

с 13
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ И ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аспирант Н. Я. САВИНА

Входящий № 897

9/III 66.

Исследование процесса
высокотемпературной обработки
некоторых пищевых продуктов
в масле

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель — профессор МАЛЬСКИЙ А. Н.

ОДЕССА
1966

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ И ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аспирант Н. Я. САВИНА

Исследование процесса
высокотемпературной обработки
некоторых пищевых продуктов
в масле

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель — профессор МАЛЬСКИЙ А. Н.

✓ 000831



ОДЕССА
1966

03-124

3/III - 66

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ И ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

г. Одесса, ул. Петра Великого, № 1/3

Уважаемый
проф. Фластонов Ф. Н.

Направляем Вам для ознакомления автореферат диссертации тов. Савиной Н. Я., представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита диссертации назначена на „7“ апреля 1966 г. Ваши замечания по автореферату просим присылать по адресу: гор. Одесса, ул. Петра Великого, № 1/3, Ученому секретарю Совета к. т. н. Жадану В. З.

Ученый секретарь Совета к. т. н. Мук (В. З. Жадан)

ВВЕДЕНИЕ

Программой Коммунистической партии Советского Союза, принятой XXII съездом КПСС, предусмотрено в течение двух десятилетий создать в нашей стране материально-техническую базу коммунизма.

Общий объем продукции сельского хозяйства возрастет за двадцать лет в три с половиной раза. Значительно увеличится производство овощей и фруктов. В связи с этим повышенные требования предъявляются к консервной промышленности, перерабатывающей продукцию сельского хозяйства.

Одним из основных процессов при производстве овоще-закусочных консервов является высокотемпературная обработка овощей в масле.

Аппараты, в которых осуществляется этот процесс, не удовлетворяют все возрастающим требованиям промышленности.

Для создания высокопроизводительного аппарата необходимо знать закономерности переноса тепла и влаги как внутри обрабатываемого продукта, так и вне его, которые в настоящее время недостаточно хорошо изучены.

Целью настоящей работы и является исследование вопросов, связанных с переносом тепла и влаги при переработке некоторых пищевых продуктов в горячем масле, установление оптимальных режимов работы аппаратов, исследование новых более эффективных методов тепловой обработки продуктов в масле.

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой и холодильной промышленности, на Херсонском и Измаильском консервных комбинатах. Работа изложена на 180 страницах машинописного текста, иллюстрирована 80 рисунками. В „Приложение“ включены 12 таблиц.

КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ И АППАРАТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ПРОДУКТОВ В МАСЛЕ

В первой главе диссертации приведен краткий обзор существующих методов высокотемпературной обработки продуктов в масле и применяемых для этой цели аппаратов. Составлен также обзор работ, посвященных изучению теплообмена в аппаратах (обжарочных печах).

Установлено, что наиболее распространенным методом тепловой обработки продуктов является обработка „погружением“ его в горячее масло (в „глубоком слое“). Такие методы, как обжаривание продуктов „под душем“ горячего масла (орошением), под вакуумом, в поле переменных температур масла, не нашли пока применения в промышленных установках.

Аппараты, в которых осуществляется процесс высокотемпературной обработки продуктов (обжарочные печи), бывают как с погружной, так и с выносной греющей камерой. Масло играет роль промежуточного теплоносителя: воспринимая тепло от греющей поверхности, оно передает его к поверхности продукта. Количество масла в системе определяется конструктивными соображениями и условиями теплообмена. Температура масла в обжарочной ванне зависит от интенсивности теплообмена между греющей поверхностью и маслом и между маслом и продуктом.

Совершенствование обжарочных печей шло, главным образом, за счет изменения конструкции нагревательной камеры и интенсификации теплообмена между греющей камерой и маслом.

Несмотря на большую работу, проведенную по улучшению конструкции обжарочных аппаратов, последние все еще не удовлетворяют требованиям промышленности.

Для создания высокопроизводительного аппарата, отвечающего всем требованиям технологии, необходимо провести исследование процессов, происходящих внутри продукта при тепловой обработке его в масле, а также выяснить закономерности теплообмена между маслом и продуктом.

Перенос тепла и вещества внутри продукта зависит от многих факторов: структуры ткани, содержания влаги, пористости, теплофизических свойств продукта и др.

Так как внутренний и внешний тепло- и массообмен взаимосвязаны и взаимообусловлены, то эти же факторы оказывают влияние и на процессы взаимодействия продук-

та с окружающей средой—маслом. От интенсивности внутреннего и внешнего тепло- и массообмена зависят продолжительность процесса и качество готового продукта.

