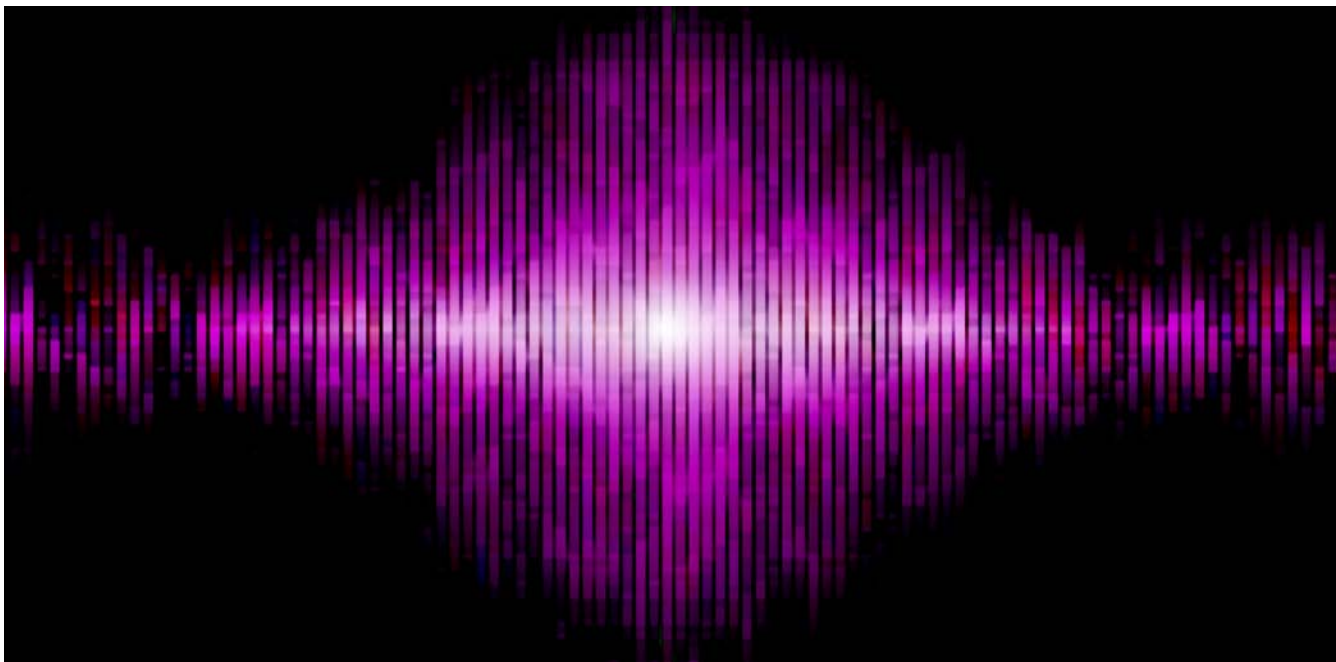


ПЕНЫ НА ОСНОВЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Измерение объема вносимого воздуха ультразвуковым методом

Инновационная ультразвуковая система измерения и соответствующие алгоритмы анализа позволяют контролировать внесение воздуха в пищевые пены на основе зерновых культур во время взбивания.



© Watin Klaisuk - 1377.com

+ Внесение воздуха

От того, какое количество воздуха вносится во вбиваемые пищевые продукты, зависит их текстура и качество. Пена представляет собой газообразные пузырьки (поры), составляющие единую структуру, заключенную в твердые или жидкие стенки. Пены на основе зерновых культур можно описать как неоднородные суспензии, состоящие из твердых практически круглых частиц крахмала, окруженные вязко-эластичной сеткой (глютенем) с газовыми включениями. Эта работа посвящена исследованию пищевых пен на основе зерновых культур, которые содержат меньше количество муки, чем тесто, и используются преимущественно для приготовления кондитерских изделий высшего класса. Основными ингредиентами таких масс являются яйца, сахар и крахмал. При этом в зависимости от технологических

параметров переработки и конкретного состава плотность таких масс составляет приблизительно 1 000 – 500 г/л. Количество вносимого в пены воздуха зависит как от выбранного способа приготовления с его индивидуальными технологическими параметрами, такими как продолжительность взбивания или скорость сдвига, так и от качества исходного сырья, свойства которого могут варьироваться от партии к партии. Именно поэтому контроль за приготовлением пены в режиме реального времени играет важнейшую роль в технологической цепочке производства. В процессе взбивания в пены на основе зерновых культур вносится определенное количество газа, что влечет за собой изменение текстуры. Количество вносимого газа при этом влияет как на перерабатываемость массы, так и на качество продукции после термической обработки. Нежелательные отклонения можно предотвратить только в том случае, если есть возможность анализировать внесение воздуха в режиме реального времени. Таким образом, от количества вносимого газа напрямую зависит плотность получаемой массы.

