

Гайсин И.А., старший преподаватель, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
Галиакбаров А.Т., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
Исрафилов И.Х. доктор технических наук, профессор, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», e-mail: irmaris@yandex.ru

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЖАРКИ

Аннотация: Рассмотрено влияние теплового режима обжарки на качество фритюрного масла и качества конечного продукта. Показано влияние влаги и ее форм на образование корочки в процессе жарки во фритюре.

Ключевые слова: вязкость, коэффициент конвективной теплопередачи, деградация масла, математическая модель.

Введение. Обжаривание во фритюре известно со времен Древнего Египта [1] и с тех пор оно является одной из наиболее широко распространенных технологий производства кулинарных изделий и одной из основ мировой индустрии питания. В связи с этим, перед исследователями постоянно стоит задача стабильного повышения качества выпускаемой продукции, характеристик энерго-ресурсосбережения оборудования, которая, в том числе, может быть решена и путем повышения точности задания теплового режима нагрева фритюрного жира [2].

Основная часть. Состояние стабилизации показателей качества технологических процессов фритюрной жарки можно рассматривать одним из способов предотвращения окислительных и других физико-химических процессов во фритюре при одновременном сохранении и улучшении качества готового продукта [3]; второй - тепло- и массообменным, гидродинамическим явлениям с целью выбора

рациональных режимов процесса и его конструктивного оформления применительно к жарке различных продуктов [4].

На скорость и обратимость окислительно-восстановительных процессов в жирах при фритюрной жарке, влияющих на сохранение и улучшение качества готового продукта, могут оказывать следующие факторы:

– *температура*, повышение которой будет ускорять пиролиз, а также гидролитические и окислительные процессы. Например, при 200°C гидролиз жира протекает в 2,5 раза быстрее, чем при 180°C, кроме того, при температурах выше 200°C ускоряются процессы полимеризации [5];

– *присутствие кислорода воздуха* приводит к ускорению окислительных процессов. Исследования в этой области направлены, с одной стороны на исследование качества масла, а с другой стороны - на выбор рационального режима жарки различных продуктов и теоретического его обоснования [6, 7].

– *присутствие катализаторов окисления*, к которым относятся хлорофилл и металлы переменной валентности *и антиоксидантов*. К естественным антиоксидантам относятся каротин, токоферолы, к искусственным – бутилоксианизол, бутилокситолуол и др. Так как термическая обработка жиров приводит к порче масла, ряд исследований направлен на разработку способов стабилизации жиров с использованием различных антиоксидантов [6, 8].

– *химический состав обжариваемых продуктов*, естественное содержание в них антиоксидантов. Так, при холостом нагреве масла процессы окисления происходят быстрее, чем при обжаривании продуктов, что связано с антиокислительными свойствами входящих в их состав таких компонентов как витамин С, некоторые аминокислоты, глутатион и т.д. [6, 7];

– *степень ненасыщенности жиров*: ненасыщенные жиры ввиду наличия двойных связей окисляются быстрее, чем насыщенные [6]. В

частности установлено, что при высокотемпературной обработки скорость геометрической изомеризации ненасыщенных жирных кислот зависит от степени их ненасыщенности, поэтому использование жиров на основе высокоолеинового масла будет способствовать получению продукта более однородного качества [9]. Аналогичные выводы сделаны и по отношению к пальмовому маслу [10].

Скорость удаления влаги из обжариваемых продуктов в значительной мере зависит от градиента давления и градиента влагосодержания [11, 12]. При погружении продукта в жир на повышение давления внутри продукта влияет его температура. После прогрева поверхностных слоев продукта до температуры насыщения паров в капиллярах, температура жира уже не влияет (так как температура насыщения будет оставаться на том же уровне). Если температуру жира поддерживать на том же уровне, то поверхностный слой будет интенсивнее высушиваться. Скорость прогрева продукта от поверхностного слоя до центральных слоев будет зависеть только от установившейся температуры насыщения сока в капиллярах, а давление в продуктах будет зависеть от этой скорости.

В первый период постоянной скорости изменения влагосодержания, влага в виде жидкости движется к центру образца под действием градиента температур, и в виде жидкости и пара - к поверхности под действием градиента давления [11, 12]. Если влагосодержание продукта очень большое, то градиент влагосодержания практически не влияет на перемещение влаги.

Во втором периоде падающей скорости удаления влаги происходит интенсивное парообразование во всех слоях продукта. Влага перемещается от центра продукта к его поверхности под действием градиента давления и только в виде пара [11, 12].

Поглощение фритюрного жира в пористую структуру продукта начинается, когда часть влаги выпарена из продукта, и прекращается в

момент достижения продуктом влагосодержания 200-300%, при котором происходит повышение температуры поверхности до значения, близкого к температуре фритюрного масла [11, 12].

