

## ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРОЦЕССА ЖАРКИ В АППАРАТАХ С КОСВЕННЫМ ОБОГРЕВОМ

*Потапов В.А., д.т. н., проф., Петренко Е.В., ст. препод. (ХГУПТ)*

Учеными активно ведутся поиски новых технических решений по усовершенствованию конструкций жарочных аппаратов, направленных на повышение эксплуатационных показателей и показателей качества кулинарной продукции. Одним из путей решения этой задачи является применение косвенного обогрева жарочного оборудования промежуточным высокотемпературным теплоносителем, что способствует равномерности температурного поля рабочей поверхности, высокому качеству готовой продукции, сокращает удельный расход жиров [1; 2]. Однако у оборудования с косвенным обогревом существует недостаток, высокая инерционность, снизить которую возможно путем уменьшения геометрических размеров греющей рубашки аппарата [3].

Известно, что жарка пищевых продуктов сложный теплообменный процесс, который определяется разнообразием способов подвода теплоты к поверхности продукта, особенностями внутреннего теплопереноса, а также неравномерностью температурного поля жарочной поверхности или теплоносителя. В работе [4] нами предложена приближенная модель процесса жарки основным способом ориентированная на применение в инженерных расчетах. В основу модели положен приближенный подход решения краевой задачи теплопроводности, предложенный проф. В.А. Потаповым [5] и следующие допущения: теплофизические характеристики считаются постоянными, удельная теплоемкость учитывает скрытые тепловые потери (испарение влаги, плавление жира, денатурацию белков и др.), температурное поле описывается в одномерном приближении по обобщенной координате, которая направлена вдоль вектора теплового потока, теплота от нагретой поверхности передается сквозь тонкий слой кипящего масла, нагревает внутренние пласты продукта и рассеивается в окружающую среду сквозь свободную поверхность.

С целью проверки данной математической модели и оценки технологических показателей кулинарных изделий, нами была проведена экспериментальная жарка котлет на аппаратах с косвенным обогревом с разной высотой греющей рубашки  $\delta_m = 0,026$  м и  $\delta_m = 0,062$  м. В качестве изделий, нами были выбраны мясные рубленые котлеты (№ 658 сборник рецептов) [6]. Из общей массы изделий при каждой серии жарки выбирались два опытных образца, в которых измерялись температуры. Термопары были расположены в центре образца и на двух поверхностях: та, что контактирует с жарочной поверхностью и на свободной поверхности. Эксперимент проводился для трех температур жарочной поверхности: 150, 165, 180 °С. Котлеты обжаривались с двух сторон по 4; 4,5 и 5 мин. с каждой стороны соответственно для температур 180; 165 и 150 °С. ТермоЭДС термопар фиксировались мультиметром каждые 30 с путем переключения с одной термопары на другую.

Полученные температурные кривые обрабатывались в координатах безразмерная температура - безразмерная координата согласно зависимостям [4], описывающие динамику безразмерной температуры первого этапа (1) и второго этапа жаренья (2).

$$и(x, Fo) = и_{\max}(x) - [и_{\max}(x) - и_0] \exp[-Fo \cdot k(x)], \quad (1)$$

$$и''(x, Fo) = и_{\max}(x) - [и_{\max}(x) - и_0(x, 0)] \exp[-Fo k(x)]. \quad (2)$$

где  $и(x) = T(x) / T_{cm}$  - безразмерная текущая температура,

$и_0 = T_0 / T_{cm}$  - безразмерная начальная температура,

$и_{\max}(x)$  - безразмерная максимальная температура в данной точке в стационарном

состоянии ( $Fo \rightarrow \infty$ ), которую можно представить как:

$$i_{\max}(x) = \frac{1 + \frac{1}{Bi_1} - x}{1 + \frac{1}{Bi_1} + \frac{1}{Bi_2}} + \frac{\frac{1}{Bi_2} + x}{1 + \frac{1}{Bi_1} + \frac{1}{Bi_2}} i_{\infty}$$

$$k(x) = 2 \cdot \left[ \left( 1 + \frac{2}{Bi_1} \right) \frac{\frac{1}{Bi_2} + x}{1 + \frac{1}{Bi_1} + \frac{1}{Bi_2}} - x^2 \right]^{-1};$$

где  $i_{\infty} = T_{\infty} / T_{cm}$  - безразмерная температура окружающей среды,

$Fo = a\phi / R_V^2$  - число Фурье,

$Bi_1 = \delta R_V / \lambda$ ,  $Bi_2 = \delta_{cm} R_V / \lambda$  - критерии Био для свободной поверхности и жарочной поверхности соответственно,

$x = r / R_V$  - безразмерная координата.

