

Авторефер.

Б 91

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ИМ.М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

БУРАКОВ ВАЛЕРИЙ ПЕТРОВИЧ

КОНТАКТНЫЙ МЕТОД ОБЖАРКИ КОРНЕПЛОДОВ В
МНОГОЯРУСНОЙ ОБЖАРочНОЙ ПЕЧИ

Специальность 05.18.12 - процессы и аппараты
пищевых производств

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1982

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова и в Краснодарском научно-исследовательском институте пищевой промышленности

Научный руководитель - кандидат технических наук,
профессор Мальский А.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Леончик Б.И.,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Рабинер Н.Я.

Ведущее предприятие - Краснодарское производственное
объединение консервной промышленности.

Защита состоится "28" июня 1982 г. в 14 час.
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при Одес-
ском технологическом институте пищевой промышленности имени
М.В.Ломоносова, 270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
технологического института пищевой промышленности им.М.В.Ломо-
носова.

Автореферат разослан "18" мая 1982 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

11

23.06.17

ОНАХТ

Контактный метод обж



v013866

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" большое значение придается интенсификация производственных процессов и созданию высокоэффективного и высокопроизводительного оборудования и аппаратуры, позволяющих значительно улучшить качественные показатели готового продукта.

В выполнении Продовольственной программы особое место отводится пищевой промышленности, где выпуск продукции должен увеличиться на 23-26%.

Одно из ведущих мест в пищевой промышленности занимает консервная отрасль. Из выпускаемого ее ассортимента продукции повышенным спросом пользуются закусочные консервы, качество которых, в первую очередь, зависит от качества обжарки овощей.

Обжарка овощей осуществляется обычно в паромасляных печах. Большие рабочие объемы масла в ванне печи снижают коэффициент сменяемости, а следовательно и кондиции масла, увеличивают его потери. Так, в наиболее совершенной паромасляной печи АПМП-I масса нагретого масла составляет около 1000 кг, а коэффициент сменяемости - 1,5 - 2%. При этом следует отметить, что под воздействием высоких температур и кислорода воздуха в масле происходят существенные физико-химические изменения, отрицательно влияющие на качество обжаренных овощей.

Попытки использования различных технических решений, увеличивающих коэффициент сменяемости масла, существенных результатов не дали. Поэтому разработка технических средств, исключающих недостатки паромасляных печей и позволяющих получить наиболее высокое качество обжарки с максимальным сохранением

Одесский технологический
институт пищевой промыш-
ленности им. В. Ломоносова

БИБЛИОТЕКА

Е.В. 13866



1013866

химического состава и пищевой ценности сырья и масла, является весьма актуальной народнохозяйственной задачей. Большую работу в этом направлении проводят Одесский ТИПП им. Ломоносова, Кишиневский политехнический институт им. С. Лазо, ВНИПК "Консервпромкомплекс", СКТБ "Продмаш", Пищепромавтоматика и др.

Цель работы - создание принципиально новой промышленной конструкции контактной обжарочной печи непрерывного действия, обеспечивающей получение обжаренных корнеплодов и лука высокого качества с разовым использованием масла.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

-аналитически изучить тепломассообменные процессы, происходящие в слое продукта при контактной обжарке;

-разработать и изготовить экспериментальную обжарочную установку и промышленную контактную обжарочную печь непрерывного действия;

-установить рациональные режимы обжарки корнеплодов и лука, обеспечивающие сохранение качественных показателей масла и получение высокого качества обжарки.

Научная новизна. Решена задача о распределении температуры по координате слоя обжариваемого продукта и получено уравнение, описывающее температурное поле в твердом скелете слоя. Разработана математическая модель процесса в слое продукта, расположенного на гребней контактной поверхности. Предложена новая конструкция контактной обжарочной печи и установлены рациональные технологические режимы её работы. Предложены уравнения, описывающие динамику движения материального потока по ступеням обжарки. Предложено новое конструктивное

решение перемешивающих органов, позволяющих качественно улучшить процесс обжарки.

Реализация результатов и их практическая значимость.

Предложена и внедрена на Крымском ордена Ленина консервном комбинате новая промышленная конструкция контактной обжарочной печи непрерывного действия: А.с. 507304 (СССР).-Опубл. в Б.И., 1976, № II; А.с. 858757 (СССР).-Опубл. в Б.И., 1981, № 32.

Печь прошла производственные и ведомственные испытания, передана промышленности и рекомендована к серийному изготовлению. Подготовлена техническая документация и начато изготовление контактных обжарочных печей Усть-Лабинским механическим заводом. Реальный экономический эффект от внедрения одной контактной обжарочной печи составил 21 тыс.р. в год. Научно-технические результаты работы нашли практическое применение при проектировании обжарочных печей в пищевой промышленности и учебно-методической работе в вузах.

Апробация работы. Теоретические и экспериментальные исследования диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих конференциях и совещаниях: научно-теоретической конференции работников пищевой промышленности Краснодарского края (г. Ейск, 1974г.), научно-практической конференции специалистов консервной промышленности (г. Крымск, 1975г.), всесоюзном научно-техническом совещании специалистов плодоовощной промышленности "Основные направления научно-технического прогресса в плодоовощной отрасли промышленности" (г. Тирасполь, 1978 г.), всесоюзном совещании специалистов по производству быстрозамороженных изделий (г. Крымск, 1980г.). По теме диссертационной работы опубликовано 5 работ, в том числе два авторских свидетельства.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, анализа способов и технических средств для обжарки овощей, аналитических исследований контактного способа обжарки, экспериментальных исследований, результатов промышленного внедрения, выводов и рекомендаций, описки используемой литературы, включающего 102 наименования работ советских и иностранных авторов, и приложений. В приложения включены акты и протоколы, подтверждающие внедрение законченной работы, и справки о реальном экономическом эффекте. Диссертационная работа изложена на 135 страницах машинописного текста содержит 28 рисунков и 22 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы, подчеркивается её научная и практическая значимость для развития и совершенствования процесса обжарки корнеплодов и лука при производстве оводных закусовых консервов.