На основании проведенного обзора сделан вывод, что применяемые в настоящее время методы тепловой обработки пищевых продуктов в масле и аппараты, в которых осуществляются эти процессы, не удовлетворяют требованиям промышленности.

Намечены пути дальнейшего совершенствования процесса высокотемпературной обработки продуктов в масле.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ ОВОЩЕЙ В МАСЛЕ

В процессе высокотемпературной обработки овощей в масле последние претерпевают ряд физических и физико-химических изменений, в результате которых свойства обжаренного продукта значительно отличаются от свойств исходного продукта—сырых овощей.

Во второй главе приводятся физические характеристики сырых овощей, а также их изменения в процессе тепловой обработки в горячем масле. В этой главе наряду с нашими исследованиями использованы работы других авторов.

Основным сырьем для изготовления овощных и овоще-закусочных консервов являются баклажаны, кабачки, морковь. Овощи относятся к группе коллоидных капиллярно-пористых тел. Ткань овощей состоит из клеток с клеточным соком и межклеточного пространства, заполненного парами влаги и воздухом. Межклеточные пространства составляют: у моркови от 2 до 10% общего объема, у кабачков—от 9 до 13%, у баклажан—от 36 до 50%.

На полученных нами фотографиях микротомных срезов моркови, баклажан видна структура ткани овощей до и после обработки их в горячем масле в течение различных промежутков времени. Изменение структуры ткани овощей зависит от длительности процесса, температуры масла и размеров кусочков. Наилучшие вкусовые качества продукт имеет в период, когда происходит испарение влаги, находящейся в межклеточном пространстве и в клетках. Ткань становится упругой, плотной. На поверхности образуется золотистого цвета корочка, придающая продукту вкус жареного.

Рассматриваются результаты исследования усадки и пористости овощей. Устанавливается, что в горячем масле объем овощей уменьшается значительно, чем при других способах тепловой обработки—сушке, бланшировке. В разных овощах наблюдается различная пористость. Она зависит от сорта и способа хранения овощей. По сечению овощей пористость также различна. Средние значения пористости овощей до и после тепловой обработки их в масле следующие: для моркови до обжаривания пористость составляет 2—10%, после обжаривания (при полном удалении влаги) значение пористости 69—76%, для кабачков—до обжаривания—9—13%, после обжаривания—80—87%, для баклажан—до обжаривания—36—50%, после обжаривания—80—91%.

Плотность овощей при обработке их в горячем масле уменьшается. Так, плотность сырой моркови составляет 0,973—1,040 г/см³, обжаренной до полного удаления влаги—0,350—0,560 г/см³, плотность сырых кабачков—0,855—0,917 г/см³, обжаренных до полного удаления влаги—0,210—0,290 г/см³, плотность сырых баклажан—0,527—0,641 г/см³, обжаренных до полного удаления влаги—0,12—0,21 г/см³.

Внутри продукта при тепловой обработке его в масле обнаружено избыточное давление. Чем выше температура масла, тем больше давление. Так, при начальной температуре масла, равной 140°, избыточное давление достигает 200 мм вод. ст. (для моркови).

Избыточное давление является основным фактором, интенсифицирующим процесс удаления влаги из продукта при обработке его в горячем масле.

При глубоком изучении процесса высокотемпературной обработки овощей в масле было выяснено, что этот процесс сходен с процессом сушки. Как и при сушке, наблюдается два периода удаления влаги: период постоянной скорости и период падающей скорости. В первом периоде влага удаляется как в виде жидкости, так и в виде пара, а во втором—только в виде пара. Движение влаги внутри продукта в первом периоде происходит за счет градиента температур и градиента давления к центру кусочка, а также градиента давления к поверхности его. Во втором периоде—за счет градиента давления к поверхности образца. В этом периоде наблюдается интенсивное парообразование внутри продукта.

Температура продукта непрерывно повышается в первом периоде процесса и постоянна во втором.

Масло впитывается под действием капиллярных сил. У моркови масло поглощается поверхностным слоем, у баклажан и кабачков—по всей толщине. Это объясняется

строением ткани овощей. Количество впитанного масла зависит от пористости и влагосодержания.

Экспериментальные исследования показали, что при тепловой обработке овощей в масле выделяется 9—10 см³ газа из 1 г продукта. Анализ показал, что газ содержит 1,2—1,5% углекислого газа и 1,4—2,1% кислорода. Наибольшее количество газа выделяется в первые минуты процесса.

