



Научная статья

4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)

УДК664.6:621.923:664.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.005

EDN: EJWQPT

МЕТОДОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ 3D-ПЕЧАТИ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Александр Владимирович Анисимов ¹, Наталья Львовна Моргунова ²,
Ольга Сергеевна Фоменко ³, Никита Александрович Семилет ⁴,
Анна Сергеевна Кизиёва ⁵

1, 2, 3, 4, 5 Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

¹ anisimovaleksan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5313-6329>

² morgunovanl@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1671-0528>

³ fomenkoos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2700-3119>

⁴ semiletna@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4200-0896>

⁵ nosowa88@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8966-8839>

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по оптимизации технологических параметров 3D-печати на основе анализа реологических характеристик на примере шоколадной глазури. Методология работы включала комплексный подход, основанный на планировании эксперимента по методу Бокса-Бенкена и анализе реологических свойств шоколадной глазури с применением реометра Anton Paar Physica MCR 102 (Германия). Ключевыми факторами, влияющими на качество 3D-печати, являются скорость подачи материала, температура материала печати, диаметр сопла и высота слоя. Экспериментально установлены оптимальные значения технологических параметров для 3D-печати шоколадной глазури: скорость подачи материала – 15 мм/с, температура печати – 32 °С, диаметр сопла – 0,8 мм, высота слоя – 0,4 мм. Показано, что наибольшее влияние на точность формирования модели оказывает температура печати. Установлена взаимосвязь между динамической вязкостью шоколадной глазури и качеством печати. Полученные результаты позволяют рекомендовать температуру 32 °С и значение динамической вязкости $\eta = 6,5$ Па·с в качестве оптимальных параметров для 3D-печати шоколадной глазури. Разработанная методология подбора технологических параметров на основе реологических характеристик пищевых систем позволяет минимизировать дефекты изделий и сократить время настройки 3D-принтера. Разработанный методологический подход может быть адаптирован для других пищевых систем и создает научную базу для дальнейших исследований в области аддитивных технологий в пищевой промышленности.

Ключевые слова: оптимизация, технологические параметры, пищевые системы, 3D-печать, шоколадная глазурь, аддитивные технологии, пищевые принтеры, качество печати, динамическая вязкость, температура печати.

Для цитирования: Методология оптимизации технологических параметров 3d-печати пищевых систем / А. В. Анисимов [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 32–38. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.005. EDN: <https://elibrary.ru/EJWQPT>.

Original article

METHODOLOGY FOR OPTIMIZING TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF 3D PRINTING OF FOOD SYSTEMS

Alexander V. Anisimov ¹, Natalya L. Morgunova ², Olga S. Fomenko ³,
Nikita A. Semilet ⁴, Anna S. Kizieva ⁵

1, 2, 3, 4, 5 Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹ anisimovaleksan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5313-6329>

² morgunovanl@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1671-0528>

³ fomenkoos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2700-3119>

⁴ semiletna@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4200-0896>

⁵ nosowa88@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8966-8839>

Abstract. The article presents the results of research on optimization of technological parameters of 3D printing based on the analysis of rheological characteristics using chocolate glaze as an example. The methodology of the work included an integrated approach based on experimental planning using the Box-Behnken method and analysis of rheological properties of chocolate glaze using an Anton Paar Physica MCR 102 rheometer (Germany). The key factors af-

© Анисимов А. В., Моргунова Н. Л., Фоменко О. С., Семилет Н. А., Кизиёва А. С., 2026

МЕТОДОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ 3D-ПЕЧАТИ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

fecting the quality of 3D printing are the material feed rate, the temperature of the print material, the nozzle diameter and the layer height. The optimal values of the technological parameters for 3D printing with chocolate glaze were experimentally established: material feed rate - 15 mm/s, printing temperature - 32°C, nozzle diameter - 0.8 mm, layer height - 0.4 mm. It is shown that the printing temperature has the greatest influence on the accuracy of model formation. The relationship between the dynamic viscosity of the chocolate glaze and the printing quality was established. The obtained results allow us to recommend a temperature of 32 °C and a dynamic viscosity value of $\eta = 6.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ as optimal parameters for 3D printing with chocolate glaze. The developed methodology for selecting process parameters based on the rheological characteristics of food systems allows us to minimize product defects and reduce the setup time of the 3D printer. The developed methodological approach can be adapted to other food systems and creates a scientific basis for further research in the field of additive technologies in the food industry.