В первой главе дан анализ современного состояния отечественной и зарубежной техники и технологии по обжарке овощей. Показано, что наибольшее распространение в консервной промышленности получил способ обжарки овощей в глубоком слое масла и перечислены его недостатки. Указаны причины, ограничивающие промышленное применение других способов обжарки. Рассмотрены изменения гистологической структуры растительного сырья и физико-химические изменения масла при термическом воздействии и дана их количественная оценка. Вскрыты основные факторы, вызывающие порчу растительного масла.

Рассмотрены кинетические закономерности контактного способа обжарки и подчеркнута целесообразность его использования, определяющими преимуществам которого являются: получение

высокого качества обжарки вследствие разового использования масла; полное исключение отходов масла, потерь сырья и дополнительных расходов на фильтрацию и очистку масла; высокая интенсивность процесса обжарки; минимальные энергозатраты; высокий коэффициент использования производственной площади, минимальная инерционность печи, простота аппаратурно-технического оформления.

Анализ состояния вопроса и сделанные выводы позволили сформулировать цель и задачи диссертационной работы.

Характер и специфика поставленных задач, а также отсутствие достаточного теоретического и экспериментального материала предопределили решение вопросов в аналитическом и экспериментальном плане.

Данная работа, являясь продолжением программы по исследованию интенсификации процесса обжарки корнеплодов и овощей, выполнена автором в период с 1974 по 1980 гг.

В работе над диссертацией учтены основные теоретические положения ведущих советских ученых: Гришина М.А., Гинзбурга А.С., Лыкова А.В., Леончика Б.И., Мальского А.Н., Флауменбаума Б.Л., Федстикина И.М. и др.

Во второй главе выведены дифференциальные уравнения и решена задача о температурном поле в слое материала овощной стружки, размещенной на нагреваемой металлической поверхности, с учетом пористости слоя, теплоподвода и теплоотвода (за счет теплопроводности при контакте через твердые частицы тепло аккумулируется в этом слое), подвода и отвода тепла конвекцией и теплопроводностью при движении газов и паров в порах твердого скелета (рис. I).

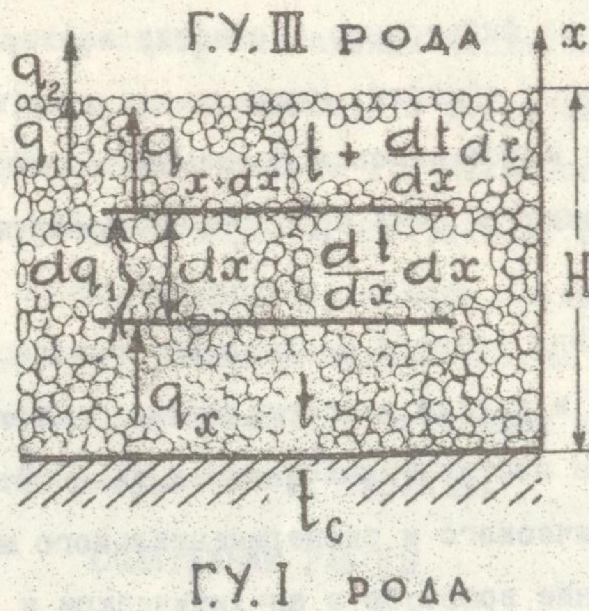


Рис. I. Температурное поле.

Принимаются граничные условия первого рода на нагреваемой поверхности и граничные условия третьего рода на свободной поверхности

$$[\lambda_3(1-\rho) + \lambda_r \rho] \frac{d^2 t}{dx^2} + G_r c_{pr} \frac{dt}{dx} = 0. \quad (1)$$

В результате решения этого дифференциального уравнения методом понижения порядка совместно с соответствующим граничными условиями получено уравнение температурного поля в слое:

$$\left. \begin{aligned} t_{(x)} &= t_{c_1} - \gamma_{(H)} (t_{c_1} - t_B) (1 - e^{-\beta x}) \\ \gamma_{(H)} &= \frac{\frac{\alpha_{ск}}{\beta}}{\lambda_0 e^{-\beta H} - \frac{\alpha_{ск}}{\beta} (e^{-\beta H} - 1)} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Сложность физических процессов теплоапереноса, протекающие в слое при обжарке, обуславливается перемешиванием обжариваемого продукта в пространстве и на контактной поверхности. Взаимный учёт этих факторов определяется в предельных случаях соответствующими скоростями перемешивания. Составив физическую модель процесса, рассмотрим два предельных случая (рис. 2).

I случай. Медленное движение перемешивающего органа. Время цикла T - это время между последовательными перемещениями перемешивающего органа на рассматриваемом участке. Будем считать, что в период времени T слой неподвижен.

II случай. При быстром движении перемешивающего органа T мало, т.е непрерывное перемешивание. Последний случай может быть сведен к решению первой задачи. Случай же медленного перемещения перемешивающего органа рассмотрен как задача Стефана с двумя подвижными границами. В то же время в момент движения перемешивающего органа происходит полное перемешивание слоя, в результате которого все параметры (t , W) по высоте слоя выравниваются, процесс протекает в неустановившемся, нестационарном режиме. Малые размеры измельчения овощей даёт основание не рассматривать возникающие внутри их температурные и влажностные поля. Слой, образованный частицами измельченного сырья, контактирует с нагревателем, на поверхности которого имеют место граничные условия I рода $t = t_{ст}$, характеризующие контактный нагрев.

Изменением параметров в окружном и радиальном направлении пренебрегаем, рассматриваем задачу в одномерной постановке, учитывая лишь течение процесса по толщине слоя, т.е по нормали к поверхности нагревателя, ось X .