Чтобы избежать сложных моделей, в исследовании диффузии воды и раствора во время осмотического обезвоживания использовались модели, разделенные на отдельные области. Визуальное наблюдение за жаркой показывает, что скорость потери влаги очень низкая в начале жарки и затем резко увеличивается до максимума, после которого испарение влаги со временем уменьшаются по экспоненте. Кроме того, испарение влаги не однородно по всему объему продукта: вначале это происходит на поверхности продукта, и при последующем нагревании испарение влаги постепенно развивается к центру продукта. Структурные и цветные изменения также сначала происходят на поверхности продукта. Это предполагает существование двух областей с граничными условиями и временной зависимостью, которое может быть связано с формированием корки или нагревающимся до 103°C центром продукта [13].

Процесс жарки происходит быстрее на поверхности тестовых заготовок, чем в центре продукта. Из-за геометрических форм на поверхности теплопередача и перемещение вещества происходят радиально и в осевом направлении, тогда как в центре продукта радиальная передача маловажна. Проведенный анализ поглощения фритюрного масла в продукт доказывает, что проникновение масла происходит быстрее на поверхности, чем в центре продукта, как показано на рисунке 1 [14].

Состояние стабилизации показателей качества технологического процесса может быть достигнуто путем различных сочетаний стадий воздействия на продукт, а именно в комбинированных способах фритюрной жарки, что обусловлено определенными закономерностями процесса, а именно: кинетикой образования корочки поджаривания, удаления влаги из продукта и поглощения им жира, а также температуры

жира [15].

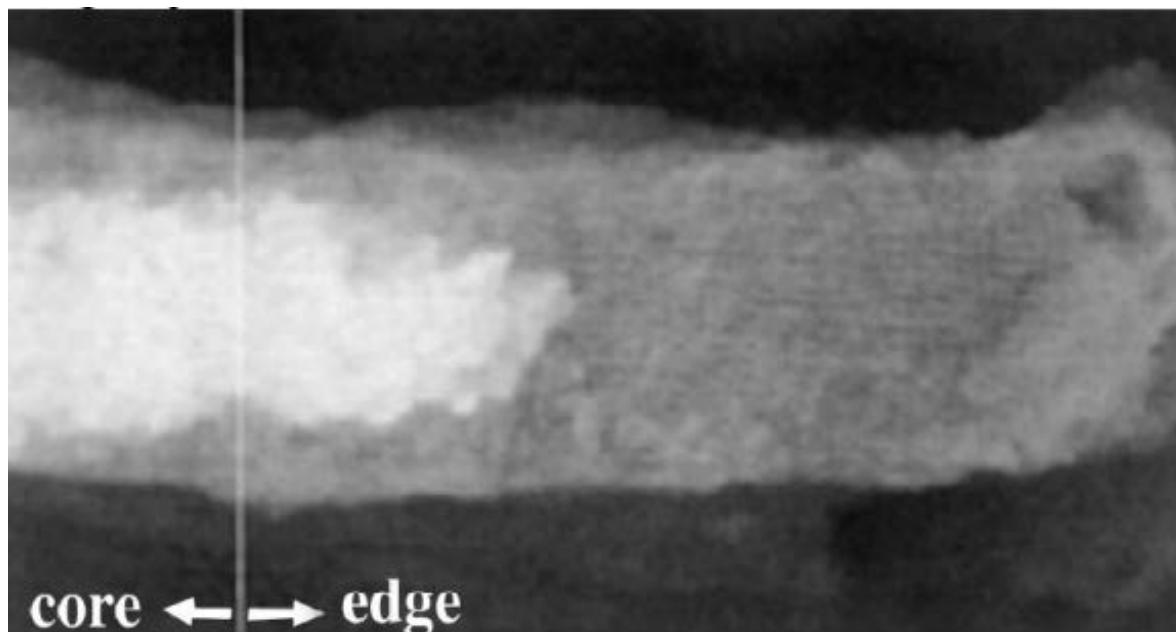


Рис. 1. Микрофотография ($\times 50$) продольного сечения кусочка картофеля, обжаренного в масле при 140°C в течение 45 с. Центр (core) и поверхность (edge). Более темная область - зона проникновения масла.

Каждый из названных процессов для достижения наилучшего показателя качества продукта требует различных режимов, т.е. различного изменения параметров рабочей камеры или рабочей поверхности в течение одного цикла. Для рационального ведения процесса жарки температура камеры и приток теплоты к изделию должны быть не постоянны, а различны в течении процесса. Так, высокая температура жарочной ванны, необходимая для быстрого прогрева изделия и закрепления его структуры в первой половине процесса обжарки, должна быть снижена во втором периоде процесса, чтобы избежать образования излишне толстой корочки на поверхности изделия и значительного уменьшения массы [16].

Для отработки режимов нагрева необходимо с достаточной степенью точности знать не только температуру на поверхности продукта, но и профиль распределения температуры по толщине тела. Получение такой информации экспериментальным путем затруднено технологическими причинами (не представляется возможным измерять непрерывное поле

температур ограниченным количеством датчиков). В этом случае требуется разработка математической модели процесса и проведение на ее основе численных экспериментов для широкого набора характеристик нагрева.