Авторы

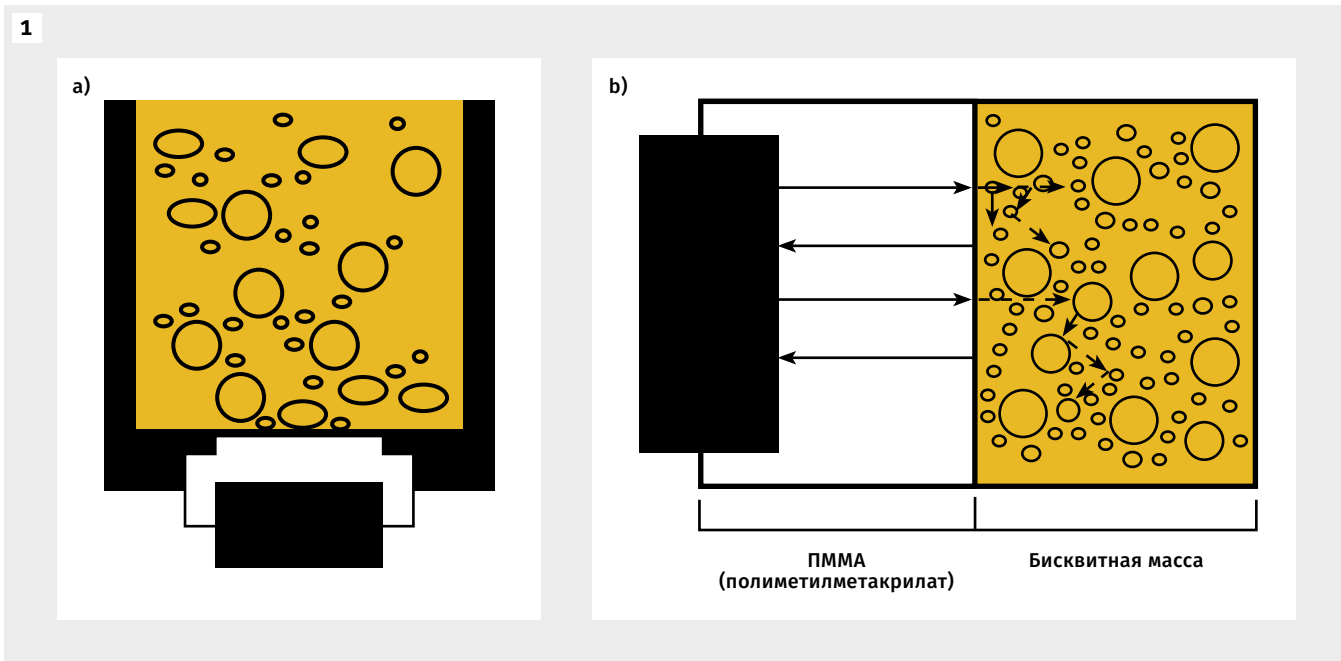
Михаэль Метценмахер, Доминик Гайер*,
проф. д-р Томас Бекер: Кафедра технологий производства пива и напитков, Технический университет Мюнхена, Фрайзинг

Адрес эл. почты: dominik.geier@tum.de

*контактное лицо

Существующие способы контроля плотности бисквитных масс

Разработанные до настоящего времени методы анализа количества газовых включений в пенах на основе зерновых культур не могут быть реализованы в режиме реального



источник: ТУМ

+++ а) Схематическое изображение эхо-импульсного преобразователя, б) Схематическое изображение распространения ультразвука в ПММА и бисквитной массе 1