Для тепловых расчетов при конструировании аппаратов необходимо знать теплофизические характеристики овощей сырых и обжаренных (λ, a, c_p). Нами определены истинные значения этих коэффициентов по методу импульсного источника, разработанному Вишневым Е. Е. Погрешность измерений была при определении теплопроводности (λ) $\pm 3\%$, при определении температуропроводности (a) $\pm 4,67\%$.

Средние значения коэффициентов теплопроводности для некоторых сырых овощей следующие: морковь—0,630 вт/мград, кабачки—0,600 вт/мград, баклажаны—0,374 вт/мград, картофель—0,630 вт/мград, свекла—0,610 вт/мград. При обжаривании овощей теплопроводность их вначале несколько увеличивается в связи с уплотнением ткани овощей, впитывания масла, а затем уменьшается по мере удаления влаги из овощей. Так, теплопроводность моркови после обжаривания 0,530 вт/мград при влагосодержании 610%, для кабачков коэффициент теплопроводности сначала повышается до 0,640 вт/мград, а затем начинает уменьшаться и при влагосодержании 1150% равен 0,617 вт/мград, для баклажан этот коэффициент колеблется в пределах 0,630 до 0,580 при влагосодержании—1070—455% к абс. сух. вещ.

Качество масла при обжаривании в нем овощей ухудшается под действием атмосферного воздуха, высокой температуры и влаги, выделяющейся из овощей как в виде жидкости, так и в виде пара. Подсчитано, что при производительности печи 1000 кг/час овощей из кабачков выделяется в масло 60—80 кг/час сока, который содержит 3—4 кг сухих веществ. Из баклажан—40—110 кг/час сока (2,9—7,9 кг сухих веществ). Мелкие частицы сухих веществ остаются в масле во взвешенном состоянии, обугливаются, в результате чего масло приобретает темный цвет и неприятный вкус. В 100 мл масла содержится от 0,34% до 0,54% твердых частиц размером от $1,14 \cdot 10^{-4}$ до $5,76 \cdot 10^{-4}$ см. Скорость осаждения наименьших частиц— $3,06 \cdot 10^{-8}$ м/сек.

Для сохранения хорошего качества масла при обработке овощей в нем коэффициент сменяемости масла в обжарочном аппарате должен быть не менее 1—2, температура—не более 160—170°. Масло необходимо предохранять

установившемся тепловом состоянии системы можно записать следующее уравнение:

$$Q_{\text{пол}} = \frac{(t_{\text{ст}} - t_{\text{исп}}) \tau \cdot F_{\text{п}}}{\frac{1}{\alpha_2} \frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{п}}} + \frac{1}{\alpha_3} \frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{исп}}} + \frac{\delta_{\text{к}}}{\lambda_{\text{к}}} \frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{исп}}}} \quad \text{кдж},$$

где $Q_{\text{пол}}$ — тепло, израсходованное на нагрев продукта и на испарение влаги

$$Q_{\text{пол}} = Gc(t_{\text{к}} - t_{\text{п}}) + Wr \quad \text{кдж},$$

где $t_{\text{ст}}, t_{\text{исп}}$ — соответственно температуры греющей поверхности и зоны испарения ($t_{\text{исп}}$ принята 100°);

τ — время процесса;

$F_{\text{п}}, F_{\text{исп}}$ — соответственно величины греющей поверхности и зоны испарения;

α_2 — коэффициент теплоотдачи от поверхности греющих труб к маслу;

α_3 — коэффициент теплоотдачи от масла к поверхности продукта;

$\delta_{\text{к}}$ — толщина корочки;

$\lambda_{\text{к}}$ — коэффициент теплопроводности корочки.

Обозначив

$$R_{\text{общ}} = \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_3} \frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{исп}}} + \frac{\delta_{\text{к}}}{\lambda_{\text{к}}} \frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{исп}}},$$

получим

$$Q_{\text{пол}} = \frac{(t_{\text{ст}} - t_{\text{исп}}) \tau F_{\text{п}}}{R_{\text{общ}}},$$

где $R_{\text{общ}}$ — общее термическое сопротивление переносу тепла, равное сумме частных термических сопротивлений;

$$R_{\text{общ}} = R_2 + R_3 + R_{\text{к}},$$

$R_2 = \frac{1}{\alpha_2}$ — термическое сопротивление теплоотдачи от поверхности нагрева к маслу;

$R_3 = \frac{1}{\alpha_3} \frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{исп}}}$ — термическое сопротивление теплоотдачи от масла к поверхности продукта;

$R_{\text{к}} = \frac{\delta_{\text{к}}}{\lambda_{\text{к}}} \frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{исп}}}$ — термическое сопротивление корочки, образующейся при обжаривании продукта.