Для расчета температуры по формулам (1) и (2) значение безразмерной координаты  $x$  равняется: на жарочной поверхности  $x_1=0$  в центре продукта  $x_2=1/2$ ; на свободной поверхности  $x_3=1$ .

В результате обработки этих данных были определены критерии  $Bi_1$  и  $Bi_2$  значение которых приведено в табл. 1.

Таблица 1 – показатели критериев  $Bi$  для жарочных аппаратов с косвенным обогревом

Высота греющей рубашки, м	0,026	0,062
$Bi_1$	5.95±0,3	5.83±0,3
$Bi_2$	13.4±0,7	7.29±0,4

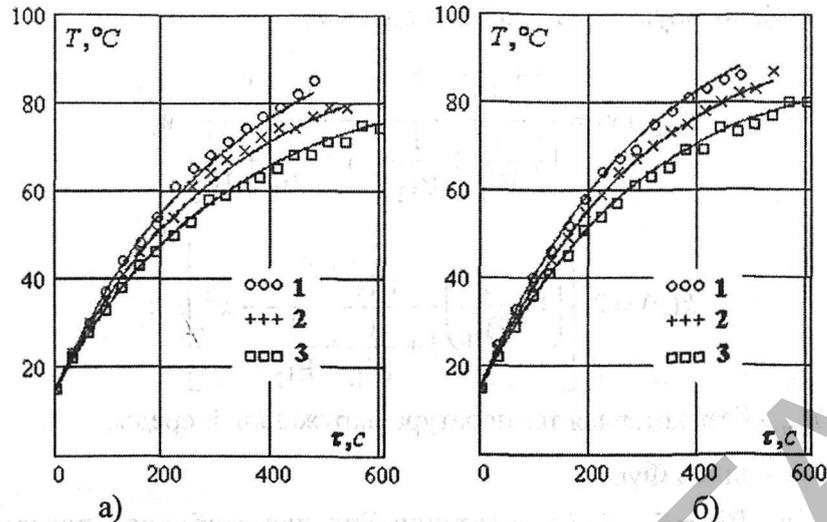
Установлено, что критерии Био не изменяются с температурой жарочной поверхности потому, что с увеличением температуры возрастают одновременно коэффициенты теплообмена и теплопроводности продукта. Уменьшение высоты греющей рубашки, приводит к увеличению коэффициента теплообмена жарочной поверхности, что увеличивает значение  $Bi_2$  но не сказывается на значениях  $Bi_1$ .

Относительная погрешность аппроксимации температурных кривых уравнениями математической модели (1), (2) колеблется в пределах 2...8%. Большая погрешность характерна для зависимостей, описывающих температуры поверхностных слоев образца, что связано со сложностью размещения термодатчиков в этих местах, а также процессами кипения и испарения, происходящих на этих поверхностях.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что уменьшение высоты греющей рубашки приводит к интенсификации теплообмена на жарочной поверхности, вследствие чего темп изменения температур в поверхностном слое, контактирующем с жарочной поверхностью, значительно возрастает. Что касается свободной на первом этапе поверхности образца, то уменьшение высоты греющей рубашки практически не влияет на темп ее нагревания. Это подтверждается данными табл. 1, где критерий  $Bi_1$ , описывающий процесс конвективного теплообмена с окружающей средой практически не изменяется.

Полученные экспериментальные данные позволяют определить технологически допустимую неравномерность жарочной поверхности, исходя из анализа динамики температуры изделия.

На рисунке 1 приведена динамика температуры в центре котлеты во время жарки на экспериментальном аппарате с разной высотой греющей рубашки.

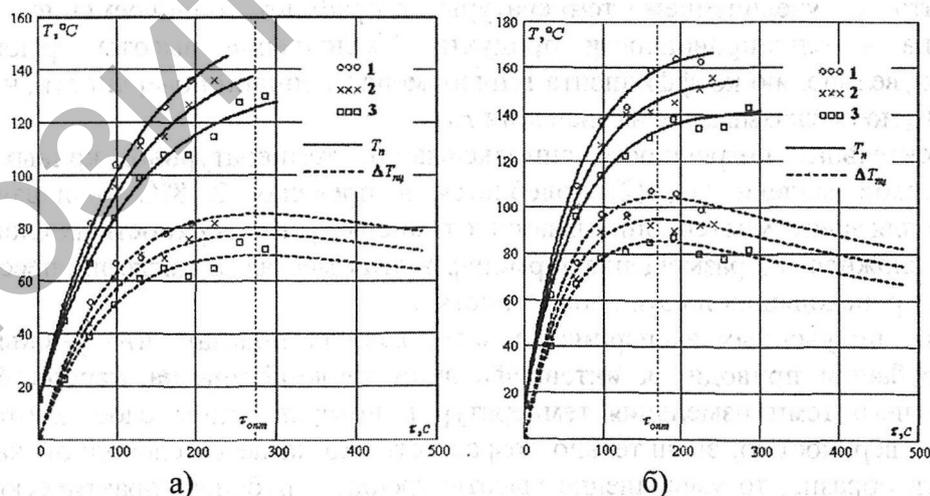


а) при  $\delta_m = 0,062$  м; б) при  $\delta_m = 0,026$  м: 1 -  $t_{жп} = 180$  °С; 2 -  $t_{жп} = 165$  °С; 3 -  $t_{жп} = 150$  °С

