

Двтор ер?  
041

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

На правах рукописи

ОРЯВИНСКАЯ Алла Николаевна

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ФРИТЮРНИЦ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙ-  
СТВИЯ С ВИБРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ НАГРЕВА

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

Пер. учет 1984

Одесса - 1980



тельно к электрическим фритюрницам периодического действия;

- исследовать влияние конструктивных особенностей тэнов, используемых для нагрева жира во фритюрнице, на технологические и технико-экономические показатели процесса;

- исследовать влияние вибрации тэнов на технико-экономические показатели процесса жарения пищевых продуктов;

- исследовать особенности теплообмена в ванне фритюрницы при нагреве жира вибрирующими тэнами;

- разработать на основе экспериментально полученных опорных данных макет-образец фритюрницы с вибрирующими тэнами.

Научная новизна. В работе впервые введено понятие одновременности жарения изделий, уточнено понятие коэффициента сменяемости жира, дано его математическое описание.

Введена балльная оценка фритюрного жира при его длительном использовании и получена формула для ее определения.

Установлено, что вибрация тэнов способствует сокращению длительности процесса, снижению темпа нежелательных химических изменений жира, улучшению качества готового продукта.

Получены зависимости коэффициента теплоотдачи от тэнов к жиру при меняющихся амплитудах, частотах вибрации и диаметрах тэнов. Данные по теплоотдаче к жиру в ваннах с вибрирующими тэнами представлены в виде уравнений, удобных для инженерных расчетов.

Практическая ценность. Выявлено вредное влияние "бортовой полосы" тэнов, обусловленное несовершенством их конструкции, что ускоряет темп нежелательных изменений фритюрного жира. На основе проведенных исследований разработана и внедрена новая конструкция тэнов, удовлетворяющая требованиям технологического процесса жарения изделий во фритюрницах.

Разработана новая фритюрница с вибрирующими тэнами, в ко-

торой значительно снижен температурный перепад между поверхностью нагрева и жиром, в результате чего представилась возможность повысить плотность теплового потока, а следовательно - сократить продолжительность тепловой обработки и снизить темп нежелательных химических изменений жира.

В новой фритюрнице реализован комбинированный способ жарения продуктов, что совместно с вибрацией тэнов значительно интенсифицировало процесс и повысило его технико-экономические показатели. Фритюрница защищена авторским свидетельством № 706060.

Экономическая эффективность от внедрения 1000 этих аппаратов составит 303 тыс. рублей в год.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на:

- Всесоюзной междузаводской конференции по термическим методам обработки при консервировании пищевых продуктов (Одесса, 1969);

- Всесоюзной научной конференции "Электрофизические методы обработки пищевых продуктов" (Воронеж, 1977);

- Республиканских научных конференциях "Интенсификация и совершенствование технологических процессов на предприятиях общественного питания" (Харьков, 1977; 1979);

- постоянно действующем коллоквиуме "Процессы и аппараты пищевых производств" кафедры оборудования предприятий общественного питания МИНХ им. Г.В.Плеханова (М., 1979);

- научных конференциях профессорско-преподавательского состава Донецкого института советской торговли в 1973-1979 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ общим объемом 2,5 печатных листа. Получено авторское свидетельство № 706060.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 187 стра-

лица машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, выводов, содержит 45 рисунков, 20 таблиц, а также библиографию и 16 приложений.

### Содержание работы

Во введении показана актуальность темы, направленной на совершенствование процесса фритюрного жарения продуктов.

В первой главе рассмотрены процессы, протекающие в продуктах, и влияние различных технологических факторов на темп изменения жиров в условиях фритюрного жарения, что помогло правильно выбрать направление исследований.

Проведен анализ конструктивных особенностей аппаратов, применяемых для фритюрного жарения и тенов с точки зрения соответствия их технологическим требованиям процесса.

Проведен обзор работ по теплообмену при вибрации теплоотдающих поверхностей.

Завершается глава целями и задачами работы, которые логично вытекают из обзора литературы.

Во второй главе проведен анализ уравнений гидродинамики и теплообмена периодического пограничного слоя и вывод критеривных зависимостей для теплоотдачи вибрирующего цилиндрического нагревателя.

Рассматривается вероятностный метод определения одновременности жарения изделий, исследуется процесс сменяемости жира, который определяет совершенство жарочных машин и аппаратов и характеризуется коэффициентом сменяемости жира

$$C = \frac{q}{M} \quad (1)$$

где  $q$  - суточный или часовой расход жира, кг/ч;

$M$  - масса жира в аппарате, кг.

Применительно к фритюрницам периодического действия, этот

показатель не совсем точно отражает реальный процесс смены жира в аппаратах этого рода.

В основу теоретического изучения реального процесса жарения изделий во фритюрницах были положены следующие соображения.