Keywords: optimization, technological parameters, 3D printing, food systems, chocolate glaze, additive technologies, food printers, print quality, dynamic viscosity, printing temperature.

Forcitation: A.V. Anisimov, N.L. Morgunova, O.S. Fomenko, N.A. Semilet & A.S. Kizieva. (2026). Methodology for optimizing technological parameters of 3d printing of food systems. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 32-38. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.005. EDN: <https://elibrary.ru/EJWQPT>.

ВВЕДЕНИЕ

Аддитивные технологии представляют собой один из ключевых трендов цифровой трансформации в рамках концепции Индустрии 4.0. Четвертая промышленная революция сопровождается массовым внедрением цифровых решений в различные сферы деятельности человека. Современные аддитивные технологии нашли широкое применение и в пищевой промышленности, за счет внедрения высокоэффективных инновационных технологических решений, направленных на разработку и производство новых видов пищевых продуктов.

В стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года технология 3D-печати пищевых продуктов является перспективным направлением формирования рынка будущего [9]. Основное преимущество данной технологии заключается в возможности создания персонализированных продуктов питания с заданными функциональными, органолептическими и нутриентными характеристиками, что соответствует современному направлению развития здорового питания, персонализации потребления и цифровизации производственных процессов [27]. Это позволит значительно расширить ассортимент данного сегмента продукции, что особенно актуально в условиях растущего спроса на пищевые продукты, адаптированные к индивидуальным потребностям и предпочтениям потребителей.

Зарубежными и отечественными учеными активно ведутся исследования в области аддитивных технологий для создания мясных, рыбных, мучных изделий, а также продуктов на основе растительного сырья, направленные на оптимизацию их функциональных, органолептических и питательных характеристик [3, 6, 9, 21]. Особое внимание уделяется изучению физико-химических и структурно-механических характеристик пищевых систем, с целью возможности их использования в аддитивных технологиях производства продуктов питания. Особое внимание уделяется анализу реологических свойств, таких как вязкость, текучесть, и способность к послойному формообразованию, что является ключевыми факторами обеспечения точности печати и стабильности структуры готовых изделий [10, 11].

Шоколадная глазурь стала одним из первых материалов, нашедших применение в технологии пищевой 3D-печати. Это обусловлено легко изменяющимися реологическими свойствами при заданных температурных режимах, а также способностью сохранять стабильную форму после завершения процесса 3D-печати [4].

Основное внимание уделяется изучению реологических свойств шоколадной глазури, таких как вязкость, напряжение сдвига и др., а также подбору и изучению технологических параметров: температура материала, скорость печати, диаметр сопла и высота слоя, которые оказывают большое влияние на точность процесса 3D-печати [18, 22].

Согласно результатам научных исследований [16, 22], установлено, что для достижения оптимальной консистенции температура плавления глазури должна поддерживаться в диапазоне 30–32 °C. Авторы утверждают, что данный температурный режим обеспечивает баланс между реологическими характеристиками материала и его способностью сохранять форму после нанесения слоя.

В исследованиях авторов [16] установлены оптимальные параметры для применения шоколадной глазури в 3D-печати. Показано, что использование сопла диаметром 0,8–1,2 мм обеспечивает высокую точность воспроизведения модели, при этом скорость печати должна составлять 10–15 мм/с, что позволило избежать деформации структуры и сохранить детализацию готового изделия. Благовещенский И.Г. и др. определили оптимальные параметры экструзионной 3D-печати для темной шоколадной глазури марки «Belgostar». Установлено, что оптимальная температура шоколадной глазури для печати составляет 36 °C, также выявлена зависимость времени изготовления качественного объекта от скорости экструзии материала и высоты наносимого слоя. Полученные результаты позволили существенно ускорить процесс печати [4].

Авторами [13, 14, 17] предложена методика оценки технологической пригодности пищевых композиций для аддитивного производства. Данная методика основана на расчете параметров 3D-печати с учетом реологических характеристик пищевых систем. Установлено, что на основе анализа реологических данных можно определить оптимальные условия печати, обеспечивающие высокое качество формирования трехмерных структур. Предложенная методология позволяет прогнозировать поведение материала в процессе печати и минимизировать дефекты готовых изделий, что особенно важно для сложных пищевых систем. В тоже время ряд исследований по определению связи реологических свойств пищевых смесей с пригодностью к 3D-печати показывает, что данный способ является очень затратным по времени и не всегда достоверным [12, 15, 19, 20, 22].