Рисунок 1 – Температура в центре котлеты при жарке в аппарате с разной высотой греющей рубашки

Исходя из полученных данных, учитывая рекомендации технологии жарки основным способом, (3...5 мин. с каждой стороны [7]), в аппарате с высотой греющей рубашки  $\delta_m = 0,062$  м только при температуре жарочной поверхности  $180$  °С температура в центре котлеты достигает минимально допустимой по показателями безопасности мясных изделий ( $80$  °С). Вместе с тем в аппарате с высотой греющей рубашки  $\delta_m = 0,026$  м вследствие большего коэффициента теплоотдачи для всех рекомендованных диапазонов продолжительности жарки температура в центре котлеты достигает минимально допустимой.

На рисунке 2 приведена динамика температуры поверхности котлеты и разницы между поверхностью и центром на первом этапе жаренья для двух высот греющей рубашки жарочного аппарата.



а) при  $\delta_m = 0,062$  м; б) при  $\delta_m = 0,026$  м: 1 -  $t_{жп} = 180$  °С; 2 -  $t_{жп} = 165$  °С; 3 -  $t_{жп} = 150$  °С

Рисунок 2 – Динамика температур поверхности и разницы поверхность-центр котлеты при жарке в аппарате с высотой греющей рубашки:

Пунктирными линиями показана экстраполяция динамики температурной разницы поверхность – центр изделия согласно предложенной модели (уравнение 1), значение  $\tau_{онт}$  рассчитано по уравнению 3.

$$\Phi_{жар} = 2 \frac{R_V^2}{a} Fo_{опт}, \quad (3)$$

де  $Fo_{опт}$  – оптимальне время первого этапа жарки, при котором достигается максимальный перепад температур поверхность – центр изделия.

Как следует из эксперимента продолжительность первого этапа жарки была близка к оптимальной для аппарата с высотой греющей рубашки  $\delta_m = 0,062$  м и  $t_{жсп} = 150$  °С, но при этом, температура центра готового изделия была меньше чем рекомендованная. Для аппарата с высотой греющей рубашки  $\delta_m = 0,026$  м продолжительность первого этапа жарки оказалась близкой к оптимальной при температуре жарочной поверхности  $t_{жсп} = 180$  °С при этом температура центра готового изделия была немного больше чем рекомендованная (см. рис. 1.б).

Для оценки влияния неравномерности температуры жарочной поверхности в эксперименте моделировалась неравномерность в 15 и 30 °С: ( $t_{жсп} = 150; 165; 180$  °С). Продолжительность жарки должна определяться по минимальной температуре жарочной поверхности, для обеспечения температуры готовности в центре изделия. При этих условиях в местах с максимальной температурой жарочной поверхности будет наблюдаться наибольшая температура поверхности изделия, которая может превышать технологически допустимую.

Как показывает анализ температурных зависимостей при максимальной исследованной неравномерности температуры жарочной поверхности в 30 °С разница между максимальной и минимальной температурами поверхности котлеты при оптимальной продолжительности первого этапа жаренья для аппарата с высотой греющей рубашки  $\delta_m = 0,026$  м составила 26 °С, а для аппарата  $\delta_m = 0,062$  м – 23 °С. Абсолютный максимум температур поверхности котлеты не превышал для аппарата с  $\delta_m = 0,026$  м - 140°С, а для аппарата с  $\delta_m = 0,062$  м - 160 °С, что вкладывается в технологический диапазон, который рекомендован для жарки мясных изделий. Таким образом, можно считать, что температурная неравномерность жарочной поверхности в 30 °С полностью удовлетворяет технологическим требованиям. Соответственно высота греющей рубашки в диапазоне 0,026...0,062 м обеспечивает технологические требования процесса жарки основным способом.

Результаты проведенной дегустации показали, что изделия, обжаренные на двух аппаратах, в полной мере удовлетворяют предлагаемым требованиям. Оценка мясных рубленых котлет, приготовленных на аппарате с  $\delta_m = 0,026$  м, равняется 4,95 балла, на аппарате с  $\delta_m = 0,062$  м – 4,85 балла. Более высокий балл изделий, приготовленных на аппарате с  $\delta_m = 0,026$  м, получен за счет того, что они оказались более сочными, так как на их поверхности раньше образовалась корочка жаренья.