В начальный момент процесса в аппарат загружено  $M$  кг жира. Через  $\tau$  часов работы убыль жира в ванне составит  $q\tau$  кг, где  $q$  - масса жира, который выводится из жарочной ванны за час, кг/час.

Согласно технологическому требованию по обеспечению снижения темпа нежелательных химических изменений жира, в течение всего цикла жарения должно быть выдержано соотношение масс жира и продукта. Для этого убыль жира  $q\tau$  должна быть восполнена "свежим" жиром в том же количестве. Таким образом, через 1 час работы ( $\tau_1$ ) в аппарате будет находиться  $M_1$  жира, залитого в ванну в начале процесса ("старого" жира), и  $q\tau_1$  "свежего" жира, причем

$$M_1 = M - q\tau_1 \quad (2)$$

При дальнейшем жарении в продукт будет впитываться как "старый" жир ( $M_1/M$ ), так и "свежий" жир ( $q\tau_1/M$ ) пропорционально их относительному содержанию. Через 2 часа работы убыль жира будет вновь восполнена "свежим" и тогда в ванне окажется  $M_2$  "старого" жира:

$$M_2 = M_1 - \frac{q\tau_1}{M} M_1 = M - 2q\tau_1 + \frac{q^2\tau_1^2}{M} \quad (3)$$

Общая формула для  $M_\tau$  может быть записана в виде:

$$M_\tau = M + \sum_{k=1}^{\tau} (-1)^k \prod_{m=1}^k \frac{n-m}{m+1} \frac{q^k \tau_1^k}{M^{k-1}} \quad (4)$$

где  $\tau$  - продолжительность работы аппарата, час;  $\tau_1 = 1$  час;

$n$  - количество членов в уравнении,  $n = \tau + 1$ ;

$k$  - количество слагаемых в сумме;

$m$  - количество сомножителей в слагаемом.

Для получения более простого и удобного для практических оценок приближенного выражения для  $M_{\tau}$  перейдем к случаю непрерывной смены "старого" жира в ходе процесса. Пусть за бесконечно малый промежуток времени  $d\tau$  из ванны отбирается  $q d\tau$  "старого" жира и добавляется столько же "свежего" жира. Как и при выводе формулы (3), будем считать, что убыль "старого" жира  $-dM_{\tau}$  пропорциональна его относительному содержанию, то есть

$$dM_{\tau} = -\frac{M_{\tau}}{M} q d\tau \quad (5)$$

Решая это дифференциальное уравнение при начальном условии  $M_{\tau}(\tau=0) = M$  получим:

$$M_{\tau} = M \exp\left(-\frac{q}{M} \tau\right) \quad (6)$$

Сопоставление результатов расчета величины  $\frac{M_{\tau}}{M}$  по формулам (4) и (6) для двух конкретных примеров представлено на рис. 1. Оба способа расчета дают полностью совпадающие результаты, расхождение не превышает 5%.

Как видно из рис. 1, темп выведения "старого" жира в процессе тепловой обработки продуктов замедляется. Жир, добавленный вместо "старого", выведенного с продуктом, свежим также называть нельзя. В ванне все время находится  $q\tau_1$  кг свежего жира,  $q_1$  кг жира, гретого 1 час,  $q_2$  кг жира, гретого 2 часа, и т.д., при общей массе жира  $M$ .

Масса жира, долитого в ванну и гретого 1 час, равна:

$$q_1 = q\tau_1 - q\tau_1 \frac{q\tau_1}{M} = q\tau_1 - \frac{q^2\tau_1^2}{M} \quad (7)$$

Общую формулу для  $q\tau$  можно записать в виде

$$q\tau = q\tau_1 + \sum_{k=1}^{\tau} (-1)^k \prod_{m=1}^k \frac{n-m}{k-1+m} \frac{q^{k+1} \tau_1^{k+1}}{M^k} \quad (8)$$

Обозначения те же, что и в формуле (4).

Приведенные теоретические выкладки позволили ввести балль-

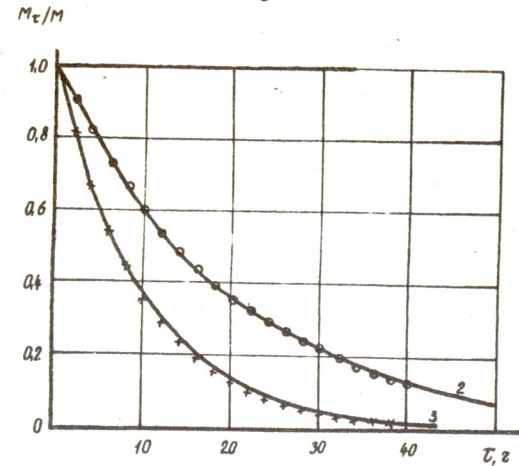


Рис. 1. Зависимости относительного количества первоначально залитого жира от времени, вычисленные по точной формуле (4) (точки) и по приближенной формуле (6) (сплошные линии)

