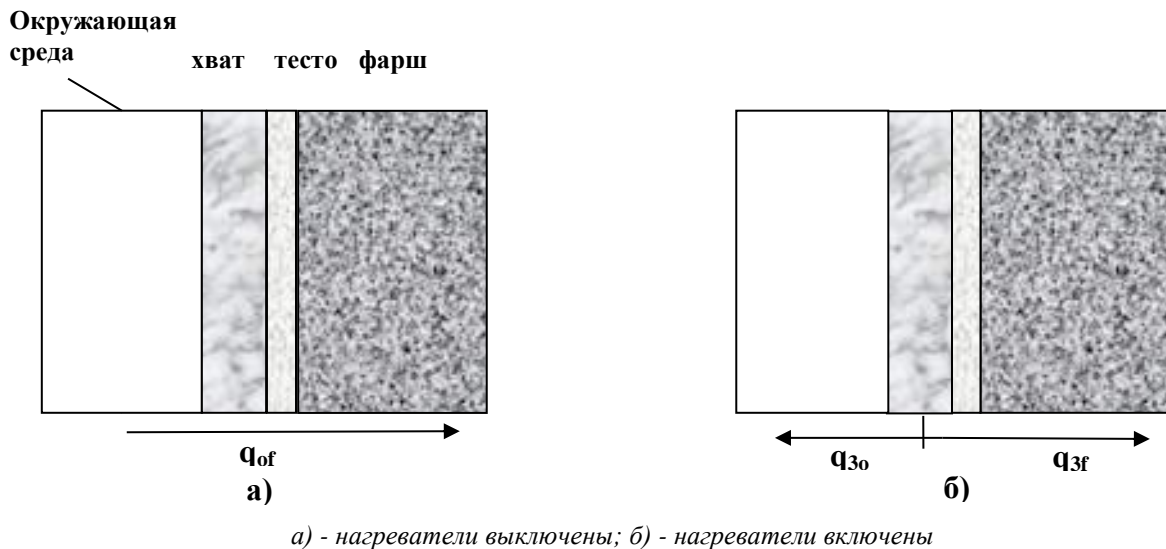


Рисунок 6 – Схема тепловых потоков.

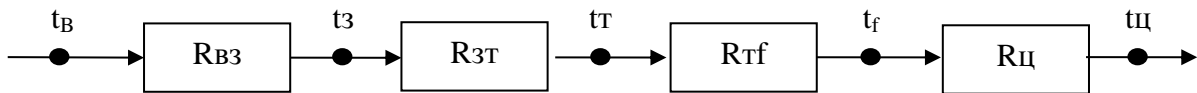


Рисунок 7 – Электротепловая модель схемы переноса теплоты

Термические сопротивления выражаются в виде:
Участок «воздух окружающей среды – поверхность хвата»

$$R_{B3} = \frac{1}{\alpha F_3}, \quad (17)$$

Участок «поверхность хвата - поверхность теста»

$$R_{3T} = \frac{\delta_3}{\lambda_3 F_3}, \quad (18)$$

Участок «поверхность теста – поверхность фарша»

$$R_{Tf} = \frac{\delta_T}{\lambda_T F_3}, \quad (19)$$

Термическое сопротивление самого фарша

$$R_{Ц} = \frac{\delta_f}{\lambda_f F_3}, \quad (20)$$

В соотношениях (17) - (20) принято, что термические сопротивления контакта между поверхностями элементов равны 0, а сам процесс теплопереноса – квазистационарный. Тогда тепловой поток определяется суммой приведенных термических сопротивлений. Движущей силой процесса является разность температур воздуха окружающей среды (t_B) и в центре фарша ($t_Ц$).

$$Q_0 = (R_{B3} + R_{3T} + R_{Tf} + R_{Ц}) (t_B - t_Ц), \quad (21)$$

Поскольку температуры элементов постоянно изменяются (кроме t_B), то изменяется и величина теплового потока, а сам процесс является нестационарным. В таких случаях принято [6] использовать числа подобия Био и Фурье.

$$Bi = (R_{B3})/(R_{Ц}), \quad (22)$$

$$Fo = (\alpha t)/(\delta^2), \quad (23)$$

Смысл числа Био (23) – это соотношение внутреннего термического сопротивления теплопереноса к наружному. Дальнейший анализ проведем при допущениях:

- наружное термическое сопротивление определяется конвективным теплообменом между воздухом и поверхностью хвата;

- внутреннее термическое сопротивление определяется суммой R_{3T} , R_{Tf} и $R_{Ц}$;

- в связи с малой массой теста и хвата их теплоемкостью пренебрегаем.