#### Литература

1. Черевко О.І., Михайлов В.М., Бабкіна І.В. Процеси та апарати жаріння харчових продуктів. – Х.: ХДАТОХ, 2000. – 332 с.
2. Беляев М.И., Пахомов П.Л. Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов. – Х.: ХИОП: Коммунист, 1991. – 160 с.
3. Потапов В.О., Петренко О.В. Оптимізація геометричних параметрів мастильної оболонки універсального жарильного апарата з проміжним обігрівом. Зб. тез доповідей Всеукр. наук-практ. конф. «Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі» Харків 18 листопада 2010 р. – Х.: ХДУХТ, 2010. – С. 25-26.
4. Потапов В.О., Петренко О.В. Моделювання процесу жарення кулінарних виробів основним способом // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства та торгівлі : Зб. наук. пр. / Харківський держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2008. – Вип. 2 (8). – С. 248–252.
5. Потапов В.О., Сомов О.С. Наближена модель динаміки теплообмінних процесів // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства та

торгівлі : Зб. наук. пр. / Харківський держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2008. – Випуск 1 (7) – С.380-388

6. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий. – М: Экономика, 1983. – 718 с.

7. Ростовский В.С. Технология производства продукции общественного питания. – К: Выща школа, 1991. – 200с.

УДК 663.993.42

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ КАРАМЕЛЬНОГО СОЛОДА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТЕМНЫХ СОРТОВ.

Груданов В.Я., д.т.н., проф., Белохвостов Г.И., к.т.н., доц., Э.И. Пол Дивени (БГАТУ)

Карамельный солод – это сильно окрашенный ароматический продукт, получаемый из свежепросоженного светлого солода путем осахаривания и обжаривания. Его готовят по следующей схеме: свежепросошенный светлый солод многократным орошением водой увлажняют до 50-60% и загружают в обжарочный барабан на 2/3 его вместимости. При частоте вращения барабана 30 мин<sup>-1</sup> солод нагревают до 70<sup>0</sup>С, выдерживают 40-50 мин, затем нагревают до 120-170<sup>0</sup>С, давая возможность солоду в это время высохнуть, и обжаривают до получения нужного цвета в течение 2,5-4,0 ч. Для светлого карамельного солода температура обжаривания должна быть равной 110-120<sup>0</sup>С, для солода средней цветности – 130-150<sup>0</sup>С, для темного солода – 150-170<sup>0</sup>С. [1, 2]

Изучая состояние вопроса по данной теме, было установлено, что на пивоваренных предприятиях Республики Беларусь такие установки практически отсутствуют, а сама пивоваренная промышленность использует темные сорта солода, закупаемые за рубежом. Таким образом, возникает необходимость в разработке и внедрении установок, которые позволяют производить качественный карамельный солод самостоятельно.

### Результаты экспериментальных исследований

Проанализировав существующие конструкции обжарочных барабанов, их недостатки и преимущества, было предложено новое техническое решение.

В обжарочном аппарате, содержащем вал, закрепленный на валу обжарочный барабан с направляющими на внутренней поверхности, согласно новому техническому решению, вал выполнен в виде шнека, направляющие – в виде винтовой линии с противоположным шнеку направлением витков, при этом площадь нормального сечения канавки шнека равна площади нормального сечения канавки направляющих.

При этом количество канавок шнека определяется по формуле:

$$n_{ш} = \frac{n_6 \cdot v_6}{v_{ш}},$$

где  $n_{ш}$  – количество канавок шнека;  $n_6$  – количество канавок направляющих обжарочного барабана;  $v_6$  – поступательная скорость продукта по виткам направляющих обжарочного барабана, м/с;  $v_{ш}$  – поступательная скорость продукта по виткам шнека, м/с.

Выполнение вала в виде шнека, а направляющих в виде винтовой линии с противоположным шнеку направлением с равенством площади нормального сечения канавки шнека и площади нормального сечения канавки направляющих позволяет уравнивать производительности шнека  $Q_{ш}$  и винтовых направляющих  $Q_6$ , так как производительность шнека определяется по формуле:

$$Q_{ш} = F \cdot v \cdot \varphi \cdot \rho,$$

где  $F$  – площадь нормального сечения канавки шнека, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость продвижения продукта вдоль канавки винтовой линии, м/с;  $\varphi$  – коэффициент заполнения площади  $F$  продуктом;  $\rho$  – плотность продукта в насыпном виде, кг/м<sup>3</sup>.

Равенство производительностей шнека  $Q_{ш}$  и винтовых направляющих  $Q_6$  обеспечивает