- 1 - фритюрница ФЭСМ-20 без смены жира с  $C = \frac{q}{M} = 0$
- 2 - фритюрница ФЭСМ-20  $C = \frac{q}{M} = 0,0503 \tau^{-1}$
- 3 - вибрационная фритюрница  $C = \frac{q}{M} = 0,098 \tau^{-1}$

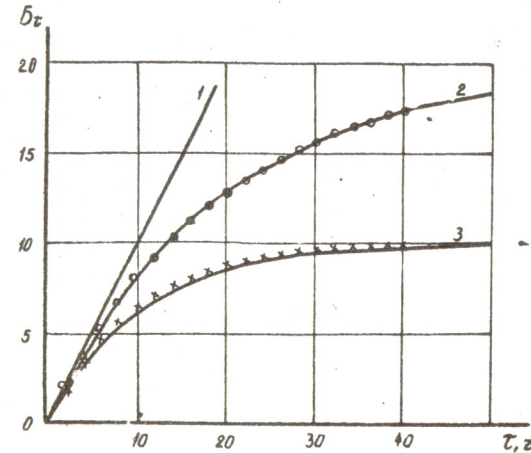


Рис. 2. Балльная оценка жира в зависимости от времени для фритюрниц:  
1-ФЭСМ-20, без смены жира,  $c=0$ ,  
2-ФЭСМ-20,  $c=0,0503 \tau^{-1}$   
3-вибрационной,  $c=0,098 \tau^{-1}$

ную оценку фритюрного жира  $B_{\tau}$ , связанную с его сменяемостью. Для нагретого жира  $B_0 = 0$ . В течение первого часа жарения  $B_1 = 1$ . В течение второго часа работы в жарочной ванне будет уже смесь "старого" и "свежего" жира, следовательно, относительное количество жира  $\frac{M_1}{M}$ , который греется второй час, получит 2 балла, а  $\frac{q\tau_1}{M}$  который греется первый час - 1 балл.

$$\text{Тогда } B_2 = 2 \frac{M_1}{M} + 1 \frac{q\tau_1}{M} = 2 - \frac{q\tau_1}{M} \quad (9)$$

Общую точную формулу для  $B_{\tau}$  можно записать в виде

$$B_{\tau} = \sum_{k=1}^{\tau} (-1)^{k+1} \prod_{m=1}^k \frac{n-m}{k-m+1} \frac{q^{k-1} \tau_1^{k-1}}{M^{k-1}} \quad (10)$$

Более простое и удобное для практических расчетов приближенное выражение для  $B_{\tau}$ :

$$B_{\tau} = \frac{M}{q\tau_1} (1 - e^{-\frac{q\tau_1}{M}}) \quad (11)$$

В предельном случае  $\frac{q}{M} \tau \ll 1$  имеем  $B_{\tau} = \tau$  (в частности,  $B_{\tau} = 1$ ). В другом предельном случае  $\frac{q}{M} \tau \gg 1$  (большие длительности процесса) имеем  $B_{\tau} = B_{\text{пред}} = \frac{M}{q\tau_1}$ , то есть максимальное значение балльной оценки жира в данном процессе. Практически, с погрешностью до 5%, это значение достигается уже при  $\frac{q}{M} \tau_0 \approx 3$  ( $e^{-3} \approx 0.05$ ); это соответствует  $\tau_0 = 60$  ч для фритюрницы ФЭСМ-20 и 30 ч для вибрационной фритюрницы. Величина  $\tau_0$  имеет смысл времени практически полной смены жира.

Сопоставление результатов расчета  $B_{\tau}$  по формулам (10) и (11) представлено на рис. 2.

Как видно из рис. 2 оба способа расчета дают совпадающие результаты, расхождение не превышает 5%. При малых  $\tau$  зависимость  $B_{\tau}(\tau)$  мало отличается от прямой независимо от величины  $\frac{q}{M}$ , в соответствии с указанным выше предельным случаем ( $B_{\tau} = \tau$ ).

Оценки величины  $\tau_0$  находятся в согласии с полученными

выше по формуле:  $\tau_0 \approx 3 \frac{M}{q}$

В третьей главе изложены методики исследований, описаны экспериментальные стенды, определены погрешности измерений.

Для исследования соответствия качества тенов требованиям технологического процесса определяли изотермичность их поверхности, для чего проводили рентгеноскопию и испытания на термичность по ГОСТ 13268-74. Равномерность температурного поля тенов измерялась в 12 точках МК термометрами диаметром 0,12 мм, уложенными в специальные канавки размером 0,8 x 0,8 мм, которые выполнялись на поверхности тена равномерно по всей длине со сдвигом по окружности на 60° относительно друг к другу.