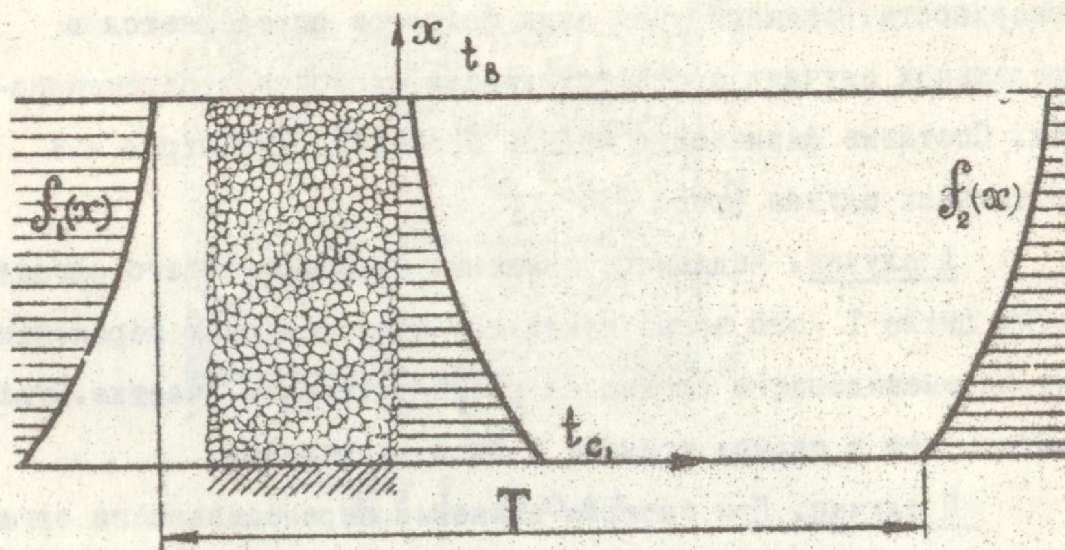


Рис.2. Физическая модель процесса контактной обжарки.

В ходе рассмотрения процесса можно предположить существование трёх зон (рис. 3).

В зоне I, вблизи поверхности нагревателя ввиду высокой её температуры существование поверхностной влаги исключается т.е. $W=0$. За зоной I может следовать зона II, в которой конденсация паров, возникающих в зоне I, еще не наступает, а скорость испарения жидкости с поверхности достигает той же интенсивности, что и скорость внутренней диффузии, доставляющей влагу из глубины частицы к её поверхности. В этом случае можно говорить о некотором равновесном состоянии, при котором влага не изменяется $\frac{\partial W}{\partial \tau} = 0$.

И, наконец, зона III с более низкой температурой, в которой возможна конденсация влаги на поверхности частицы. С течением

времени границы указанных зон перемещаются. На этих границах сохраняются условия непрерывности некоторых параметров процесса.

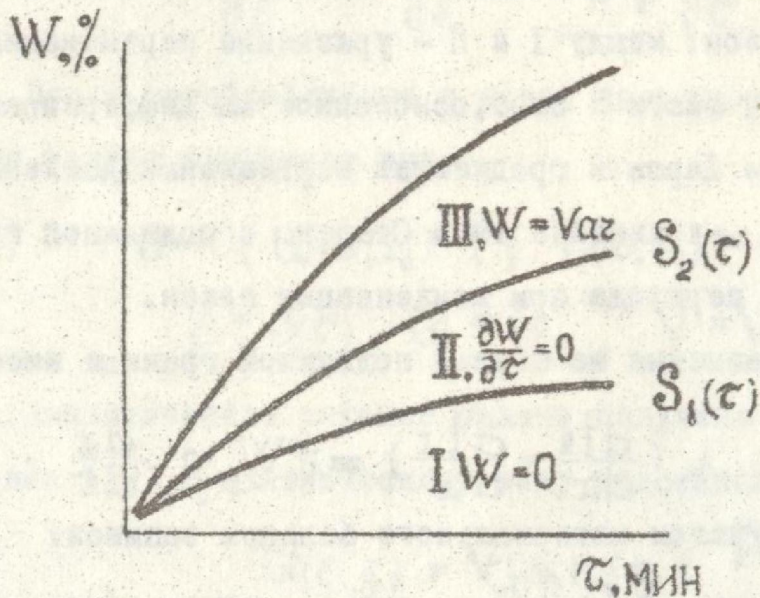


Рис.3 Схема расположения граничных зон

Математическая формулировка задач Стефана включает уравнение закона Дарси переноса паров внутри капилляров, уравнение неразрывности с учётом пористости, уравнение переноса тепла теплопроводность в скелете, теплопроводность и конвекцией паров и газов в межскелетном пространстве, уравнение состояния. Для зоны I система дифференциальных уравнений записывается в виде:

$$\Pi \frac{\partial p}{\partial \tau} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k}{M} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = 0; \quad (3)$$

$$c_{ск} \rho_{ск} (1 - \Pi) \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda_{э} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + G_n c_{pn} \frac{\partial t}{\partial x} + h \frac{k}{M} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}; \quad (4)$$

$$\rho = \frac{p}{R(t + 273)} \quad (5)$$

о соответствующих граничных условиях, приводимыми ниже в безразмерном виде. К дифференциальным уравнениям задачи присоединяются дифференциальные уравнения на границе раздела зон: между I и II - уравнение перемещения границы свободной влаги в слое, основанное на дифференциальном уравнении Дарси и градиентах парциальных давлений; между II и III - уравнение типа Стефана с подвижной границей фазового перехода при конденсации влаги.

Уравнение на первой подвижной границе имеет вид:

$$\lambda \left(\frac{dt_{II}}{dx} - \frac{dt_I}{dx} \right) = \varepsilon W_{II} \rho \frac{dx}{d\tau} \quad (6)$$

С учетом материального баланса запишем:

$$\frac{K}{M} \left[\left(1 - \frac{W_{II}}{M} \right) \frac{\partial p_{II}}{\partial x} - \frac{\partial p_I}{\partial x} \right] = W_{II} \rho \frac{dx}{d\tau} \quad (7)$$

Заменяя переменные:

$$t = T - 273; \quad \rho = \frac{P}{RT}; \quad \frac{\partial p}{\partial \tau} = \frac{\partial p}{RT \partial \tau} - \frac{P}{R} \frac{1}{T^2} \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (8)$$

и подставив их в выражения (3) и (4) сформулируем фиктивный источник тепловыделения:

$$J_{(\tau)} = \frac{h \frac{K}{M} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}}{c_{ск} \rho_{ск} (1 - \Pi)} = \frac{h}{c_{ск} \rho_{ск} (1 - \Pi)} \frac{K}{M} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (9)$$