При обработке продуктов в горячем масле имеются два несколько отличающихся механизма переноса тепла от масла к поверхности испарения. В первые минуты процесса испарение влаги идет в основном с поверхности продукта. В это время толщина корочки настолько мала, что ее термическим сопротивлением можно пренебречь, т. е. $R_{\text{к}} = 0$, тогда

$$R_{\text{общ}} = R_2 + R_3.$$

Затем, когда происходит углубление зоны испарения, толщина корочки увеличивается настолько, что термическое сопротивление ее становится значительным. Температура корочки приближается к температуре масла. В это время можно пренебречь термическим сопротивлением R_3 . Тогда

$$R_{\text{общ}} = R_2 + R_{\text{к}}.$$

Процесс теплообмена в обжарочном аппарате будет тем интенсивнее, чем меньше общее термическое сопротивление теплопередачи от поверхности нагрева к поверхности продукта. Но так как $R_{\text{общ}}$ является суммой частных термических сопротивлений, то необходимо выяснить, какое из частных термических сопротивлений является наибольшим, какие факторы влияют на это сопротивление.

Экспериментальная установка была изготовлена в соответствии с требованиями теории подобия. Погрешность измерений от $\pm 2,5\%$ до $6,5\%$.

Продукты обжариваются в ванне, изготовленной из листовой стали. Греющей поверхностью являются медные трубки $\varnothing 12$ мм, внутри которых имеется электрическая спираль. Величина греющей поверхности $0,025 \text{ м}^2$. Тепловое напряжение поверхности нагрева в обжарочной печи и в опытной установке были равны. Опыты проводились при постоянном тепловом напряжении греющей поверхности. Количество масла в обжарочной печи и в опытной установке составляет 12 кг на 1 кг продукта (сырого). В опыте измерялись величины: температура греющей поверхности, температура масла, время, количество испаренной влаги. Вес сырого продукта (моркови) во всех опытах составлял 0,05 кг. Опыты проводились при начальных температурах масла (в момент загрузки продукта) $110^\circ, 120^\circ, 140^\circ, 160^\circ$. Морковь нарезалась кубиками со сторонами 1 см, 2 см, либо в виде стружки размером $0,4 \times 0,4 \times 4,0$ см. Морковь обжаривалась в сетках и без сеток. Длительность обработки в горячем масле устанавливалась 7 минут для стружки и 15 минут для кубиков. Влагосодержание (начальное и конечное) определялось методом высушивания навески про-

дукта до постоянного веса с последующим экстрагированием масла. Температура греющей поверхности и масла измерялись каждую минуту.

Результаты опытов

В табл. 1 приведены средние значения общего термического сопротивления за все время тепловой обработки продукта в масле.

Таблица 1

Поверхность сырого продукта в $\text{м}^2/\text{кг}$	$t_{\text{нач. м}} = 110^\circ$		$t_{\text{нач. м}} = 120^\circ$		$t_{\text{нач. м}} = 140^\circ$		$t_{\text{нач. м}} = 160^\circ$	
	$R_{\text{общ}}$ $\frac{\text{м}^2\text{град}}{\text{вт}}$	$t_{\text{ст}}$ град	$R_{\text{общ}}$ $\frac{\text{м}^2\text{град}}{\text{вт}}$	$t_{\text{ст}}$ град	$R_{\text{общ}}$ $\frac{\text{м}^2\text{град}}{\text{вт}}$	$t_{\text{ст}}$ град	$R_{\text{общ}}$ $\frac{\text{м}^2\text{град}}{\text{вт}}$	$t_{\text{ст}}$ град
0,336	0,01540	136	0,01660	156	0,02520	182	0,02630	191
0,760	0,01090	137	0,01150	142	0,01540	173	0,02060	188
0,946	0,00460	135	0,00514	140	0,00660	167	0,00840	167

Из таблицы видно, что:

1. С увеличением поверхности обрабатываемых кусочков общее термическое сопротивление уменьшается.

2. При более высокой начальной температуре масла (160°) $R_{\text{общ}}$ больше, так как быстрее происходит углубление зоны испарения за счет образующейся корочки.

3. Меньшим значениям термического сопротивления соответствует более низкая температура греющей поверхности. Это объясняется интенсивным отбором тепла от поверхности нагрева, который имеет место при низких значениях общего термического сопротивления.