времени, вследствие чего невозможно управлять текущим технологическим процессом и вносить своевременные корректировки. В настоящее время контроль за структурой пены ведут специалисты предприятий. Они определяют качество получаемого продукта визуальными методами и по своим тактильным ощущениям. Многообещающие визуализационные методы, такие как конфокальная лазерная сканирующая микроскопия (сокр. *CLSM*) и рентгенографические исследования пены (*компьютерная томография*, сокр. *СТ*) применяются только в лабораторных условиях, поэтому они не способны дать наглядное представление о динамике процесса. В рамках проекта AiF 18238 N («Оптимизация распределения размера пор пищевых пен на основе зерновых культур, предназначенных для приготовления кондитерских изделий») был разработан ультразвуковой метод измерения, позволяющий контролировать плотность пен на основе зерновых культур при выпуске продукции партиями. Благодаря тому, что контроль осуществляется в режиме реального времени, метод позволяет своевременно выявить отклонения от технологии приготовления и вносить необходимые изменения. Также необходимо отметить, что, так как ультразвуковое исследование представляет собой неинвазивный способ контроля, сами измерения не влияют на свойства пищевых пен.

Применение ультразвука для определения плотности

Ультразвуковые волны – это механические волны частотой приблизительно 20 кГц. За счет пьезоэлектрического эффекта ультразвуковые датчики преобразуют электрическую энергию в механическую. Так как для работы ультразвуковых датчиков не требуется непосредственный контакт с продуктом, этот метод измерений в отличие от других является одновременно неразрушающим

и неинвазивным. Кафедрой технологий производства пива и напитков была разработана новая ультразвуковая система измерений, способная анализировать плотность пен на основе зерновых культур в процессе взбивания, пригодная, в том числе, в промышленных условиях.

Готовая система измерений состоит из микроконтроллера, предназначенного как для передачи, так и для регистрации сигналов. Данные, полученные от ультразвукового преобразователя, сохраняют и анализируют с помощью программного обеспечения Virtual Expert 4.0 фирмы GIMBIO. Разработанные силами специалистов кафедры ультразвуковые преобразователи работают на частоте 2 МГц, обеспечивая таким образом необходимое расширение сигнала. В качестве эталонного метода измерения используется метод гравиметрического определения плотности. С этой целью плотность измеряли трижды на разных этапах взбивания, и во всех случаях полученные данные коррелировали с показаниями ультразвуковых измерений.

Так как сигнал не способен пройти через плотно взбитую массу насквозь, применяемый в данном случае метод измерений основан на эхо-импульсном методе. Звуковая энергия вносится в среду через ультразвуковой преобразователь с помощью линии задержки (рис.1). Вследствие акустического сопротивления Z на границе между ультразвуковой линией задержки и массой отражается часть звуковой энергии.

$$Z = \frac{p}{u} = \rho c$$

Акустическое сопротивление при этом зависит от звукового давления p , скорости распространения звука u ,

Таблица 1: Составы различных вариаций бисквитных масс

Количество ингредиентов на 5 кг	Вариация I	Вариация II	Вариация III	Вариация IV
Яйцо	1417 г	1417 г	1417 г	1417 г
Пшеничная мука (тип 550)	750 г	0 г	0 г	750 г
Пшеничный крахмал	925 г	1675 г	1725 г	975 г
Белый сахар	1858 г	1858 г	1858 г	1858 г
Эмульгатор	50 г	50 г	0 г	0 г