Произведя замену искомой переменной

$$T(x, \tau) = \bar{T}(x, \tau) + \int_0^{\tau} J(\theta) d\theta \quad (10)$$

После представления искомой функции

$$\Theta(\varepsilon, F_0) = \frac{T_I(x, \tau) - T_0}{T_{ст} - T_0} \quad (11)$$

записываем задачу в безразмерном виде:

$$\frac{\partial \Theta(\varepsilon, F)}{\partial F_0} = \frac{\partial^2 \Theta(\varepsilon, F_0)}{\partial \varepsilon^2} + B \frac{\partial \Theta(\varepsilon, F_0)}{\partial \varepsilon}; \quad (12)$$

$$(13)$$

$$Q(0, F) = 1;$$

$$Q(1, F_0); \quad (14)$$

$$K \left(\frac{\partial Q_{II}}{\partial \varepsilon} - \frac{\partial Q_I}{\partial \varepsilon} \right) - W_{II} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} = 0. \quad (15)$$

После преобразования к новой переменной граничные условия задачи принимают вид:

$$\varepsilon = 0; Q(0; F_0) = 1; V(0; F_0) = e^{\frac{B^2}{4} F_0}; \quad (16)$$

$$\varepsilon = S(\tau), Q = Q_\varepsilon, V = V_\varepsilon(\tau) \quad (17)$$

Аналитическое решение задачи получено приведением уравнения (12) к каноническому виду подстановкой

$$Q(\varepsilon, F_0) = V(\varepsilon, F_0) = e^{-\frac{B}{2}\varepsilon - \frac{B^2}{4}F_0}, \quad (18)$$

и выражено через переменную подобия.

Уравнение перемещения подвижной границы после подстановки в него решения

$$V(\varepsilon, F_0) = e^{\frac{B^2}{4}F_0} + \frac{V_s - e^{\frac{B^2}{4}F_0}}{\Phi(\frac{\alpha}{2})} \Phi\left(\frac{\varepsilon}{2\sqrt{\tau}}\right), \quad (19)$$

преобразуется в трансцендентное уравнение, из которого определяется параметр $\alpha(\tau)$.

Решение задачи записывается в виде:

$$\left. \begin{aligned} V(\varepsilon; F_0) &= e^{\frac{B^2}{4}F_0} + \frac{V_s - e^{\frac{B^2}{4}F_0}}{\Phi(\frac{\alpha}{2})} \Phi\left(\frac{\varepsilon}{2\sqrt{\tau}}\right); \\ S &= \alpha(\tau)\sqrt{\tau}; \\ \alpha(\tau) \frac{W_{II}}{K} &= \frac{V_s - e^{\frac{B^2}{4}F_0} \frac{\alpha(\tau)\tau}{H^2}}{\Phi(\frac{\alpha}{2})} \frac{1}{\pi} e^{-\frac{\alpha^2}{4} - \frac{B}{2}\sqrt{S}x} \\ &\quad \times e^{-\frac{B}{2}\alpha(\tau) - \frac{B^2}{4} \frac{\alpha}{H^2} \tau}; \\ V_s &= V(S; F_0); V(S_1; F_0) = Q(\varepsilon; F_0) e^{\frac{B}{4}\varepsilon + \frac{B^2}{4}F_0} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Как видно, решение задачи представлено зависимостями относительной температуры, уравнением перемещения фронта границы зон и уравнением для константы перемещения фронта.

В третьей главе изложена методика и техника экспериментального исследования контактной обжарки корнеплодов и лука. Изучение процесса проходило в два этапа. Первый этап - на лабораторной обжарочной установке (рис.4) отработывались конструкция и технологические режимы обжарки, второй этап - изготовление промышленной контактной обжарочной печи, на которой в производственных условиях были уточнены технологические режимы обжарки.