В работе приводятся кривые изменений влагосодержания продукта, температуры греющей поверхности и масла по времени процесса, из которых видно, что наиболее интенсивное удаление влаги происходит в первые минуты процесса. В этот период наблюдается понижение температуры греющей поверхности и масла.

С уменьшением влагосодержания продукта термические сопротивления $R_{\text{общ}}$, R_2 , R_3 увеличиваются (рис. 1). Общее термическое сопротивление определяется, главным образом, величиной R_3 (термическим сопротивлением теплопередачи от масла к зоне испарения). Для интенсификации теплооб-

мена в обжарочных аппаратах необходимо создать такие условия проведения процесса, при которых сопротивление R_3 было бы наименьшим.

Воспользовавшись методом анализа размерностей, мы получили критериальное уравнение для расчета общего термического сопротивления $R_{\text{общ}}$:

$$\frac{R_{\text{общ}}\lambda_{\text{м}}}{l_{\text{н}}} = c \left(\frac{t_{\text{ст}}}{t_{\text{исп}}} \right)^b \times \left(\frac{l_{\text{пр}}}{l_{\text{н}}} \right)^d \left(\frac{W_{\text{н}}}{W_{\text{к}}} \right)^m. \quad (1)$$

Коэффициенты c , b , d , m определены на основании опытных данных для различных режимов процесса. Например, для моркови (стружки), обжариваемой при начальной температуре масла 140° , эти коэффициенты имеют следующие значения:

I период — $c=0,280$, $m=0,750$, $b=-5$, $d=2$;

II период — $c=0,700$, $m=0,245$, $b=-5$, $d=2$.

Скорость движения масла на интенсивность теплообмена между маслом и продуктом оказывает влияние только в первый период процесса. Во втором периоде интенсивность процесса определяется, главным образом, внутренним тепло- и массообменом.

Для расчета коэффициента теплоотдачи от масла к поверхности продукта нами получено следующее критериальное уравнение:

$$\frac{\alpha_3 l_{\text{пр}}}{\lambda_{\text{м}}} = 8,55 Re^{0,93} \left(\frac{t_{\text{м}}}{t_{\text{исп}}} \right)^{-5}. \quad (2)$$

Это уравнение справедливо только для первого периода.

Для расчета коэффициента α_2 при нагревании масла в кожухотрубных теплообменниках с принудительным движением масла по трубкам получены следующие критериальные уравнения.

Для ламинарного режима движения масла

$$Nu = 0,0144 Re^{0,75} Pr^{0,33}, \quad (3)$$

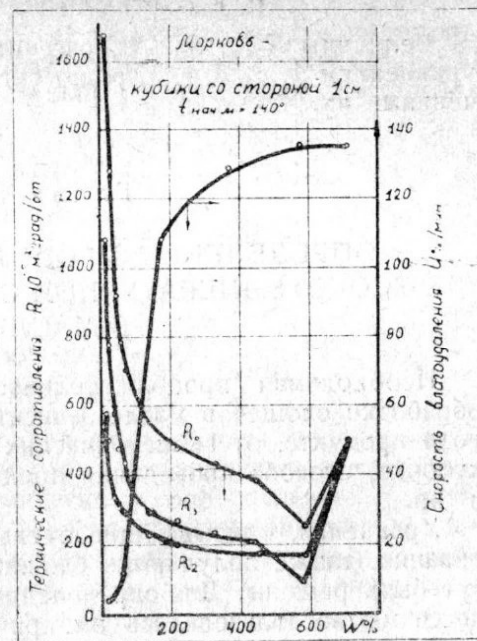


Рис. 1

для турбулентного режима движения масла

$$Nu = 0,0018 Re \cdot Pr^{0,33} \quad (4)$$

Величины $R_{общ}$, R_3 , R_2 , рассчитанные по критериальным уравнениям 1, 2, 3, 4, хорошо согласуются с опытными значениями их.

Глава V.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ В МАСЛЕ

Необходимая продолжительность высокотемпературной обработки овощей в масле зависит от многих факторов: от рода продукта, от геометрических размеров обжариваемого кусочка, способа проведения процесса, температуры масла и др.

Уравнения, описывающие очень сложный процесс обжаривания, также получаются сложными, и они не всегда могут быть решены. Для определения продолжительности процесса мы воспользовались эмпирическими методами Лыкова А. В. и Шубина Г. С.