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  от вибрирующей поверхности нагрева к жиру определялся в зависимости от теплового потока  $q$ , температуры жира  $t_f$ , полной амплитуды  $2a$  и частоты колебаний  $f$ . Тепловой поток  $q$  изменялся в интервале от 40,0 до 78,0 кВт/м<sup>2</sup>, полная амплитуда колебаний тена  $2a$  - от 10 до 30 мм, частота колебаний тена от 5,0 до 13,3 Гц.

Для исследования теплообменных характеристик фритюрниц с вибрирующей поверхностью нагрева был создан экспериментальный стенд (рис. 3). Нагрев жира в ванне осуществлялся теном, укрепленным на вертикальных тягах. Тен приводился в колебательное движение в вертикальном направлении электромеханическим вибратором. Температура поверхности тена измерялась по методике, изложенной выше. Температура фритюрного жира определялась в 48 точках при помощи ХК термометров диаметром 0,5 мм, укрепленных на термометрической решетке.

Для исследования технологических характеристик фритюрниц был создан экспериментальный стенд, состоящий из жарочной вен-

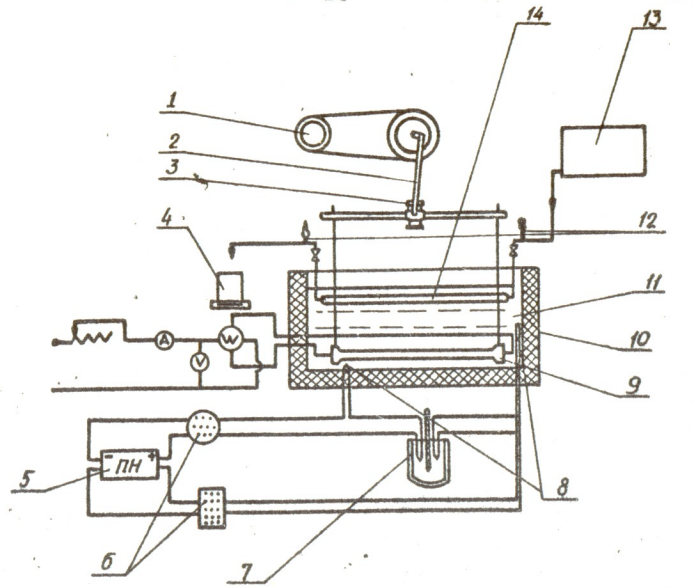


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментального стенда для исследования теплообменных характеристик фритюрницы с вибрирующей поверхностью нагрева;  
 I - электродвигатель; 2 - шатун; 3 - траверса; 4 - мерный бак; 5 - потенциометр; 6 - переключатель терморпар;  
 7 - сосуд Дьюара; 8 - терморпары; 9 - тэн; 10 - кожух;  
 11 - жарочная ванна; 12 - термометры; 13 - напорный бак;  
 14 - калориметр.

ны с холодной зоной, вибратора и пульта управления. Обогрев жира в ванне производился U-образными тэнами, которые приводились в колебательное движение с частотой от 6,6 до 13,3 Гц и полной амплитудой  $2a = 20$  мм.

Исследование комбинированного способа жарения изделий из теста проводилось в модели комбинированной фритюрницы, состоящей из жарочной ванны, "духового" шкафа и контейнера. Нагрев жира ор-

ганизован тэнами. Температура жира в ванне и воздуха в шкафу измерялась ХК-терморпарами  $d = 0,5$ , установленными на терморпарных решетках.

В четвертой главе приведены результаты исследований влияния конструкции тэнов на технологические и технико-экономические показатели процесса жарения и особенностей теплообмена в ванне фритюрницы при нагреве жира вибрирующими тэнами.

Установлено, что выпускаемые промышленностью тэны имеют "бортовую полосу", высокую неравномерность температурного поля, нерациональное размещение блоков в ваннах, шаблоны их гибки не отвечают оптимуму. Экспериментально подтверждено влияние конструктивных особенностей тэнов на процесс жарения.

Проведенные экспериментальные работы позволили разработать более совершенную конструкцию тэнов, в которой отсутствует "бортовая полоса", изменен шаблон гибки трубок тэнов.

С целью минимизации количества опытов выполнен отсеивающий факторный эксперимент, в котором варьировались шесть факторов:

$X_1$  - двойная амплитуда;  $X_2$  - частота вибрации;  $X_3$  - поверхностная плотность теплового потока;  $X_4$  - диаметр тэна;  $X_5$  - глубина погружения тэна в масло;  $X_6$  - температура масла. Переменная состояния процесса - коэффициент теплоотдачи от поверхности нагрева к маслу.