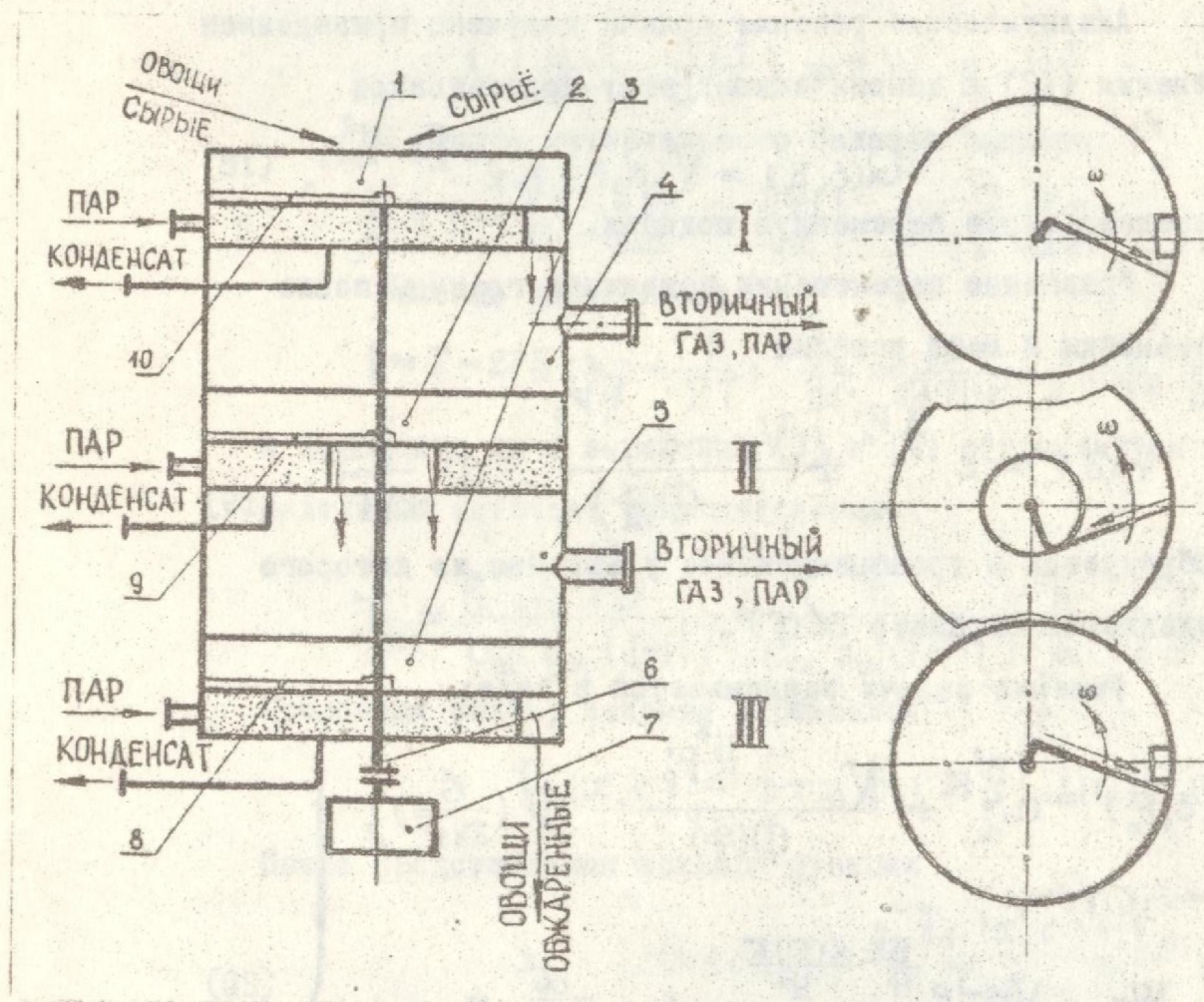


Рис.4. Лабораторная контактная обжарочная установка:

1,2,3 - жаровни; 4,5 - царги; 6 - вал; 7 - привод;
8,9,10 - перемешивающие органы.

Опыты проводились на корнеплодах и луке. Качество сырья соответ-

ствовало требованиям нормативных документов. Сырье измельчалось: корнеплоды на столбики 5x5x30 мм, лук на кружки 4+6 мм. Для обжарки использовалось подсолнечное рафинированное масло. Экспериментальные данные обрабатывались методами математической статистики на ЭВМ. Качественные показатели обжаренного продукта определялись по общепринятым методикам.

Установка была оснащена необходимыми приборами, средствами контроля и измерения.

Процесс перемешивания сопровождался массовой подачей (транспортировкой) к разгрузочным окнам на каждой ступени обжарки. Влажность измерялась по ступеням обжарки (рис. 5).

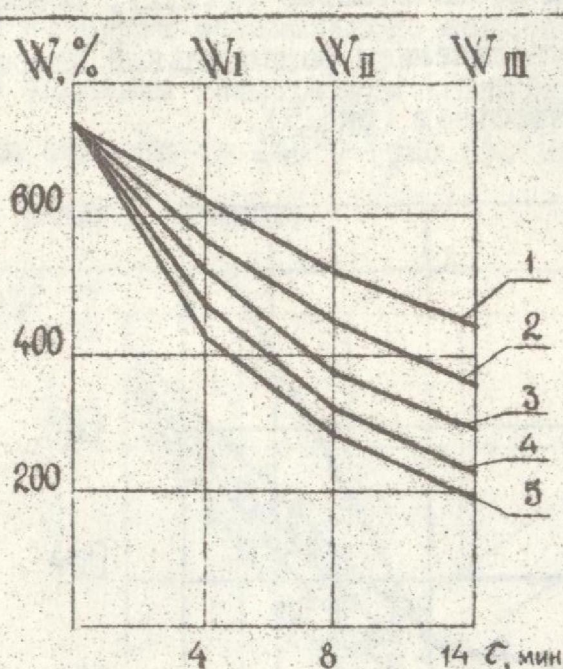


Рис. 5. Изменение влагосодержания по ступеням обжарки в зависимости от частоты вращения перемешивающих органов, с^{-1} : 1-2,0; 2-1,6; 3-1,2; 5-0,6.

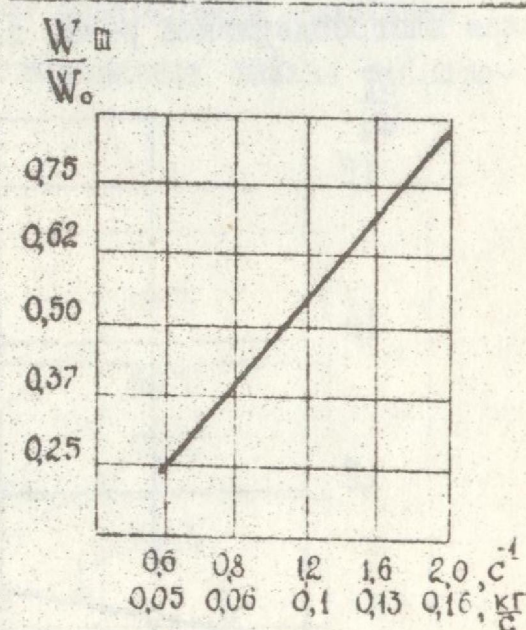


Рис. 6. Влияние относительного влагосодержания на массовую подачу и частоту вращения перемешивающих органов.

Неравномерность обжарки в процессе перемешивания оценивалась дисперсией влагосодержания отдельных частиц при отборе пробы.

Результаты экспериментов были обработаны на ЭВМ и получена зависимость дисперсии (неравномерность обжарки) от частоты вращения перемешивающих органов.

Рассмотрев предельные значения изменения относительного влагосодержания в зависимости от частоты вращения перемешивающих органов, установили, что с уменьшением частоты перемешивания увеличивается глубина влагоудаления, но снижается массовая подача (рис.6). Теоретически рассчитан и экспериментально подтвержден оптимальный интервал частоты вращения перемешивающих органов, который составляет $0,8 - 0,9 \text{ с}^{-1}$.

Установлена рациональная высота слоя обжариваемого продукта на контактной поверхности, равная 60 мм. При этом влагосодержание слоя до 60 мм колеблется незначительно ($1:1,1$). процесс влагоудаления интенсивный. С увеличением рациональной высоты слоя влагосодержание резко возрастает (рис.7).