Тогда, R_{B3} из числа Био примет вид:

$$R_{B3} = \frac{\delta_4}{\lambda_f F_3} + \frac{\delta_T}{\lambda_T F_3} + \frac{\delta_3}{\lambda_3 F_3}, \quad (24)$$

Число Фурье рассчитываем только для фарша, поскольку его теплоемкость определяющая.

Макрокинетику теплопереноса от поверхности хвата к воздуху определяем по стандартным методикам.

Искомая температура определяется с помощью номограммы. [7]

5. Активный эксперимент

Проведение активного эксперимента проходило следующим образом: Для начала была создана фаршевая заготовка, в которую были установлены температурные датчики, и помещена в морозильную камеру. Все данные охлаждения и заморозки фиксировались, и записывались. Позже по полученным данным были составлены графики охлаждения, переходной фазы и заморозки до температуры -15°C . Данные эксперимента (Рис. 8) показали, что охлаждение от температуры $+25^{\circ}\text{C}$ происходит в течении 30 минут и достигает -3°C , переходный процесс занимает 40 минут и температура

опускается до -4°C . Далее начинается процесс замерзания до -15°C и длится около 4 часов.

Замороженная фаршевая заготовка с находящимися в ней датчиками и температурой -15.5°C (рис.9), была помещена в тесто. С одной стороны, на пельменную заготовку был установлен нагревательный элемент (рис.10). При подаче напряжения в 12 вольт нагревательный элемент начал передавать теплоту тесту, а

оно в свою очередь фаршу. Показания нагрева теста и фарша фиксировались и отображались на графике.

Параллельно с этим были получены данные тепловизора о температуре нагревательного эксперимента. За одну секунду температура нагревателя увеличивается до $+100^{\circ}\text{C}$. На (рис.11), отображаются фото изменения температуры нагрева, регистрируемые тепловизором в течении 0.2 секунд.