Современные методики оценки технологической пригодности пищевых систем, такие как расчет пара-

метров печати на основе реологических данных, пока не решают проблему полностью из-за их недостаточной достоверности и сложности применения. Это создает потребность в разработке универсальных способов, которые позволили бы прогнозировать поведение материалов в процессе печати, минимизировать дефекты изделий и сократить время настройки оборудования.

Решение этой проблемы способствует повышению точности и эффективности 3D-печати пищевых продуктов.

Целью данного исследования является разработка методологии оптимизации технологических параметров 3D-печати пищевых систем на основе анализа их реологических характеристик (на примере шоколадной глазури), обеспечивающих минимизацию дефектов, повышение точности и сокращение временных затрат на настройку процесса печати.

В проведении работ поставлены следующие **задачи**:

- определить оптимальные технологические параметры 3D-печати шоколадной глазури Chocovic Adora (скорость подачи, температура, диаметр сопла, высота слоя);
- теоретически рассчитать скорость сдвига в сопле 3D-принтера по оптимальным параметрам;
- исследовать реологические свойства шоколадной глазури (динамическую вязкость), в зависимости от температуры, при рассчитанной скорости сдвига;
- установить взаимосвязь между реологическими показателями (динамическая вязкость) и качеством 3D-печати;
- разработать универсальный способ подбора технологических параметров 3D-печати на основе анализа реологических данных, адаптируемый для других пищевых систем.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись шоколадная глазурь Chocovic Adora (Бельгия), пищевой принтер Wibooh Sweetin (Китай). Оптимизация технологиче-

ских параметров печати (скорость подачи, температура материала, диаметр сопла, высота слоя) выполнялась методом планирования эксперимента (Box-Behnken) с оценкой точности по 10-балльной шкале [1, 2, 6]. Реологические свойства изучались при скорости сдвига 150 с^{-1} в диапазоне температур 28–44 °С. на реометре Anton Paar Physica MCR 102 (Германия). Экспериментальные исследования проводились на базе цифровой лаборатории по конструированию продуктов питания ФГБОУ ВО Вавиловский университет, созданной в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030». Реологические исследования проводились на базе «Учебно-научно-испытательной лаборатории по определению качества пищевой и с.-х. продукции».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе анализа литературных источников и проведенных экспериментальных исследований были определены наиболее значимые факторы и их диапазоны варьирования, оказывающие влияние на качество 3D-печати шоколадной глазури. К таким факторам относятся: скорость печати, температура материала, диаметр сопла и толщина слоя. Диапазоны варьирования каждого из факторов были определены с учётом реологических характеристик шоколадной глазури и технических возможностей оборудования [13, 14, 17, 23–26]. В качестве параметра оптимизации выбрана точность формируемой модели, оцениваемая по 10-балльной шкале.

Разработана и реализована матрица планирования экспериментов в виде полуреплики полного факторного эксперимента 2^4 (таблица 1). После проведения исследований, в соответствии с матрицей, результаты были проанализированы с помощью программы Statistica (модуль «Планирование эксперимента»), в ходе чего были определены коэффициенты регрессии. Полученные данные представлены на рисунке 4. Анализ полученных данных выполнен методом Бокса-Бенкена, который предполагает описание поверхности отклика уравнением первой степени [2, 5].

Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента (параметр оптимизации – точность формируемой 3D-модели)

Table 1 – The experiment planning matrix (optimization parameter is the accuracy of the generated 3D model)

Условные обозначения	Скорость подачи материала, мм/с	Температура печати материала, °С	Диаметр сопла, мм	Высота слоя, мм	Точность формируемой 3D-модели, баллы (1–10)
	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1
Верхний уровень (+)	20	34	1,0	0,6	
Основной уровень (0)	15	32	0,8	0,4	
Нижний уровень (–)	10	30	0,6	0,3	
Опыты					
1	–	+	+	+	7
2	+	–	+	+	8
3	+	+	–	+	7
4	–	–	–	+	9
5	+	+	+	–	5
6	–	–	+	–	8
7	–	+	–	–	8
8	+	–	–	–	9

МЕТОДОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ 3D-ПЕЧАТИ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

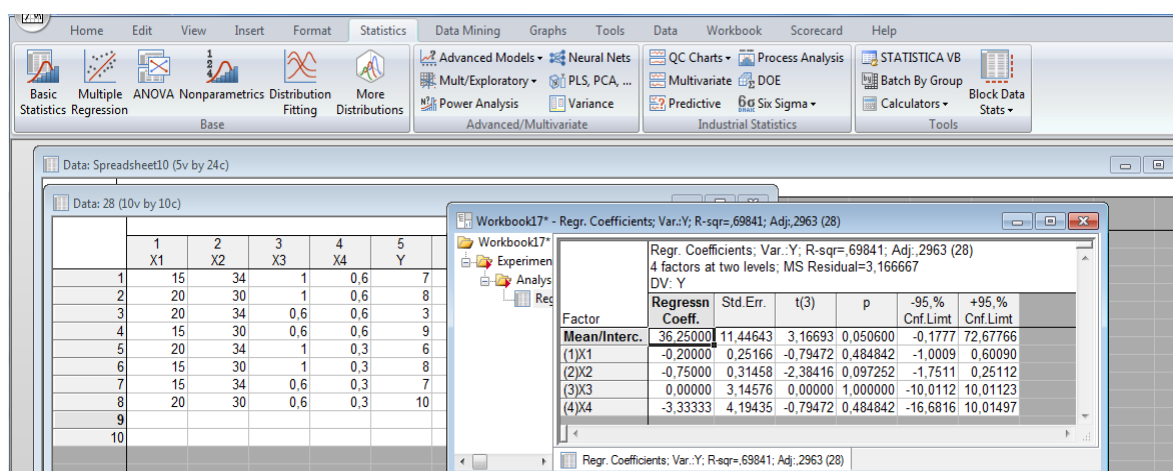


Рисунок 1 – Матрица экстремального планирования исследования и анализ полученных данных

Figure 1 – The matrix of extreme planning of research and analysis of the received data

Адекватность полученной линейной модели оценивалась путём проверки гипотезы о равенстве нулю коэффициентов уравнения регрессии и свободного члена. Для этого выполнялось сравнение расчётного уровня значимости свободного члена и факторов p с заданным уровнем значимости $\alpha = 0,05$. Из таблицы регрессионного анализа (рисунок 1) видно, что расчётный уровень значимости p для свободного

члена и всех факторов превышает $\alpha = 0,05$. Таким образом, можно сделать вывод о том, что полученная модель не соответствует линейной зависимости, и для описания области оптимума необходимо использовать уравнение второго порядка.

Для изучения и описания области оптимума выбран план Бокса (В4), близкий к D – оптимальному [20, 21]. Результаты представлены на рисунке 2.