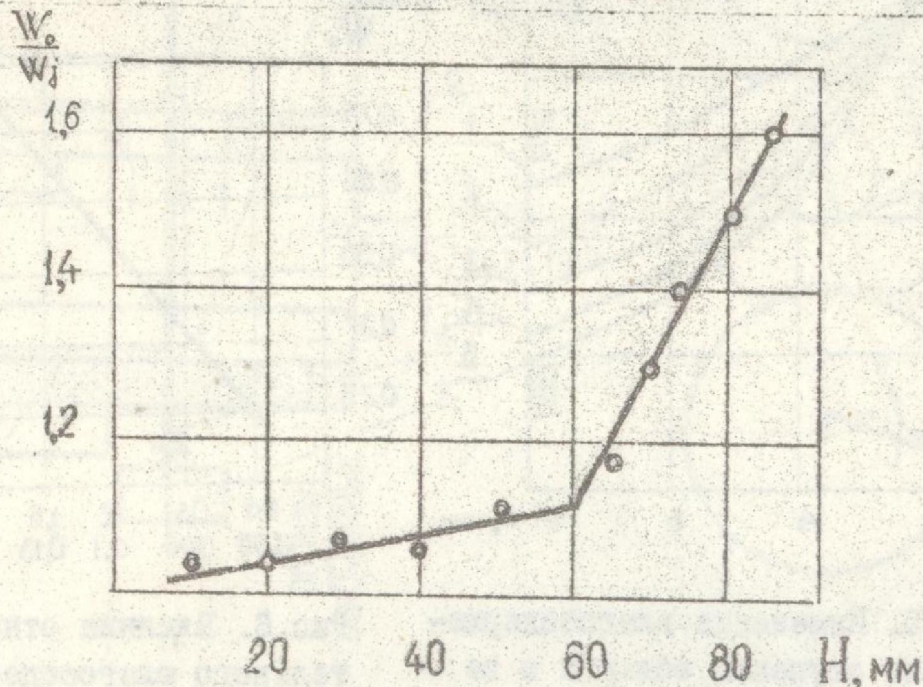


Рис.7. Изменение относительного влагосодержания в зависимости от высоты слоя обжариваемого продукта.

Экспериментальная кривая, описывающая процесс влагоудаления от высоты слоя продукта, была аппроксимирована двумя прямыми

ми. Установлено, что процесс изменения влагосодержания корнеплодов и лука при обжарке описывается уравнением криволинейной регрессии однопараметрического семейства кривых, параметризованных переменной $t, ^\circ\text{C}$.

$$\left. \begin{aligned} \frac{W_0}{W_j} &= A'_t e^{B'_t \tau + C'_t \tau^2} ; \\ A'_t &= a_0 + a_1 t + a_2 t^2 ; \\ B'_t &= b_0 + b_1 t ; \\ C'_t &= c_0 + c_1 t + c_2 t^2 ; \end{aligned} \right\} (21)$$

В качестве оптимального теплового режима работы печи предложено снижение температуры контактной поверхности последней ступени обжарки до 140°C (рис.8). Исследовались низкие температурные режимы обжарки.

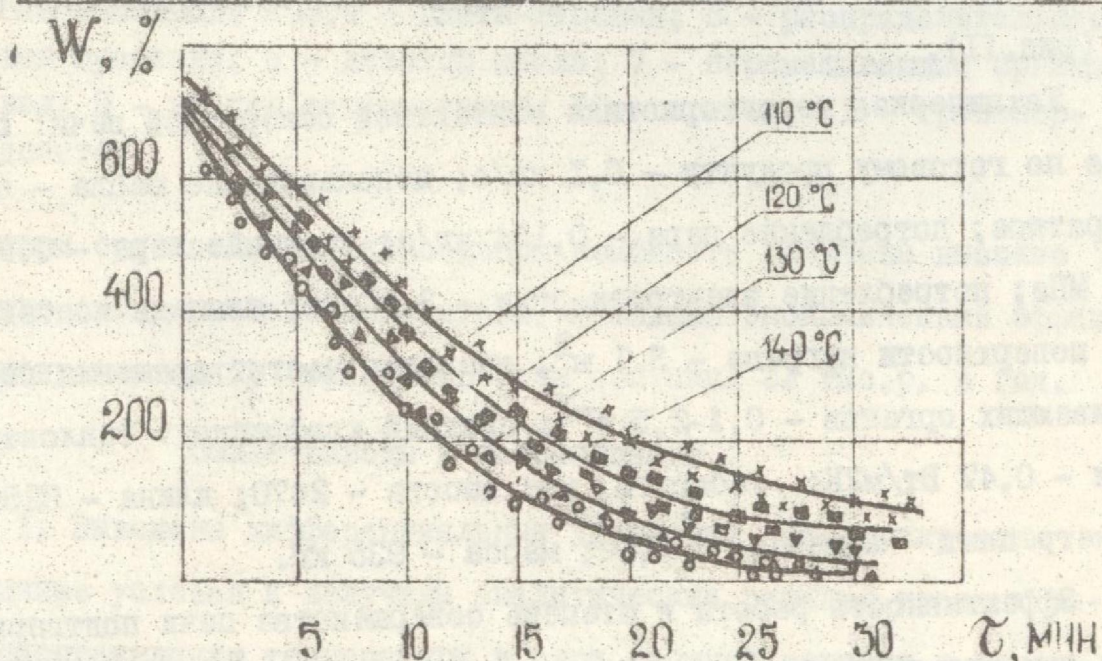


Рис.8. Изменение влагосодержания при различных температурных режимах обжарки корнеплодов.

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. В. Ломоносова

Определена скорость изменения влагосодержания (рис.9) и

БИБЛИОТЕКА

31013866

впитываемость масла (рис.10) при контактной обжарке корнеплодов лука.