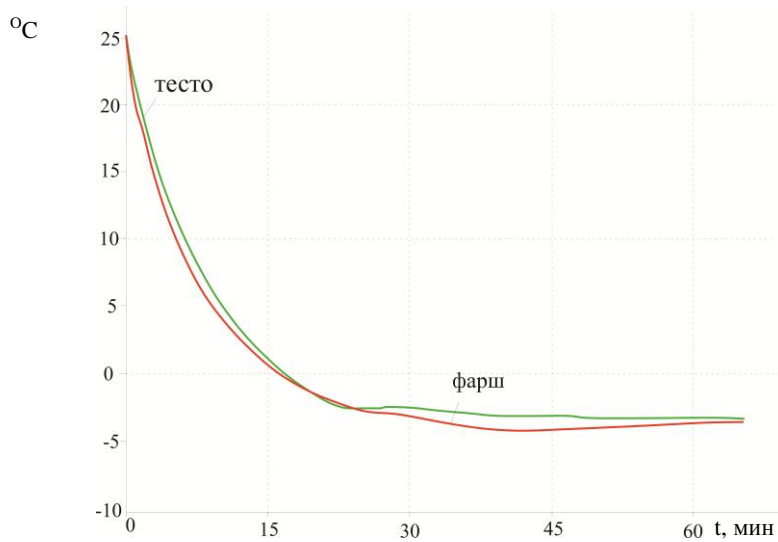


Рисунок 8 – График охлаждения и фазы переходного процесса к замерзанию

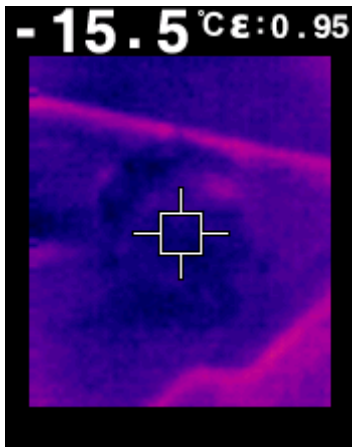


Рисунок 9 – Данные тепловизора

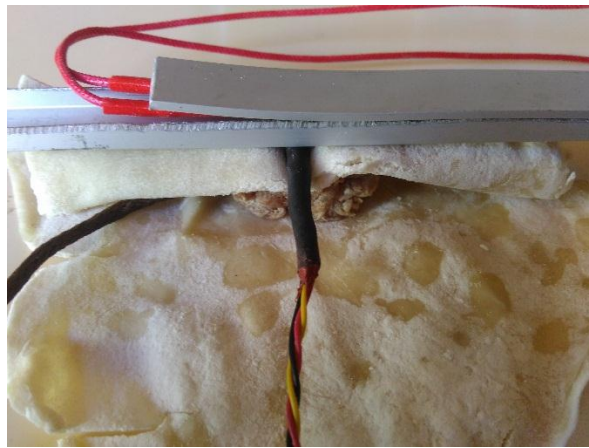


Рисунок 10 – Фото активного эксперимента

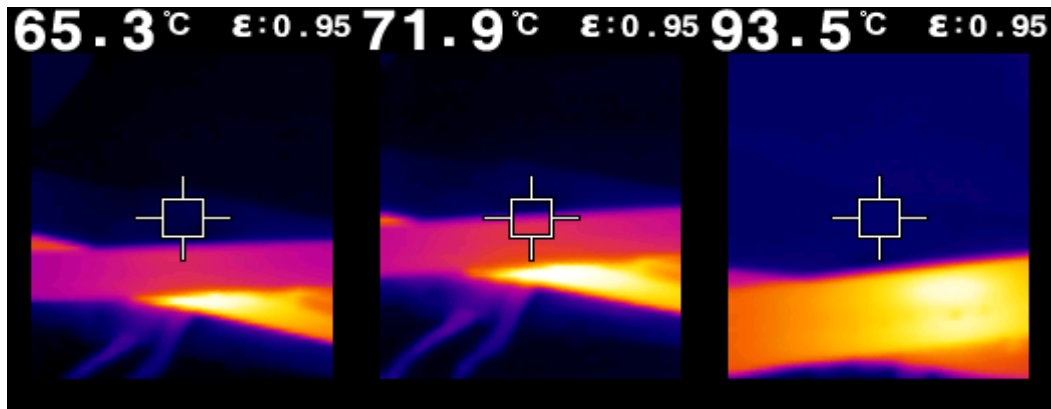


Рисунок 11 – Данные тепловизора

Согласно данным, полученным в ходе активного эксперимента, было установлено, что температура теста за 4 секунды нагревается с -15°C до $+100^{\circ}\text{C}$, и начинает поджариваться, передавая теплоту фаршевой заготовке. Наша задача состоит в том, что бы не допустить нагрева теста до состояния поджаривания и в то же время не допустить охлаждения ниже $+20^{\circ}\text{C}$, так как тесто потеряет свойство слепки. И при этом не допустить нагрев фаршевой заготовки выше -14°C , так как начнется пластификация, которая повлечет за собой последующую потерю формы полуфабриката. Стоит так же учесть, что любое отклонение от заданных температурных параметров теста и фарша за регламентные значения, отражается на произведенной продукции, которая не будет иметь строгую кубическую форму и отправиться в брак.

Выводы

В виду достаточно сложных процедур, происходящих при производстве новой продукции, имеет смысл разрабатывать робототехнический комплекс по производствупельменной продукции особых форм, который будет включать в себя по мимо алгоритмов управления производством полуфабрикатов и контроль качества выпущенной продукции, а также может быть легко перенастроен под другую продукцию подобного рода [8]. При разработке следует учесть, что в современном мире, занимает одно из лидирующих мест, доступ к информации. Это следует учесть при разработке нового оборудования. Инженерный состав должен иметь доступ к данным для оценки работоспособности и, следует учесть такую автоматическую функцию при проектировании САУ так же, как и доступ технологов, к параметрам данных сырья, на входе и выходе оборудования и информацию о количестве произведенной продукции для логистов предприятия. САУ таким робототехническим комплексом должна уметь составлять отчеты по возникшим остановам системы и сама, без помощи вспомогательного персонала, уметь вызывать технического персонал для устранения неполадок, и иметь

систему автоматического оповещения. На текущий момент, используя современные знания, технологии и средства коммуникации, создать подобную САУ не представляет особых проблем, а разработка такого комплекса, с применением научно-технической базы текущего уровня, может поставить разработчиков на один уровень с известными зарубежными фирмами изготовителями оборудования для пищевых производств.

Литература

1. Василенко З.В., Мацикова О.В. Технологии производства продукции общественного питания. Минск. Высшая школа, 2016;
2. *Food & Drink – Good Manufacturing Practice: A Guide to its Responsible Management*, Seventh Edition. The Institute of Food Science & Technology Trust Fund. 2018., John Wiley & Sons Ltd. Published 2018 by John Wiley & Sons Ltd., ISBN: 978-1-119-38844-9;
3. Этем Алпайдин, Альпина Паблишер. Машинное обучение. Новый искусственный интеллект. Точка. 2016, ISBN:978-5-9908700-8-6;
4. Дэвид А. Форсайт, Джин Понс. Компьютерное зрение. Современный подход. Диалектика-Вильямс, 2018, ISBN:978-5-84-590542-0;
5. Прохоренок Н. Open CV и Java. Обработка информации и компьютерное зрение., ВHV, 2016, ISBN:978-5-9775-3955-5;
6. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов, справочник 3е издание. Агропромиздат, 1990, ISBN: 5-10-001411-3;
7. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов, справочник 2е издание. Пищевая промышленность, 1980, 69 с.
8. Антипов С.Т., Кретов И.Т., Остриков А.Н. и др. Машины и аппараты пищевых производств. Под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. — М.: Высшая школа. , 2001. — 680 с. ISBN 5-06-004169-7.