Полученное уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид:

$$\hat{y} = 1302,0 + 248,06X_1 + 126,93X_2 + 2,19X_3 - 45,32X_4 + 13,15X_6 + 23,54X_{1.2} + 2,31X_{1.3} + 1,94X_{1.5} + 7,81X_{2.4} + 11,18X_{2.5} - 1,44X_{3.5} \quad (12)$$

Анализ уравнения регрессии (12) показал, что с увеличением амплитуды и частоты колебаний тэна и с уменьшением диаметра тэна

коэффициент теплоотдачи от поверхности нагрева к жиру значительно возрастает. Тепловой поток  $\lambda$ з хотя и значим, но по сравнению с другими факторами оказывает незначительное влияние на теплоотдачу при вибрации нагревателей.

Эксперименты по определению коэффициента теплоотдачи от вибрирующего тэна к жиру выполнены при калориметрировании теплового потока на нагревателях с диаметром 14, 16, и 20 мм. На рис. 4 приведена зависимость коэффициента теплоотдачи от амплитуды и частоты колебаний тэна диаметром 14 мм. Там же, на оси ординат, нанесены точки, соответствующие коэффициенту теплоотдачи при естественной конвекции.

Как видно из рис. 4 применение вибрации тэна в условиях естественной конвекции дает значительное увеличение коэффициента теплоотдачи. Однако, как с увеличением амплитуды, так и с увеличением частоты темп роста коэффициента теплоотдачи замедляется.

На рис. 5 представлена зависимость температурного напора между поверхностью нагрева и фритюрным жиром от амплитуды и частоты колебаний тэнов диаметром 14 мм.

Как видно из рис. 5, при естественной конвекции температурный напор  $\Delta t = 121^\circ\text{C}$ . При вибрации тэна с частотой  $f = 5$  Гц и амплитудой  $2a = 10$  мм температурный напор снижается уже в 1,7 раза; при  $f = 6,6$  Гц и  $2a = 15$  мм - в 2,5 раза; при  $f = 10,0$  Гц и  $2a = 25$  мм - в четыре раза и составляет  $30^\circ\text{C}$ .

Соответственно увеличивается коэффициент теплоотдачи и снижается температурный напор между поверхностью нагрева и жиром для тэнов диаметром наружной оболочки  $d = 16$  и 20 мм.

Эксперименты позволили установить, что применение вибрационного нагрева при фритюрном жарении картофеля и пончиков интенсифицирует процесс теплоотдачи в 1,5-3,0 раза и соответствен-

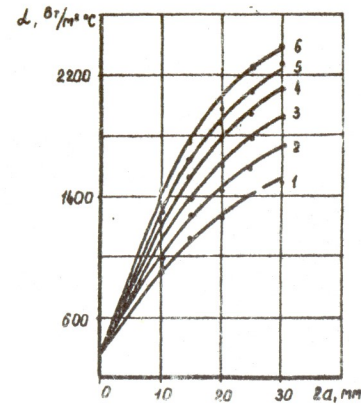


Рис. 4. Зависимость  $\lambda = F(2a, f)$  для тэна  $d = 14$  мм;  
 1 -  $f = 5$  Гц  
 2 -  $f = 6,6$  Гц  
 3 -  $f = 8,3$  Гц;  
 4 -  $f = 10,0$  Гц;  
 5 -  $f = 11,7$  Гц;  
 6 -  $f = 13,3$  Гц

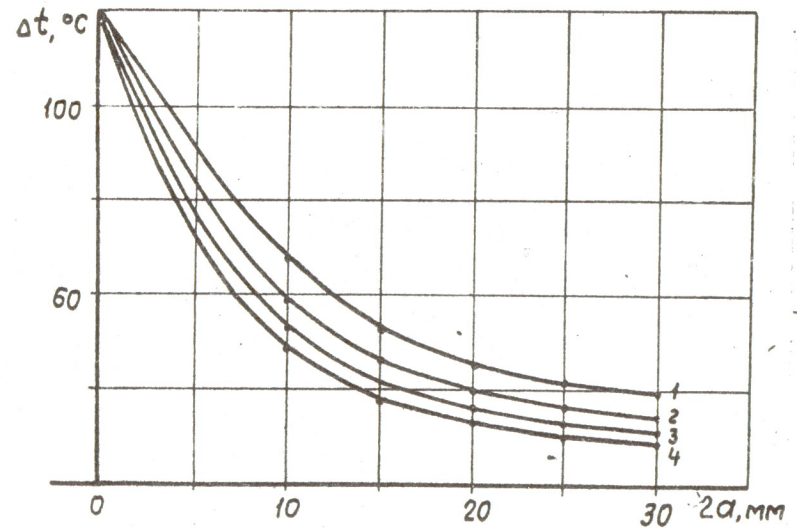


Рис. 5. Зависимость  $\Delta t = F(f, 2a)$  для тэна  $d = 14$  мм; 1 -  $f = 5$  Гц; 2 -  $f = 6,6$  Гц; 3 -  $f = 8,3$  Гц; 4 -  $f = 10$  Гц

но снижает температурный напор между поверхностью нагрева и жиром.