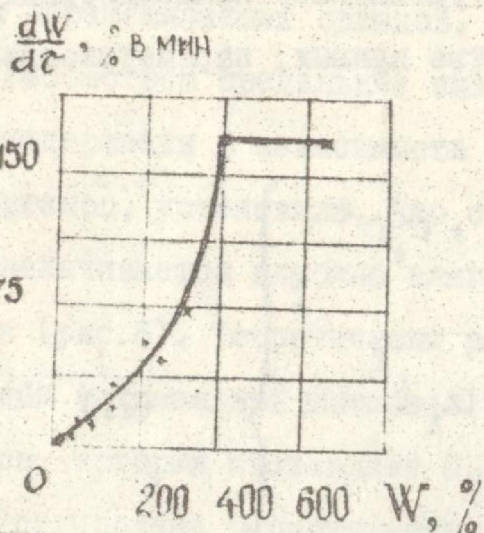


Рис.9. Скорость изменения влагосодержания корнеплодов при контактной обжарке.

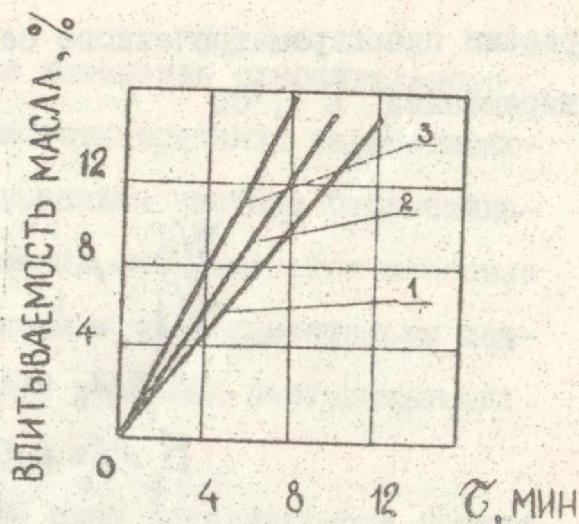
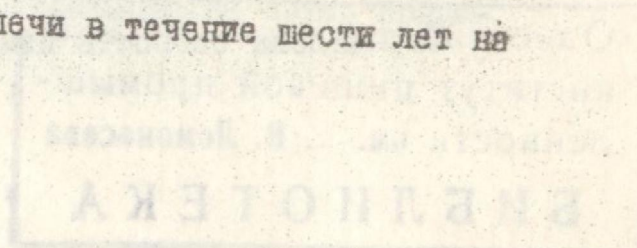


Рис.10. Впитываемость масла при контактной обжарке: 1- морковь; 2- белыми кореньями; 3 - луком.

В четвертой главе даются полное описание и принцип действия промышленной контактной обжарочной печи непрерывного действия для обжарки корнеплодов и лука с разовым использованием масла (рис.11).

Техническая характеристика контактной обжарочной печи: подача по готовому продукту - 0,1 кг/с; использование масла - однократное; потребление пара - 0,134 кг/с; давление пара - 0,9 - 1,0 МПа; потребление электроэнергии - 3,1 кВт; площадь контактной поверхности нагрева - 3,1 м²; диапазон частот вращения перемешивающих органов - 0,1-2,5 с⁻¹; средний коэффициент теплопередачи - 0,47 Вт/м²К; габариты, мм: высота - 2470; длина - 3250; диаметр плит - жаровен - 1200; масса - 935 кг.

Эффективность работы и степень совершенства печи подтверждены технико-экономическими расчетами, из которых следует, что потери сырья сократились с 2 до 0,33 %, потери масла - с 6 до 0,52%. При испытании и эксплуатации печи в течение шести лет на