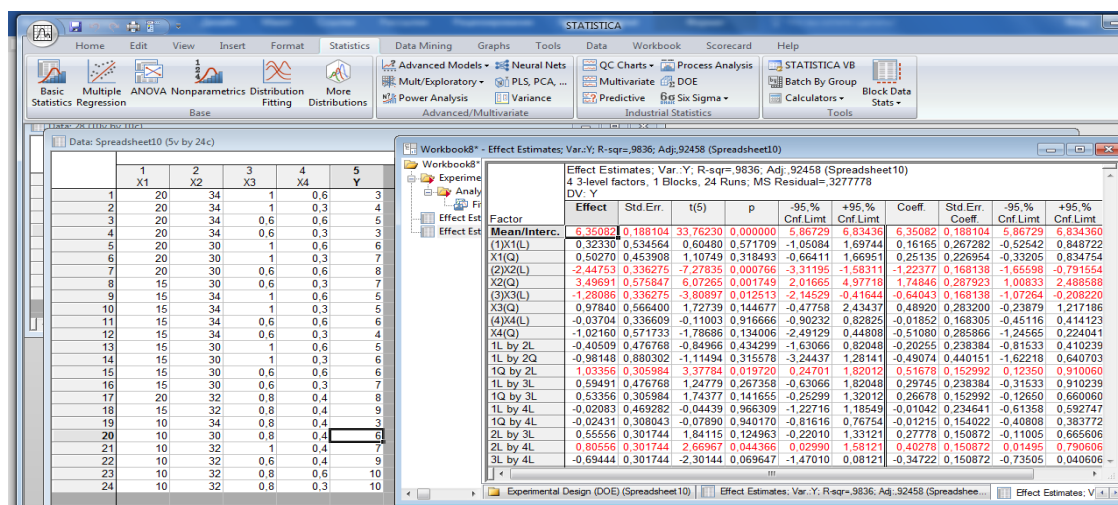


Рисунок 2 – Матрица планирования и дисперсионный анализ

Figure 2 – Planning matrix and variance analysis

После реализации матрицы планирования второго порядка был проведён дисперсионный анализ в программе Statistica. Результаты анализа представлены на рисунке 2. Оценка значимости влияния выбранных факторов на качество 3D-печати с использованием критерия Фишера показала адекватность полученной модели второго порядка.

На основании полученных экспериментальных данных были построены трёхмерные поверхности отклика, представленные на рисунке 5 (а,б,в).

В результате анализа трёхмерных поверхностей отклика, представленных на рисунке 3 (а,б,в), можно сделать вывод, что точность формируемой

3D-модели достигает 9–10 баллов (зона оптимума) при следующих параметрах: скорость подачи материала – 15 мм/с, температура печати – 32°C, диаметр сопла – 0,8 мм, высота слоя – 0,4 мм. Установлено, что самое большое влияние на точность формируемой 3D-модели оказывает фактор X_2 – температура печати, °C.

Для установления количественных зависимостей между основными параметрами 3D-печати и реологическими характеристиками шоколадной глазури был проведён анализ процесса экструзии материала через цилиндрическое сопло 3D-принтера.

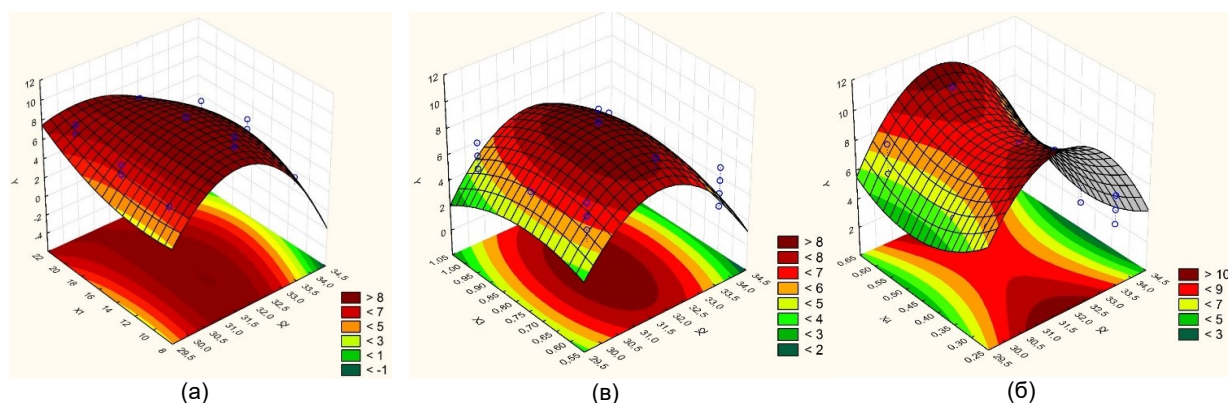


Рисунок 3 – Трёхмерные сечения поверхности отклика, характеризующие точность формируемой 3D модели: а) в зависимости от факторов X_1 (скорость подачи материала) и X_2 (температура печати) (при $X_3 = 0,8$ мм и $X_4 = 0,4$ мм); б) в зависимости от факторов X_3 (диаметр сопла материала) и X_2 (температура печати) (при $X_1 = 15$ мм/с и $X_4 = 0,4$ мм); в) в зависимости от факторов X_2 и X_4 (при $X_1 = 15$ мм/с и $X_3 = 0,8$ мм)

Figure 3 – Three-dimensional sections of the response surface that characterize the accuracy of the 3D model being formed: a) depending on factors X_1 (material feed rate) and X_2 (printing temperature) (at $X_3 = 0.8$ mm and $X_4 = 0.4$ mm); b) depending on factors X_3 (material nozzle diameter) and X_2 (printing temperature) (at $X_1 = 15$ mm/s and $X_4 = 0.4$ mm); c) depending on the factors X_2 and X_4 (at $X_1 = 15$ mm/s and $X_3 = 0.8$ mm)

Анализ показал, что скорость сдвига является определяющим фактором, влияющим на реологические свойства шоколадной глазури при заданных условиях печати [5, 7]. Расчет скорости сдвига проводился по формуле:

$$\gamma_{\text{сдв}} = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} \approx 150 \cdot \text{с}^{-1}, \quad (1)$$

где Q – объёмный расход, мм³/с, d – диаметр сопла, мм.