По методу Лыкова А. В. время процесса определяется из уравнения

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n = \frac{W_n - W_{к_1}}{\kappa_1} + \frac{1}{\kappa_2} 2,3 \lg \frac{W_{к_1}}{W_{к_2}} +$$

$$+ \frac{1}{\kappa_3} 2,3 \lg \frac{W_{к_2}}{W_{к_3}} + \dots + \frac{1}{\kappa_n} 2,3 \lg \frac{W_{к_{n-1}}}{W_{к_n}} \quad [\text{мин}].$$

Величины W_n , $W_{к_1}$, ..., $W_{к_n}$, κ_2 , κ_3 , ..., κ_n определены из графиков скорости удаления влаги, построенных в полулогарифмической системе координат (по оси ординат — логарифмический масштаб — откладывается влагосодержание продукта, а по оси абсцисс — обыкновенный масштаб — время процесса). Коэффициент скорости удаления влаги для первого периода κ_1 определен из графика удаления влаги по времени, построенного в обыкновенных координатах. При интенсивном проведении процесса во втором периоде на графике наблюдается несколько прямых отрезков, примерно соответствующих зонам удаления влаги, различно связанной с материалом. В работе приводится таблица величин W_n , $W_{к_1}$, ..., $W_{к_{n-1}}$, κ_1 , κ_2 , ..., κ_n для различных способов проведения процесса. Применение этого метода для расчета про-

должительности обжаривания дает удовлетворительные результаты тогда, когда его применяют для тех же условий, для которых получены коэффициенты скорости.

По методу Шубина Г. С. из известных уравнений теплообмена путем разделения переменных и интегрирования получены следующие формулы для расчета продолжительности процесса:

I период

$$\tau_1 = \frac{(W_n - W_{кр}) \gamma_{пр} R_3^I l_{пр} F_{исп} 60}{(100 + W_n)(t_m - t_{исп}) F_n} \quad [\text{мин}].$$

II период

$$\tau_2 = \frac{(W_{кр} - W_2) \gamma_{пр} R_3^{II} l_{пр} F_{исп} 60}{(100 + W_{кр})(t_m - t_{исп}) F_n} \quad [\text{мин}].$$

Из формул видно, что продолжительность процесса прямо пропорциональна объемному весу продукта, размеру обжариваемых кусочков, термическому сопротивлению R_3 , влагосодержанию продукта и обратно пропорциональна температурному напору между маслом и зоной испарения. В действительности величины t_m , R_3 , $F_{исп}$, $\gamma_{пр}$, $l_{пр}$, W_2 непрерывно изменяются в процессе обработки овощей в горячем масле. Если весь процесс разбить на зоны, то в каждой зоне приближенно можно считать эти величины постоянными. Длительность процесса рассчитывается для каждой зоны в отдельности, а затем результаты суммируются.

Проверка показала, что результаты расчетов хорошо согласуются с опытными данными.

Глава VI.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ В МАСЛЕ НА СКОРОСТЬ УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ И КАЧЕСТВО ПРОДУКТА

Кроме тепловой обработки продуктов путем погружения его в горячее масло нами проведены исследования некоторых других способов тепловой обработки: орошением (под душем масла), в тонком слое масла, под вакуумом, при комбинированном способе передачи тепла продукту — излучением и конвекцией.

Цель исследования — определение интенсивности удаления влаги, качества обжаренных овощей, внешнего вида, продолжительности процесса.

Наиболее эффективным является способ тепловой обработки овощей в горячем масле с использованием лучистой энергии. При облучении продукта длинноволновыми ($>3 \text{ мк}$) инфракрасными лучами нагрев его начинается с поверхности, тепло внутри продукта распространяется путем теплопроводности.

При применении коротковолнового инфракрасного излучателя тепло может проникать вглубь ткани овощей до 10 мм. Механизм переноса влаги в продукте при обработке его инфракрасными лучами очень сходен с переносом влаги в овощах при их обжаривании в масле. Поверхностные слои быстро высыхают, в то время как внутренние имеют влагосодержание, близкое к начальному, так как значительный температурный градиент замедляет перемещение влаги из внутренних слоев к поверхности. Однако, скорость прогрева центральных слоев при обогреве инфракрасными лучами значительно больше, чем при конвективном обогреве. Происходит интенсивное испарение влаги внутри продукта.

Как показали наши исследования, основное термическое сопротивление теплопередаче оказывает образующаяся корочка. При обработке продукта инфракрасными лучами образование корочки можно задержать на некоторое время. Корочка, характеризующая обжаренный продукт, может быть образована при последующей после инфракрасного облучения обработке его в масле. Тепло, необходимое для испарения влаги, берется от горячего масла.