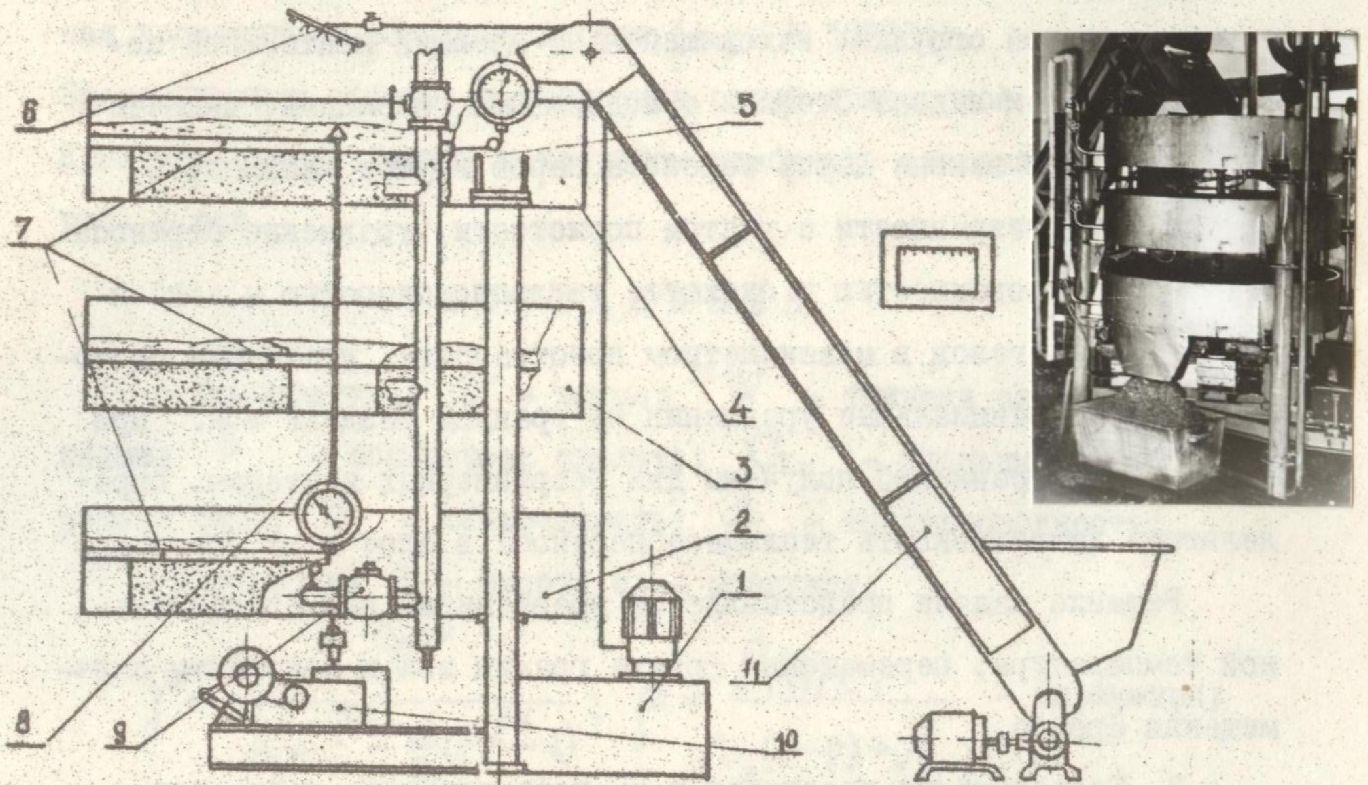


Рис. II. Контактная обжарочная печь:

1 - бак масляный; 2, 3, 4 - плиты-жаровни; 5 - распределительная паровая гребенка; 6 - дозатор масла; 7 - перемещающие органы; 8 - вал; 9 - клапан регулирующий; 10 - привод; 11 - транспортер-дозатор.

Крымском ордена Ленина консервном комбинате получены высокие технико-экономические показатели. Реальный экономический эффект от внедрения одной обжарочной печи составил 21 тыс.р. в год.

Общие выводы и рекомендации

I. Выведены дифференциальные уравнения, сформулированы граничные условия и получены аналитические решения краевых задач распределения температуры в слое овощной стружки и тепло-массопереноса в слое с учетом перемещения фронта границы увлажнения слоя. Решение этих задач позволило получить уравнение, описывающее температурное поле в твердом скелете слоя.

2. Математически сформулирована задача тепломассопереноса в слое овощной стружки, находящейся на греющей контактной поверхности, как задача Стефана с подвижными границами, включающая уравнение закона Дарси переноса паров внутри капилляров, уравнение неразрывности с учетом пористости, уравнение переноса тепла теплопроводностью в скелете, теплопроводностью и конвекцией паров и газов в межскелетном пространстве, уравнение состояния и дифференциальные уравнения на границе раздела зон. При выводе этих уравнений получены два безразмерных критерия, определяющие интенсивность тепломассопереноса в слое и на границах.

Решение задачи представляется уравнениями для относительной температуры, перемещения фронта границ зон и константы перемещения фронта.

3. Теоретически рассчитан и экспериментально подтвержден оптимальный интервал частоты вращения перемешивающих органов, составляющий $0,8-0,9 \text{ с}^{-1}$.

4. Определена рациональная высота слоя овощей на контактной поверхности обжарочной печи принятой конструкции. Показано, что влагосодержание в слое до 60 мм колеблется незначительно $1:1,1$; процесс обжарки интенсивный. С увеличением высоты слоя свыше 60 мм интенсивность влагоудаления резко падает.

5. Исследована динамика влагоудаления из продукта и установлена ее связь с температурными режимами. Рекомендован низкотемпературный режим обжарки, заключающийся в снижении температуры контактной поверхности последней ступени обжарки до 140°C .

6. Предложены уравнения, описывающие динамику движения материального потока по ступеням обжарки.

7. Предложено новое конструктивное решение перемешивающих органов (А.с. № 858757), позволяющих качественно улучшить процесс обжарки.

8. Разработана, изготовлена и внедрена новая промышленная конструкция обжарочной печи (А.о. № 507304).
Экономический эффект от внедрения одной обжарочной печи на Крымском ордена Ленина консервном комбинате составил 21 тыс. руб. в год.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

t - температура; τ - время; W - текущее влагосодержание; P - пористость скелета; $C_{TГ}$ - удельный массовый расход газа; C - теплоемкость; λ - теплопроводность; ρ - плотность; H - высота слоя продукта;

$$\gamma = \frac{\frac{\lambda_{ск}}{\rho}}{\lambda_0 e^{-\beta H} - \frac{\alpha}{\rho}(e^{-\beta H} - 1)}; \quad \beta = \frac{\rho_{TГ} W_{TГ} C_{TГ}}{\lambda_{\Sigma}(1-P) + \lambda_{TГ} \rho} \quad \text{- параметры;}$$

α - коэффициент теплоотдачи; R - газовая постоянная;
 Z - теплота парообразования; K - проницаемость скелета;
 ϵ, F_0, B, κ - безразмерные комплексы, соответственно:

$$\epsilon = \frac{x}{H}; \quad F_0 = \frac{a}{H}; \quad \alpha = \frac{\lambda_{\Sigma} \epsilon \kappa}{C_{ск} \rho (1 - \Pi)};$$

$$\kappa = \frac{\lambda (T_{TГ} - T_0)}{\alpha_{ск}^2 \rho_{\Sigma}}; \quad B = \frac{C_{TГ} C_{pTГ} H}{\lambda_{\Sigma} \epsilon \kappa};$$

F_0 - число Фурье; ϵ - безразмерная координата; Φ - интеграл Гауса.

Основное содержание г-р сертации изложено в следующих работах:

1. Бураков В.П., Трандин Г.Г., Костенко В.К., Волков А.П.
Установка непрерывного действия для пассирования овощей в тонком слое жира. - Информационный листок ЦНТИ, 1974, № 101-74.

2. Бураков В.П., Костенко В.К., Трандин Г.Г., Волков А.П.
Аппарат непрерывного действия для обжарки овощей. - Консервная и овощесушильная промышленность, 1975, № 1, с. 24-26.
3. А.с. 507304 (СССР). Аппарат для обжарки пищевых продуктов /В.П.Бураков, В.К.Костенко, А.П.Волков, Г.Г.Трандин.- Оpubл. в Б.И., 1976, № 11.
4. Бураков В.П. Аппарат непрерывного действия для обжарки овощей.- Информационный листок ЦНТИ. 1980, № 129-80.
5. А.с. 858757 (СССР). Устройство для обжарки пищевых продуктов / В.П.Бураков. - Оpubл. в Б.И., 1981, № 32.

Бураков