Для измерения реологических свойств используемого образца шоколадной глазури использовали реометр Anton Paar Physica MCR 102 (Германия).

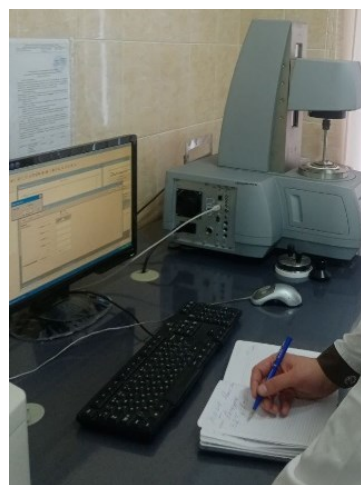
Экспериментальные исследования проводились с целью определения зависимости динамической вязкости от температуры при постоянной скорости сдвига. Динамическую вязкость измеряли при постоянной скорости сдвига 150 с⁻¹ в интервале температур от 44 до 28 °С. Полученные результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 5.

Согласно данным, представленным на рисунке 5,

динамическая вязкость шоколадной глазури изменяется в зависимости от температуры. В диапазоне температур 34–28 °С наблюдается нелинейное увеличение динамической вязкости с уменьшением температуры, что обусловлено физическими свойствами глазури и её переходом в более вязкое состояние. При температуре выше 33,6 °С значение динамической вязкости стабилизируется, что возможно связано с полным расплавлением глазури. По графику можно определить значение динамической вязкости, соответствующее оптимальным технологическим параметрам 3D-печати, установленным ранее. Для оптимальной температуры печати 32 °С динамическая вязкость составляет $\eta = 6,5$ Па·с. Данное значение выбрано на основании экспериментальных данных, показывающих, что при такой вязкости шоколадная глазурь обеспечивает наилучшее качество печати, включая равномерное нанесение и минимальную деформацию готового изделия.



(а)



(б)

Рисунок 4 (а, б) – Определение реологических свойств шоколадной глазури на Реометре Anton Paar Physica MCR 102

Figure 4 – Determination of rheological properties of chocolate glaze on the Anton Paar Physica MCR 102 Rheometer

МЕТОДОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ 3D-ПЕЧАТИ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

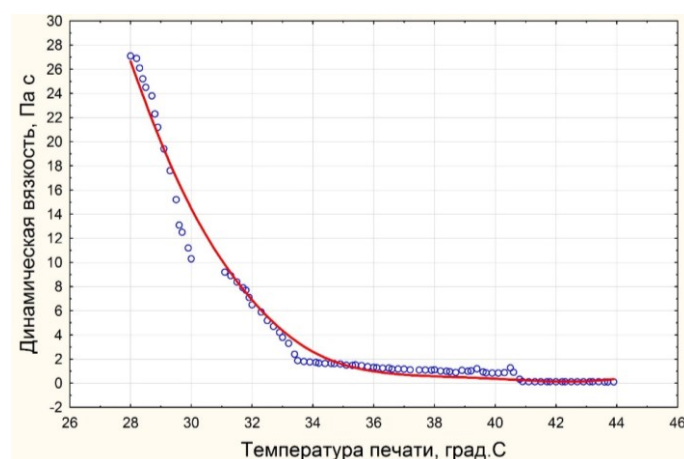


Рисунок 5 – Зависимость динамической вязкости шоколадной глазури от температуры при скорости сдвига 150 c^{-1}

Figure 5 – Dependence of the dynamic viscosity of chocolate glaze on temperature at a shear rate of 150 s^{-1}

Полученные результаты позволяют рекомендовать температуру $32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и значение динамической вязкости $\eta = 6,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ в качестве оптимальных параметров для 3D-печати шоколадной глазури. Эти параметры обеспечивают стабильность процесса печати и качество готового изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе настоящего исследования был разработан универсальный способ подбора технологических параметров 3D-печати пищевых материалов, основанный на анализе их реологических характеристик. На примере шоколадной глазури Chocovic Adora (Бельгия) и пищевого принтера Wiiboox Sweetin (Китай) были выявлены основные зависимости между параметрами печати (скорость подачи, температура, диаметр сопла, высота слоя) и реологическими свойствами (динамическая вязкость), что позволило создать универсальный способ оптимизации процесса, который позволяет прогнозировать оптимальные условия печати без проведения длительных экспериментов.