Вибрация поверхности нагрева дает возможность работать с более высокой тепловой нагрузкой тэна, что сокращает продолжительность нагрева фритюрного жира.

В основу обработки опытных данных были положены функциональная зависимость

$$Nu = f [Gr, Re_{ef}, Pr_f, (\frac{Pr_f}{Pr_w})] \quad (13)$$

полученная путем приведения к безразмерному виду уравнений движения, неразрывности и энергии периодического пограничного слоя и критерияльное уравнение теплообмена в общем виде, выведенное с помощью анализа размерностей.

$$Nu = C Re_{ef}^n Pr_f^k (\frac{2a}{d})^e \quad (14)$$

В окончательном вид для расчета теплоотдачи вибрирующего нагревателя можно использовать следующие зависимости, оправданные в пределах значений:

$$\begin{aligned} Re_{ef} &= 400 + 6000; Pr_f = 1,5 + 5,0; f = 3 + 14 \text{ Гц.} \\ \text{при } 0,5 \leq \frac{2a}{d} \leq 1 \quad Nu &= 0,83 Re_{ef}^{0,5} Pr_f^{0,38} (\frac{Pr_f}{Pr_w})^{0,22} (\frac{2a}{d})^{0,16} \\ \text{при } 1 \leq \frac{2a}{d} \leq 2,14 \quad Nu &= 0,83 Re_{ef}^{0,5} Pr_f^{0,38} (\frac{Pr_f}{Pr_w})^{0,22} \end{aligned} \quad (15)$$

В пятой главе приведены результаты исследований по определению влияния вибрации тэнов на технологические и технико-экономические показатели процесса жарения. Установлено, что вибрация тэнов способствует выравниванию температурных полей поверхности тэна и жира, снижению температурного перепада между ними.

Для выяснения влияния вибрации на темп изменения химических показателей жира "Белорусского" была выполнена серия опытов при его непрерывном 6-часовом нагреве с помощью вибрирующего и не-

вибрирующего тэнов с соблюдением идентичных условий.

Результаты исследований показали, что кислотное число жира в первые два часа нагрева в обоих случаях изменяется незначительно. Но уже через 3 часа нагрева в ванне с неподвижным тэном кислотное число в 1,9 раза больше, чем в жире ванн с вибрирующим тэном, а через 6 часов, соответственно, в 2,3 - 2,4 раза.

Таким образом, убедительно доказано, что вибрация тэнов способствует значительному снижению темпа нежелательных химических изменений фритюрного жира.

Для определения влияния различных факторов на продолжительность процесса жарения пончиков был выполнен факторный эксперимент. В эксперименте варьировались три фактора: X1 - начальная температура жира; X2 - способ жарения (погружной или плавающий); X3 - способ обогрева жира (вибрационный или традиционный).

Уравнение регрессии факторного эксперимента имеет вид:

$$\hat{Y} = 343,7 - 8,2X_1 - 16,0X_2 - 14,0X_3 \quad (16)$$

Анализируя полученное уравнение можно сделать выводы о количественной мере влияния каждого фактора на параметр оптимизации. Максимальное влияние на сокращение продолжительности процесса оказывает погружной способ жарения. Одновременное действие всех трех факторов снижает продолжительность обжаривания пончиков на 21,3%.

Исследован комбинированный способ жарения, результаты которого явились опорным материалом для разработки макета комбинированной вибрационной фритюрницы (А.С. 706060), рис. 6. Сравнительные результаты исследования вибрационной комбинированной фритюрницы представлены в табл. I.