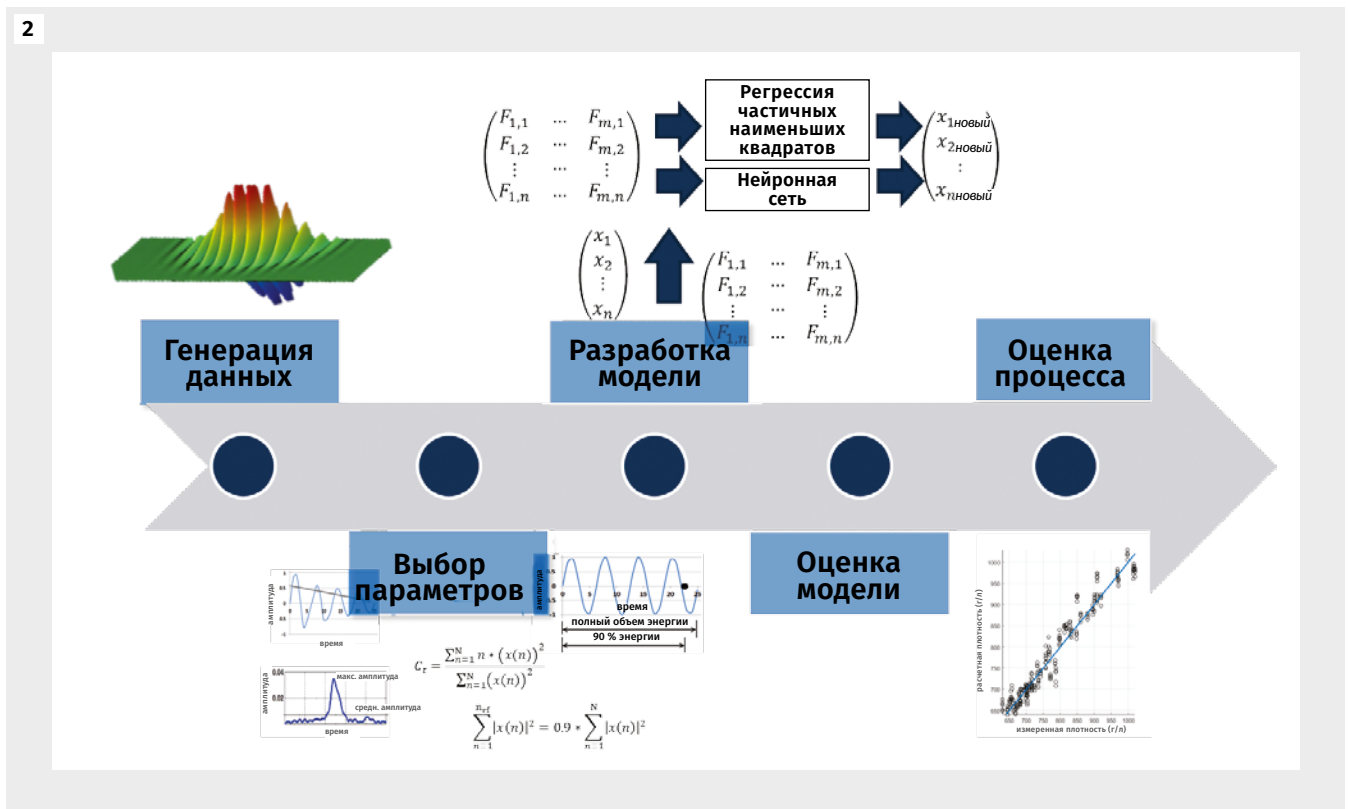
плотности ρ и скорости звука s . Если передаваемая источником звуковых колебаний ультразвуковая волна достигает пограничного слоя, разделяющего две среды с разными акустическими свойствами (линия задержки – бисквитная масса), то звуковая волна отражается с определенным коэффициентом отражения.

$$R = \frac{p_r}{p_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Соотношение переданной звуковой энергии p_r к зафиксированной звуковой энергии p_i зависит при этом от акустических свойств пограничного слоя и, следовательно, непосредственно от акустического сопротивления Z_1 среды M_1 и Z_2 среды M_2 . При взбивании массы вследствие сопутствующего внесения газа акустические свойства массы (M_2) изменяются. Соответственно, изменяется и коэффициент отражения.

Однако одного коэффициента отражения для определения плотности недостаточно. Поэтому ультразвуковые сигналы дополнительно были проанализированы в

разреже времени и частоты согласно преобразованию Фурье (быстрое преобразование Фурье). Посторонние шумы, которые могут помешать проведению анализа, например, шум работы насосов или двигателей, исключили с помощью подходящих цифровых фильтров (БИХ-фильтров Баттерворта). Из очищенных таким способом данных удалось извлечь нужные параметры сигналов, которые характеризуют процесс. Это дало возможность выявить как физически обусловленные зависимости, в частности, акустическое сопротивление или энергию сигнала, так и неспецифические параметры в разрезе времени и частоты. Так как распространение ультразвуковых сигналов в значительной степени зависит от температуры, технологические параметры также были учтены и включены в анализ. Собранные с помощью ультразвукового исследования данные могли быть верифицированы и валидированы только в случае, если бы коррелировали с показаниями эталонного гравиметрического измерения во время взбивания. С этой целью данные ультразвукового анализа сопоставили с результатами гравиметрического