Таким образом, для определения оптимальных параметров 3D-печати других марок шоколадной глазури, в частности температуры печати, целесообразно определить их динамическую вязкость при постоянной скорости сдвига $\gamma_{\text{сдв.}} \approx 150 \text{ c}^{-1}$ в диапазоне температур $44\text{--}28 \text{ }^{\circ}\text{C}$. По полученным данным необходимо выявить температуру, при которой динамическая вязкость достигает значения $\eta = 6,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Данное значение выбрано на основании предварительных исследований, показавших, что оно обеспечивает наилучшее качество печати и стабильность процесса.

Следует отметить, что установленные технологические параметры печати определены для конкретного 3D-принтера и могут быть применимы только к шоколадной глазури. Однако полученные результаты формируют базу для будущих исследований, связанных с оптимизацией процесса 3D-печати другими пищевыми системами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов А.В. Результаты экспериментальных исследований машины для обработки зерна / А.В. Анисимов // *Аграрный научный журнал*. 2019. № 11. С. 81–86. DOI: 10.28983/asj. y2019i11pp81-86. EDNVGMUTL.
2. Анисимов А.В. Экспериментальное определение оптимальных параметров оборудования для обра-

ботки зерна при подготовке к помолу / А.В. Анисимов, Ф.Я. Рудик // *Инженерные технологии и системы*. 2019. Т. 29, № 4. С. 594–613. DOI: 10.15507/2658-4123.029.201904.594-613. EDNCEQUQR.

3. Благовещенский В.Г. Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий : специальность 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)": дисс. ... на соискание ученой степени кандидата технических наук / Благовещенский Владислав Германович, 2021. 219 с. EDN RAAQNH.

4. Благовещенский И.Г. Оптимизация 3D-печати на примере использования шоколадной глазури / И.Г. Благовещенский, Э.Д. Шибанов, К.А. Загородников // *Пищевая промышленность*. 2020. № 12. С. 70–73. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10147. EDN: ZZVRE.

5. Влияние реологических характеристик на качество 3D-печати пищевых паст / С.А. Бредихин, С.Т. Антипов, В.Н. Андреев, А.Н. Мартеха // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2021. Т. 83, № 2(88). С. 40–47. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-2-40-47. EDN UOEZFC.

6. Исследование теплофизических и реологических свойств пищевых растительных масел / А.Н. Остриков [и др.] // *Ползуновский вестник*. 2021. № 2. С. 36–43.

7. Каверина Ю.Е. Моделирование гидродинамики потока пищевого материала в процессе экструзионной 3D-печати / Ю.Е. Каверина, В.В. Торопцев, А.Н. Мартеха // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2024. № 2–3(396). С. 60–66. DOI: 10.26297/0579-3009.2024.2-3.10. EDN FSXROB.

8. Кизиева А.С. Индустрия 4.0 в пищевой промышленности / А.С. Кизиева, О.С. Фоменко // *Инновационные тенденции развития российской науки : Материалы XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 29–31 марта 2023 года*. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2023. С. 293–294. EDN GQOPFZ.

9. Министерство промышленности и торговли РФ. Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года. Москва : Минпромторг России, 2020. 45 с.

10. Родионова О.И., Алешков А.В., Синюков В.А. 3D-печать пищевой продукции как инновационная технология // *Вестник Хабаровского государственного университета экономики и права*. 2019. № 2 (100). С. 119–124.

11. Спиридонов А.Б., Копысова Т.С., Волков М.Д. Пищевые 3D-принтеры // *Технологические тренды устойчивого функционирования и развития АПК*. 2021. С. 173–181.

12. Costa K.M., Garcia K., Ribeiro M. Soares Junior, and M. Calari. Rheological properties of fermented rice extract with probiotic bacteria and different concentrations of waxy maize starch. LWT - Food Science and Technology. 2016. 72:71–7. doi: 10.1016/j.lwt.2016.04.01.