1073511

с.в. 13508

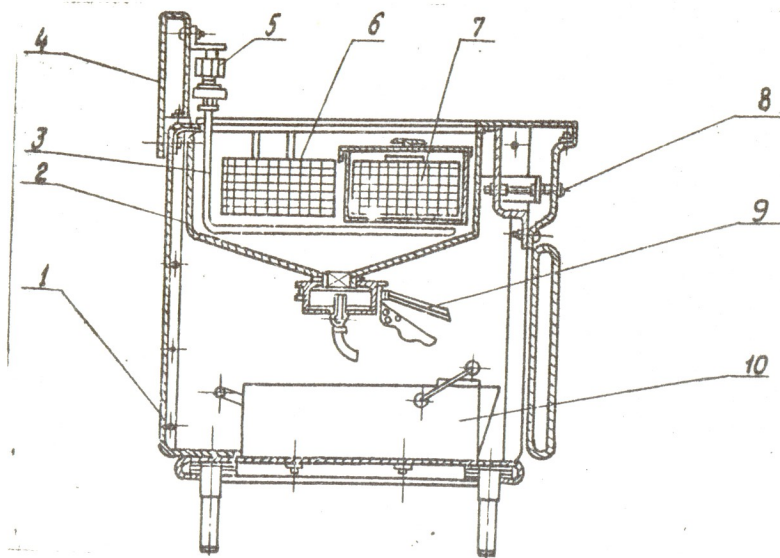


Рис. 6. Комбинированная вибрационная фритюрница;  
 1 - корпус; 2 - жарочная ванна; 3 - тэн; 4 - стойка;  
 5 - электромагнитный вибратор; 6 - двухъярусный контейнер; 7 - "духовой" шкаф; 8 - регулятор режима нагрева; 9 - маслоотстойник; 10 - маслооборник.

Таблица I

Технологические показатели работы фритюрниц

Тип фритюрницы	Длительность операций		Производительность, кг/ч	Удельный расход жира, г/кг	Удельный расход энергии, Вт/кг
	в жире	в воздухе			
Вибрационная	140	140	27,0	53,2	192
комбинированная ФЭСМ-20	217	-	217	17,3	58,0

Полученные данные позволили выполнить расчет экономической

эффективности новой фритюрницы при ее внедрении.

ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих фритюрниц позволил установить ряд конструктивных недостатков и обусловленные этим низкие технико-экономические показатели, что способствует увеличению темпа нежелательных изменений фритюрного жира и снижению качества обжариваемых изделий. На основе анализа намечены пути устранения недостатков фритюрниц путем совершенствования конструкции тэнов.

Одним из направлений интенсификации процесса жарения является сокращение длительности процесса за счет реализации в жарочной ванне комбинированного способа жарения изделий.

2. Впервые введен показатель одновременности жарения изделий, уточнено понятие коэффициента сменяемости жира, дано его математическое описание. Выведена точная формула для определения оставшегося количества жира, залитого в ванну в начале процесса и нагреваемого в течение  $\tau$  часов:

$$M_{\tau} = M + \sum_{k=1}^{\tau} (-1)^k \prod_{m=1}^k \frac{n-m}{k-m+1} \frac{q^k \tau_1^k}{M^{k-1}}$$

а также приближенная формула, удобная для инженерных расчетов:

$$M_{\tau} = M \exp\left(-\frac{q}{M} \tau\right)$$

Получена формула для определения количества жира, доливаемого в ванну в течение процесса жарения:

$$q_{\tau} = q \tau_1 + \sum_{k=1}^{\tau} (-1)^k \prod_{m=1}^k \frac{n-m}{k-m+1} \frac{q^{k-1} \tau_1^{k-1}}{M^k}$$

3. Введена балльная оценка фритюрного жира при его длительном использовании в ванне фритюрниц и получены формулы для ее определения (точная и приближенная):

$$B_{\tau} = \sum_{k=1}^{n-1} (-1)^{k+1} \prod_{m=1}^k \frac{n-m}{k-m+1} \frac{q^{k-1} \tau_1^{k-1}}{M^{k-1}}; \quad B_{\tau} = \frac{M}{q \tau_1} (1 - e^{-\frac{q}{M} \tau})$$

4. Выявлено вредное влияние "бортовой полосы" тэнов, вызванное несовершенством их конструкции, что ускоряет темп неже-

лательных изменений фритюрного жира. На основе проведенных исследований разработана и внедрена новая конструкция тэнов, удовлетворяющая требованиям технологического процесса жарения изделий во фритюрницах. Предложены для фритюрниц ФНЭ-10, ФЭСМ-20 измененные шаблоны гибки тэнов.

5. С целью интенсификации теплообмена, снижения темпа нежелательных химических изменений жира исследована вибрация тэнов в объеме нагреваемого жира. В процессе варьирования различными параметрами вибрации ( $f$  - частотой,  $A$  - амплитудой) и диаметрами тэнов подобраны их оптимальные значения.

Методом отсеивающего факторного эксперимента выявлены наиболее значимые факторы, влияющие на процесс теплообмена в вибрационной фритюрнице.