+++ Схематическое изображение измерения плотности ультразвуковым методом

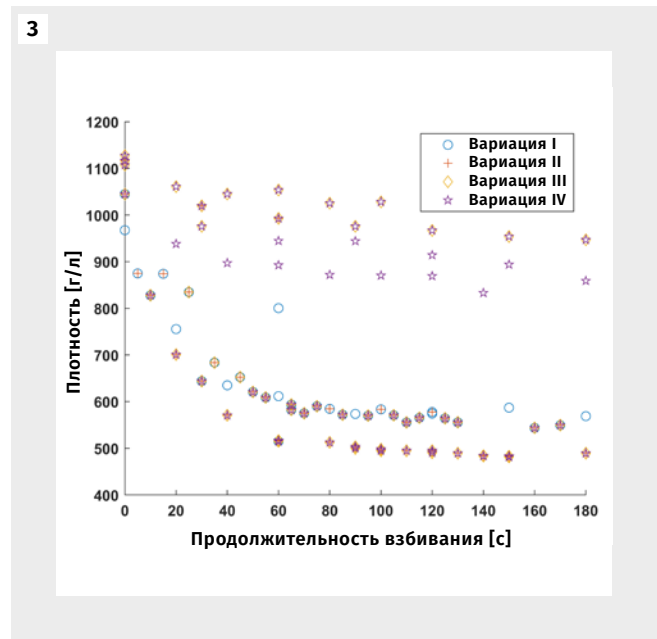
измерения плотности, применив регрессию частичных наименьших квадратов (сокр. *PLSR*). Было отмечено существенное совпадение между показаниями гравиметрических измерений и данными, полученными в результате ультразвуковых измерений. Процесс ультразвукового измерения плотности схематически представлен на рис. 2.

Исследование различных образцов пен на основе зерновых культур

Чтобы определить, насколько система надежна, подготовили и исследовали различные вариации бисквитных масс. Анализ отличающихся по составу масс дополнил и расширил данные основных измерений (вариация I). В вариации II пшеничную муку заменили на пшеничный крахмал, а в вариации III пшеничным крахмалом заменили не только муку, но и эмульгатор. Отличие вариации IV от вариации I заключалось в замене эмульгатора пшеничным крахмалом. Точные количества ингредиентов приведены в таблице 1. Нужно отметить, что значения конечной плотности различных вариаций массы отличались незначительно (см. рис. 3). Поэтому все четыре вариации использовались как вводные данные для *PLSR*-модели.

Результаты ультразвуковых измерений

40 % данных были использованы для построения модели, еще 30 % – для валидации и проведения испытаний. Рис. 4 демонстрирует пригодность построенной *PLSR*-модели ($R^2 = 0,91$) для плотности в виде сравнительной диаграммы, а также совпадение данных эталонного и ультразвукового измерения плотности. На рис. 4 показано характерное изменение плотности при взбивании бисквитной массы. Эталонные измерения гравиметрическим методом проводились трижды. С этой целью в определенные периоды времени из взбиваемой массы вручную



источник: TUM

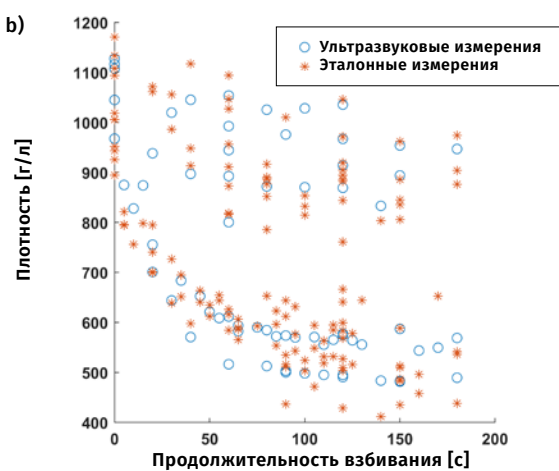
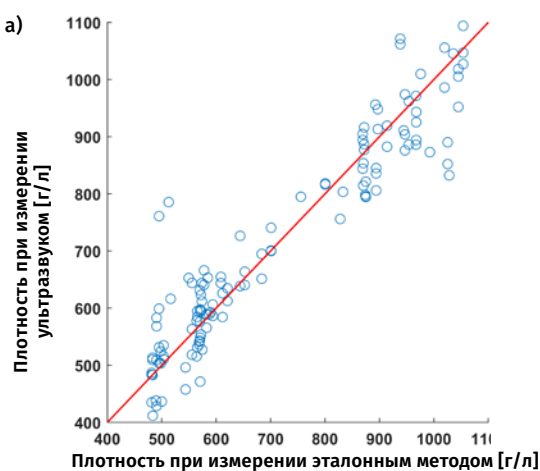
+++ Соотношение между плотностью и продолжительностью взбивания в зависимости от состава бисквитной массы

отбирали пробы. Результаты проведенных измерений практически полностью совпадали с результатами ультразвукового анализа. Следовательно, с помощью ультразвука можно контролировать и управлять внесением газа, непрерывно анализируя плотность массы в процессе взбивания.