13. Dankar I., Haddarah A., Sepulcre F., Pujola M. Assessing mechanical and rheological properties of potato puree: Effect of different ingredient combinations and cooking methods on the feasibility of 3D printing. Foods. 2020;9(1):21. DOI: 10.3390/foods9010021.

14. Derossi A., Paolillo R., Caporizzi C., Severini C. Extending the 3D food printing tests at high speed. Material deposition and effect of non-printing movements on the final quality of printed structures. Journal of Food Engineering. 2020;275: 109865. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109865.

15. Fan H., M. Zhang Z. Liu and Y. Ye. Effect of microwave-salt synergetic pre-treatment on the 3D printing performance of SPI-strawberry ink system. LWT - Food Science and Technology. 2020. Vol. 122: 109004. doi: 10.1016/j.lwt.2019.109004.

16. Ferreira I.A., Alves J.L. Low-cost 3D food printing. Ciencia e Tecnologia dos Materials. 2017. Vol. 29. No. 1. P. e265–e269. Doi: 10.1016/j.ctmat. 2016.04.007; Lanaro M, Desselle MR, Woodruff MA. 3D Printing Chocolate. Elsevier Inc., 2019.

17. García-Segovia P., García-Alcaraz V., Balasch-Parisi S., Martínez-Monzo J. 3D printing of gels based on xanthan/konjac gums. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2020; 64:102343. DOI: 10.1016/j.ifset.2020.102343.

18. Godoi F.C., Prakash S., Bhandari B.R. 3D Printing Technologies Applied for Food Design: Status and Prospects // Journal of Food Engineering. 2016. Vol. 179. P. 44–54.

19. Hamet M., J. Piermaria and A. Abraham. Selection of EPS-producing Lactobacillus strains isolated from kefir grains and rheological characterization of the fermented milks. LWT - Food Science and Technology. 2015. Vol. 63 (1):129–35. doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.097.

20. Jan R., D. Saxena and S. Singh. Comparative study of raw and germinated Chenopodium (Chenopodium album) flour on the basis of thermal, rheological, minerals, fatty acid profile and phytochemicals. Food Chemistry. 2018.269:173–80. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.07.003.

21. Koranne V. [et al.]. Exploring properties of edible hydrolyzed collagen for 3D food printing of scaffold for biomanufacturing cultivated meat // Procedia CIRP. 2022. T. 110. C. 186–191.

22. Liu Y., T. Tang S. Duan Z. Qin, H. Zhao, M. Wang, C. Li, Z. Zhang, A. Liu, G. Han [et al.]. Applicability of rice doughs as promising food materials in extrusion-based 3D printing. Food and Bioprocess Technology. 2020. Vol. 13 (3):548–63. doi: 10.1007/s11947-020-02415-y.

23. Liu Y., W. Zhang K., Wang Y., Bao J. Regenstein and P. Zhou. 2019. Fabrication of gel-like emulsions with whey protein isolate using microfluidization: Rheological properties and 3d printing performance. Food and Bioprocess Technology 12 (12):1967–79. doi: 10.1007/s11947-019-02344-5.

24. Liu Z., Zhang M., Yang C. Effect of Rheological Properties on 3D Printing of Food Materials // Food Research International. 2018. Vol. 111. P. 1–10.

25. Nijdam J., D. Agarwal and B. Schon. Assessment of a novel window of dimensional stability for screening food inks for 3D printing. Journal of Food Engineering. 2021. 292:110349. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110349.

26. Park S., H. Kim and H. Park. Callus-based 3D printing for food exemplified with carrot tissues and its potential for innovative food production. Journal of Food Engineering. 202. Vol. 271:109781. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109781.

27. Sun J., Peng Z., Yan L., Zhou W., Liu Y. & Wu C. A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication // Procedia Manufacturing. 2015. Vol. 1. P. 308–319.

Информация об авторах

А. В. Анисимов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

Н. Л. Моргунова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

О. С. Фоменко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

Н. А. Семилет – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

А. С. Кизиёва – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

Information about the authors

A.V. Anisimov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov.

N.L. Morgunova - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov.

O.S. Fomenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov.

A.S. Kiziyeva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov".

N.A. Semilet - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology of the Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.