Выводы. Таким образом, основной задачей при разработке рациональных инженерно-конструкторских решений для определения оптимального теплового режима при жарке во фритюрном масле, является стабилизация качества этих процессов, что может быть достигнуто как экспериментальным методом, так и методом численного моделирования. При этом, несмотря на многочисленные экспериментальные исследования процесса жарки, недостаточно изучена возможность моделирования теплофизических процессов на основе теории теплопроводности простых сред с памятью.

Литературы

1. Sahin S. Preface. [Text] / Sahin S. Sumnu S.G. // *Advances in Deep-Fat Frying of Foods*. CRC Press. Boca Raton, FL: 2009 pp. xi
2. Bordin K. Changes in food caused by deep fat frying – A review. [Text] / K. Bordin, M.T. Kunitake, K.K. Aracava, C.S.F. Trindade // *Archivos Latinoamericanos De Nutrición*. – 2013. – V. 63(1). – P. 5-13
3. Dana D. Review: Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth [Text] / D. Dana, I.S. Saguy // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2006. – V. 128–130. – P. 267–272.
4. Ahromrit A. Heat and mass transfer in deep-frying of pumpkin, sweet potato and taro. [Text] / A. Ahromrit, P.K. Nema // *Journal of Food Science and Technology*. – 2010. – V. 47(6). – P. 632–637.
5. Saguy, I.S. Oil uptake in deep-fat frying: Review. [Text] / I.S. Saguy, G. Ufheil, S. Livings // *Oleagineux, Corps Gras, Lipids*. – 1998. – V. 5. – P. 30–35.
6. Choe E. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils [Text] / E. Choe, D.B. Min

// Journal of Food Science. – 2007. – V. 72(5). – P. R77-R86

7. Калашникова, Л.И. Химические аспекты процесса термодеструкции жирных кислот при производстве фри-продукции [Текст] / Л.И. Калашникова, М.Д. Назарько, В.Г. Лобанов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2013. – № 5/6. – С. 8-10

8. Aladedunye F.A. Natural antioxidants as stabilizers of frying oils. [Text] / F.A. Aladedunye // Eur. J. Lipid Sci. Technol. – 2014. – V. 116. – P. 688–706.

9. Султанович, Ю.А. Высокоолеиновое подсолнечное масло основа для фритюрных масел и жиров [Текст] / Ю.А. Султанович, Т.А. Духу // Пищевая промышленность. – 2012. – № 3. – С. 2224

10. Шильман Л.З. Исследование термообработанного пальмового масла. [Текст] / Л.З. Шильман, М.Н. Куткина, И.В. Симакова // Техника и технология. – 2004. – №5 – С. 33-36.

11. Bouchon P. Understanding Oil Absorption During Deep-Fat Frying [Text] / P. Bouchon // Advances in food and nutrition research. – 2009. – V. 57. – P. 209-234.

12. Васькина В.А. Обжаривание мучных изделий во фритюре. Механизмы впитывания жира [Текст] / В.А. Васькина, Н.А. Львович, Т.С. Вайншенкер // Масла и Жиры. – 2014. – № 1–2. – С. 28-31

13. Гайсин И.А. Влагосодержание при жарке национальных мучных изделий / Гайсин И.А., Сарапулова Ю.В., Исрафилов И.Х., Галиакбаров А.Т. // В сборнике: Современные технологии продуктов питания Сборник научных статей международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Горохов А.А.. 2014. С. 52-55.

14. Gamble, M. H., & Rice, P. (1987). Effect of pre-fry drying of oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. International Journal of Food Science and Technology, 22, 535-548.

15. Gaysin I.A. Patterns of food thermal processing in electric deep fat fryers ireka. Gaysin / Gaysin I.A., Sarapulova J.V., Israfilov I.K., Galiakbarov

А.Т. // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 24. С. 44791-44794.

16. Гайсин И.А. Традиционная и вакуумная жарка пищевых продуктов / Гайсин И.А., Сарапулова Ю.В., Исрафилов И.Х., Галиакбаров А.Т. // В сборнике: Современные технологии продуктов питания Сборник научных статей международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Горохов А.А.. 2014. С. 49-52.

Gaysin I.A., senior lecturer, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University,

Galiakbarov A.T., candidate of engineering sciences, associate professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.

Israfilov I.H., doctor of technical sciences, professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University.

E-mail: irmaris@yandex.ru

APPROACHES TO MODELING THERMOPHYSICAL PROCESSES OF FAT

Abstract. The influence of the roasting heat regime on the quality of the frying oil and the quality of the final product. The influence of moisture and its forms on the formation of crust during frying in in the deep fryer is shown.

Keywords: viscosity, heat conduction coefficient, oil degradation, mathematical model.