Выводы и перспективы

В ходе описываемого в статье исследования удалось доказать, что можно непрерывно контролировать внесение газа в пены на основе зерновых культур, наблюдая за изменением плотности с помощью ультразвуковых измерений на протяжении всего процесса взбивания. Также можно точно определить плотность масс благодаря впервые разработанным методам ультразвуковых измерений. Такой способ позволяет выявлять и своевременно

4



источник: TUM

+++ а) Соотношение между плотностью, измеренной ультразвуком, и эталонными измерениями (гравиметрический метод), $R^2 = 0,91$, б) Изменение плотности в зависимости от времени взбивания

устранять отклонения, изменяя, например, продолжительность взбивания в случае необходимости. Кроме того, на эффективности разработанного метода не сказывается разнородность состава бисквитной массы.

В настоящее время полученные в ходе исследования результаты применяются для определения плотности ультразвуковым методом в процессе непрерывного приготовления пен. Измерения плотности будут дополнены анализом структуры пены, что позволит делать выводы о пористости и количестве пузырьков газа. В будущем можно будет еще точнее контролировать качество кондитерских изделий и вносить необходимые изменения в технологию на этапе взбивания массы.

Благодарности

Представленные результаты получены в ходе текущего исследовательского проекта (AiF 18238 N). Проект исследовательского объединения «Исследовательская группа пищевой промышленности» (Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)), получил поддержку через Альянс промышленности и науки (AiF) в рамках программы поддержки совместных промышленных исследований (IGF) Федерального министерства экономики и энергетики Германии по решению немецкого Бундестага. Особую благодарность мы бы хотели выразить господину Рюдигеру Янку из фирмы Kuchenmeister GmbH за осуществление руководства комитетом сопровождения проекта. +++

Участники проекта

МИХАЭЛЬ МЕТЦЕНМАХЕР изучал фармацевтическую биотехнологию в Техническом университете Мюнхена и по окончании университета получил степень магистра наук. Начиная с 2017 года, он является научным сотрудником кафедры технологий приготовления пива и напитков под руководством проф. д.т.н. Томаса Бекера и членом рабочей группы технологии анализа биопроцессов и дигитализации (нем. *BioPAT und Digitalisierung*). Основной фокус его исследований направлен на исследование высоковязких и многофазных систем ультразвуковыми методами.

ДОМИНИК ГАЙЕР изучал технологии приготовления пива и напитков в Техническом университете Мюнхена и получил диплом инженера в 2011 году. С 2011 года он является научным сотрудником кафедры технологий приготовления пива и напитков в Техническом университете Мюнхена. Основной предмет его исследовательской работы – контроль технологических процессов и разработка датчиков, в частности ультразвуковых измерительных систем и визуализационных методов. С 2016 года руководит Рабочей группой технологии анализа биопроцессов и дигитализации (нем. *BioPAT und Digitalisierung*).

ТОМАС БЕКЕР окончил Технический университет Мюнхена, где в 1995 году защитил научную работу по теме «Разработка компьютеризированной ферментинтегрированной проточно-инжекционной системы и ее применение в биотехнологических системах управления и контроле качества». В 2002 году получил степень доцента на Кафедре механики жидкостей и газов и автоматизации процессов Технического университета Мюнхена после защиты работы по теме «Управление биопроцессами с помощью моделирования и когнитивных инструментов».

С 2004 по 2009 гг. работал в качестве профессора в Университете Хоэнхайма (Штуттгарт). По 2005 год руководил направлением аналитики технологических процессов, а затем руководил Кафедрой аналитики технологических процессов и технологий обработки зерновых культур. В 2009 году принял обязанности заведующего Кафедрой технологий приготовления пива и напитков в Техническом университете Мюнхена, Фрайзинг. В октябре 2016 года назначен деканом Научного центра Вайенштефан в Техническом университете Мюнхена.

ВАША РЕКЛАМА У НАС

Телефон: +49(0) 40 38 61 67 92

Факс: +49(0) 40 38 61 67 92

E-mail: sales@foodmultimedia.com

www.chlebiwipetschka.com



f2m