Получены зависимости коэффициента теплоотдачи от тэнов к жиру при меняющихся амплитудах вибрации и диаметрах тэнов

$$\alpha = 490 a^{0.54} f^{0.44} d^{-0.32}$$

Данные по теплоотдаче к жиру в ваннах с вибрирующими тэнами представлены в критериальном виде:

$$Nu = 0.83 Re_{bf}^{0.5} Pr_f^{0.38} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0.22} \left(\frac{2a}{d}\right)^{0.18} \quad \text{при} \quad 0.5 \leq \frac{2a}{d} \leq 1$$

$$Nu = 0.83 Re_{bf}^{0.5} Pr_f^{0.38} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0.22} \quad \text{при} \quad 1 \leq \frac{2a}{d} \leq 2.14$$

6. С помощью проведенного факторного эксперимента выявлено влияние вибрации тэнов, способа жарения изделий, температуры жира на продолжительность процесса. Установлено, что вибрация тэнов способствует сокращению длительности процесса, снижению темпа нежелательных химических изменений жира, улучшению качества готового продукта.

7. Проведен факторный эксперимент по определению удельного

расхода жира в зависимости от температуры, способа и продолжительности жарения.

Предложена формула для количественного описания временной зависимости удельного расхода жира в процессе жарения:

$$q = q_{\infty} (1 - e^{-0.31 t})$$

где  $q_{\infty}$  - коэффициент, зависящий в основном от способа жарения.

Установлено, что применение погружного способа жарения и высокой температуры (190°C) позволяет значительно снизить удельный расход жира.

8. Разработана и создана модель новой фритюрницы с вибрирующими тэнами и комбинированным способом жарения, в которой значительно снижен температурный перепад между поверхностью нагрева и жиром, в результате чего значительно увеличена плотность теплового потока, сокращена продолжительность тепловой обработки и снижен темп нежелательных изменений качества жира. Вместе с этим, применение в новой фритюрнице комбинированного жарения продуктов в средах жир - воздух позволило сократить продолжительность пребывания изделий в жире, повысить производительность аппарата, устранить перегрев жира, повысить коэффициенты оменяемости и использования жира. Удельные расходы тепла на изделие снижены на 12%.

Конструкция фритюрницы защищена авторским свидетельством.

9. Экономическая эффективность от внедрения 1000 новых фритюрниц составит 303 тыс. рублей в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Биряков С.И., Фаврилов В.Я., Жучков А.Л., Криковцев А.А., Орябинская А.Н. Влияние вибрации никакой частоты на процесс об-

жаривания овощей. - В кн.: Всесоюзная межвузовская конференция по термическим методам обработки при консервировании пищевых продуктов: Тез. докл. Одесса, 1969, с. 33-34.

2. Орябинская А.Н. Стенд для исследования возможности интенсификации процессов тепловой обработки продуктов. - В сб.: Вопросы разработки и исследования торгово-технологического оборудования. - Донецк, 1973, с. 108-113.

3. Орябинская А.Н., Орябинская Л.Т. Исследование процесса теплоотдачи от вибрирующей поверхности нагрева к растительному маслу в жарочных аппаратах. - В сб.: Конструирование и эксплуатация торгово-технологического оборудования. - Донецк, 1975, с. 30-37.

4. Орябинская А.Н. Исследование процесса теплоотдачи от вибрирующей цилиндрической поверхности нагрева к "Белорусскому" жиру. - В сб.: Конструирование и эксплуатация торгово-технологического оборудования. - Донецк, 1976, с. 44-49.

5. Вышелесский А.Н., Черкашин Н.Г., Орябинская А.Н., Орябинская Л.Т. Как влияет вибрация тэнов на их изотермичность и объем фритюрного жира. - Общественное питание, 1976, № 9, с. 60-61.

6. Беляев М.И., Орябинская А.Н., Шкурупци Е.Н., Черкашин Н.Г. Влияние вибрации тэнов на динамику химических изменений жира "Белорусского". - Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1976, № 5, с. 112-114.

7. Беляев М.И., Орябинская А.Н., Орябинская Л.Т. Коэффициент теплоотдачи от тэнов к жиру при их вибрации и качество обжариваемых продуктов. - Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1977, № 5, с. 126-127.

8. Беляев М.И., Титов А.М., Черкашин Н.Р., Орябинская А.Н.

Комбинированные способы жарения пищевых продуктов: Тез. докл. Всесоюз. научн. конф. "Электрофизические методы обработки пищевых продуктов". - Воронеж, 1977, с. 107-108.

9. Беляев М.И., Орябинская А.Н. Не все ли равно, как сконструированы и расположены тэны, если мощность их одинакова? - Общественное питание, 1979, № 1, с. 53-55.

10. Орябинская А.Н. К вопросу о сменяемости жира в ваннах фритюрниц и жарочных машин: Тез. докл. Республ. научн. конф. "Интенсификация и совершенствование технологических процессов на предприятиях общественного питания". - Харьков, 1979, с. 57-58.

11. А.с. 706060 (СССР). Электрическая фритюрница. (М.И.Беляев, А.Н.Орябинская). - Опубл. в Б.И. 1979, № 48.