Integration of a robotic complex for the production of frozen semi-finished special forms

O. Burdo, V. Yehorov, P. Golubkov, D. Putnikov, V. Honhalo, K. Habuiev

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaya St., Odessa, 65039, Ukraine

At the moment, the sphere of preparation of semi manufactures constantly expands. The process of obtaining semi manufactures is well known and common. This work includes a new look at the production and development of a robotic complex for the production of ravioli of special forms. A special form that is difficult to implement, protects products from counterfeiting and is a guarantee of the quality of the manufacturer. When developing such a complex, two tasks were set. The first is to achieve an illusory form. The second is to achieve rising in the economic component in production. In our case, the development of equipment contributes to the use of minced meat in frozen form, so that re-defrosting when using new equipment is not required. Stuffing billets are fed to the production line in a frozen form with a temperature from -13°C to -30°C . Which in turn is the norm for the production of A category ravioli. Work on the development of a new complex of equipment for the production of ravioli of a special, cubic form, in order to increase the economic component, may encounter a number of difficulties that must be overcome. One of them is the fit of minced meat with a negative temperature in the dough having a room temperature. Having performed a number of active experiments with frozen minced meat and warm dough, having obtained and processed results, we came to the conclusion that the created equipment should have not only an automatic control system that includes the ability to control

the complex, but also use algorithms those will make it possible to calculate according to models to maintain the properties of dough. And also to include in the available computer equipment information transfer, that will be available for the remote work of both the complex itself and the information about the products manufactured by it. Using a new, ill-implemented form and modern technologies, the complex created in the future will provide an opportunity not only to produce new products with a form that protects against counterfeiting, but also to reduce production costs. Efficiency will also be due to the fact that for products of this form, the price can be increased due to considerations of containing the best ingredients and the possibility of using more compact packaging. Efficiency will also be due to the fact that for products of this form, the price can be increased due to considerations of containing the best ingredients and the possibility of using more compact packaging. Therefore there are actually no free space in packs with a semi-finished products of a cubic form when compared with modern packs of ravioli containing up to 20% of air. This will also give an increase in efficiency during storage and movement of products. It is worth paying attention to the fact that this equipment will be able to produce new types of semi-finished products, which include not only common ingredients currently used, such as pork and beef, but also poultry and fish, and contain many different recipes for minced meat and dough. Which in turn will expand the range of manufactured semi-finished products.

Key words: Food Industry; Semi Manufactures; Ravioli; Production; Robotics.

References

1. Vasilenko Z.V., Matsikova O.V. (2016). Tekhnolohii proizvodstva produktii obshchestvennoho pitanyia.. Minsk. Vysshaya shkola.
2. Food & Drink – Good Manufacturing Practice: A Guide to its Responsible Management, Seventh Edition. The Institute of Food Science & Technology Trust Fund. 2018., John Wiley & Sons Ltd. Published 2018 by John Wiley & Sons Ltd., ISBN: 978-1-119-38844-9.
3. Mashinnoe obuchenie. Novyi iskusstvennyi intellekt. (2016). Etem Alpaidyn, Alpyna Pablysher, Tochka. ISBN:978-5-9908700-8-6.
4. D. A. Forsait, D. Pons. (2018) Kompiuternoe zrenie. Sovremennyi podkhod. Dyalektyka-Vyliams, ISBN:978-5-84-590542-0.
5. Prokhorenok N. (2016) Open CV y Java. Obrabotka informatsii i kompiuternoe zrenie. BHV, ISBN:978-5-9775-3955-5.
6. Hynzburh A.S., Hromov M.A., Krasovskaia H.Y. (1990) Teplofizicheskie kharakteristiki pishchevykh produktov. Spravochnyk 3-e izdanie. Ahropromyzdat, ISBN: 5-10-001411-3.
7. Hynzburh A.S., Hromov M.A., Krasovskaia H.Y. (1980) Teplofizicheskie kharakteristiki pishchevykh produktov. spravochnyk 2-e izdanie. Pishchevaia promyshlennost, 69 p.
8. Antypov S.T., Kretov Y.T., Ostrykov A.N. et al. (2001). Mashiny i apparaty pishchevykh proizvodstv., Ed. akad. RASKhN V.A. Panfilova. M.: Vysshaya shkola, 680 p. ISBN 5-06-004169-7

Received 08 June 2018

Approved 03 July 2018

Available in Internet 30 August 2018