Сочетание двух способов передачи тепла обжариваемому продукту — излучением и конвекцией — можно осуществить последовательно, когда сначала продукт подвергается облучению инфракрасными лучами, а затем помещается в горячее масло, и одновременно, когда основным источником тепла являются инфракрасные лучи, и продукт вместе с маслом обрабатывается этими лучами.

Из проведенных нами опытов видно, что при обжаривании баклажан в глубоком слое масла в течение 10 минут влагосодержание уменьшается с 1080% до 760% к абс. сух. вещ. Если баклажаны подвергнуть облучению темными инфракрасными лучами при температуре воздуха у поверхности продукта 300° в течение 5 мин., а затем обжарить в масле также в течение 5 мин., то влагосодержание уменьшается до 580—630% к абс. сух. вещ.

Влагосодержание кабачков при обработке в глубоком слое масла в течение 10 мин. уменьшается с 1800% до 1080% к абс. сух. вещ. Если кабачки обработать предварительно инфракрасными лучами в течение 6 мин., а затем обжарить в масле 5 мин., то влагосодержание уменьшается до 920% абс. сух. вещ.

Более интенсивно тепло проникает внутрь продукта при обработке его коротковолновыми инфракрасными лучами. Скорость удаления влаги увеличивается, если продукт перед облучением смочить маслом. Объясняется это тем, что при облучении ИК лучами тепло к поверхности продукта передается как конвекцией, так и излучением

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{изл}} + Q_{\text{конв.}}$$

При смачивании поверхности продукта маслом интенсифицируется конвективный теплообмен, который пропорционален теплопроводности, участвующей в процессе среды

$$\left[d = \frac{\lambda}{d} (Re \cdot Pr) \right].$$

Глава VII.

РЕКОМЕНДАЦИИ МЕТОДОВ И РЕЖИМОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ НЕКОТОРЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ В МАСЛЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ АППАРАТОВ

При выборе оптимальных условий обжаривания овощей в растительном масле необходимо учитывать технологические требования, экономичность процесса, удобство обслуживания, сопряженность с предыдущими операциями, возможность автоматизации процесса.

Основными параметрами, определяющими режим процесса, являются: температура источника тепловой энергии, скорость движения теплоносителя, величина коэффициента теплоотдачи от масла к продукту, способ обжаривания, форма и размер обжариваемых кусочков, расположение продукта (толщина слоя, обжаривание в сетках или без сеток).

При конвективных способах тепловой обработки продуктов в масле (в глубоком слое масла, в потоке масла, под душем масла) интенсивность удаления влаги определяется следующим соотношением

$$\alpha_3(t_m - t_{\text{исп}}) = \rho q' + c \gamma_0 R_v \frac{dt}{d\tau},$$

где α_3 — коэффициент теплоотдачи от масла к продукту;

$t_m, t_{\text{исп}}$ — соответственно температуры масла и поверхности испарения;

$c \gamma_0 R_v \frac{dt}{d\tau}$ — удельный расход тепла на нагрев продукта;

$R_v \frac{V}{F}$ — гидравлический радиус;

$\rho q'$ — удельный расход тепла на испарение влаги.

Как показали расчеты, расход тепла на испарение влаги значительно больше, чем на нагрев продукта (примерно, в 5 раз). Интенсивность испарения влаги (без учета тепла на нагрев продукта) составляет:

$$q' = \frac{\alpha_3}{\rho} (t_m - t_{исп}) \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

Количество испаренной влаги можно увеличить, повысив коэффициент α_3 , температуру масла, градиент давления внутри продукта.

В первый период процесса теплообмен между маслом и продуктом интенсифицируется с повышением скорости движения масла. Для второго периода конвективный теплообмен не играет решающей роли. Интенсивность процесса в этот период определяется внутренним тепло- и массообменом.

Увеличение температуры масла приводит к некоторому повышению интенсивности удаления влаги в первый период. Однако, за счет увеличения градиента температур возможно перемещение влаги к центру обжариваемого кусочка, обгорание образующейся корочки, которая оказывает значительное термическое сопротивление передаче тепла. В результате для достижения заданного влагосодержания требуется больше времени.

Наиболее эффективным способом повышения скорости удаления влаги является увеличение градиента давления. Повысить градиент давления можно, интенсифицируя прогрев центральных слоев продукта, который можно осуществить, применив обогрев инфракрасными лучами.

В работе приводятся данные изменений влагосодержания, процента у жарки и впитываемости масла при различных способах проведения процесса высокотемпературной обработки овощей в масле, что дает возможность выбрать наиболее рациональный способ обработки.

Для получения обжаренных овощей высокого качества и интенсивного проведения процесса при проектировании тепловых аппаратов рекомендуется:

1. Выбрать такой метод обжаривания, при котором время нахождения масла при высокой температуре было бы минимальным, и влага не попадала бы в масло. Этим требованиям удовлетворяет способ обжаривания овощей под инфракрасными лучами.

2. Количество масла в обжарочном аппарате должно обуславливаться только технологическими требованиями, но не конструктивными и тепловыми.

3. Для обеспечения максимальной скорости удаления влаги температура масла должна быть постоянной по времени процесса (не выше 140°) или уменьшаться по времени (не ниже $125-130^\circ$).

4. При использовании для обжаривания инфракрасного излучения оптимальное расстояние источника излучения от поверхности продукта 9—10 см. Толщина слоя овощей 10—15 мм, что связано с проникающей способностью инфракрасных лучей.

5. Перемещение продукта в обжарочном аппарате следует осуществлять при помощи транспортирующей ленты, так как сетки создают значительные термические и гидравлические сопротивления.

6. Продолжительность процесса можно принять на основании наших исследований (при совмещенном способе подвода тепла к продукту — излучением и конвекцией) для кабачков — 7—8 мин., для баклажан — 5—7 мин., для моркови (стружки) — 1,5—2,0 мин.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

На основании теоретического и экспериментального исследования процесса высокотемпературной обработки овощей в масле можно сделать следующие выводы:

1. Применяемые в настоящее время методы тепловой обработки пищевых продуктов в масле и аппараты, в которых осуществляются эти процессы, не удовлетворяют требованиям промышленности. Для создания высокопроизводительного обжарочного аппарата проведено исследование внутреннего и внешнего тепло- и массообмена при обжаривании овощей в горячем масле.

2. Выяснены движущие силы перемещения влаги внутри продукта в I и II периодах процесса.

3. Изучены некоторые изменения ткани овощей при обработке их в горячем масле (усадка, пористость, впитываемость масла, изменение влагосодержания и др.).

4. Определено количество газов, выделяющихся из овощей при их обжаривании в масле.

5. Определены теплофизические характеристики (λ , a , $c\gamma$) некоторых сырых и обжаренных овощей.

6. Получены критериальные соотношения для I и II периодов процесса.

7. Выяснено, что основным термическим сопротивлением при передаче тепла от греющей поверхности к поверхности продукта является термическое сопротивление теплоотдачи от масла к поверхности продукта.

8. Получены критериальные уравнения для расчета величин $R_{обш}$, α_2 , α_3 .

9. Для расчета продолжительности процесса высокотемпературной обработки овощей в масле предложены эмпирические формулы.

10. Выяснено, что одним из лучших методов тепловой обработки продуктов в масле является метод с использованием инфракрасного излучения, при котором инфракрасные лучи проникают внутрь продукта, ускоряя процесс удаления влаги и улучшая вкусовые качества обжаренного продукта.

11. Определена величина термических сопротивлений сеток с различным живым сечением.

12. В работе дан ряд рекомендаций, обеспечивающих высокое качество продукта при тепловой обработке его в масле и большую производительность аппаратов, в которых производится эта обработка.

13. На основании результатов исследования процесса высокотемпературной обработки овощей в масле нами рассчитан обжарочный аппарат производительностью 2000 кг/час овощей с использованием инфракрасного излучения.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях:

1. Мальский А. Н., Савина Н. Я. Образование газов в масле при обжарке овощей. Труды ОТИПиХП, т. IX, в. 1, 1958.

2. Савина Н. Я. Определение коэффициентов теплообмена. Известия ВУЗ, Пищевая технология, № 1, 1964.

3. Мальский А. Н., Савина Н. Я. Теплообмен между поверхностью нагрева и обжариваемыми овощами. Известия ВУЗ, Пищевая технология, № 5, 1965.

4. Мальский А. Н. Савина Н. Я. Определение продолжительности процесса обжаривания. Консервная и овощесушильная промышленность, № 10, 1965.

Работа докладывалась на отчетно-научных конференциях в Одесском технологическом институте пищевой и холодильной промышленности:

1. XXXI отчетно-научной конференции, февраль 1962 г.

2. XXXII отчетно-научной конференции, февраль 1963 г.

3. XXXIII отчетно-научной конференции, март, 1964 г.

4. XXXIV отчетно-научной конференции, март, 1965 г.

Работа докладывалась на Всесоюзном совещании работников консервной промышленности в январе 1964 г. в УкрНИИ КП в городе Одессе.
