

Г.М. Тарасюк, д.е.н., проф.
А.О. Чагайда, к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Проектування харчових продуктів з використанням технології 3D- і 4D-друку та його значення для розвитку адитивного виробництва

Потенціал персоналізованого харчування в найближчому майбутньому є одним із головних пояснень швидкого прогресу в 3D-друці їжі. Його важливість полягає в тому, що певні поживні речовини та сполуки, які зміцнюють здоров'я, можуть бути включені до формувань, які будуть надруковані, щоб полегшити перебіг хвороб споживачів або запобігти їх виникненню. Крайній естетичний вигляд, надрукованих на 3D-принтері харчових продуктів, збільшує їх привабливість серед споживачів, що сприяє комерційному успіху. За результатами дослідження встановлено, що з появою тривимірних принтерів і четвертою промисловою революцією з'явилася безліч альтернативних продуктів харчування. Серед них стійкі харчові інгредієнти з високою поживною цінністю, але низькою схожістю (наприклад, морські водорості, комахи та листя буряка), які перетворюються у форму порошку для вставлення в картридж 3D-харчового принтера. Вони також використовуються для кращого дизайну їжі зі зміненими формами та смаками, що є не тільки більш привабливими, але й легшими для споживання завдяки їхнім смаковим яkostям. Для визначення ставлення споживачів до харчових продуктів, отриманих за допомогою адитивних технологій, було проведено анкетування серед 505 респондентів (49,1 % – чоловіки, 50,9 % – жінки). Більшість респондентів усіх вікових груп не схильні розділяти твердження, що створення персоналізованої їжі за рахунок 3D-друку дозволить збалансувати надходження поживних речовин в організм людини. Результати проведеного опитування підтверджують, що лише від припущення, що для 3D-друку харчового продукту використовуються нетрадиційні харчові матеріали або харчові відходи (рослинні матеріали з високим вмістом клітковини або побічні продукти переробки рослинної сировини, м'ясні залишки, комахи, мікроорганізми, водорості), одразу значно зменшується кількість охочих споживати таку їжу. Новація, яка передбачає зміну під дією мікрохвиль смаку, кольору і форми їжі, отриманої за допомогою 4D-друку, також не знаходить загального визнання. Абсолютно негативне ставлення до придбання такого харчового продукту зростає з 22,2 % у віковій групі 18–29 років до 72,7 % серед респондентів старше 50 років. Результати опитування вказують на низьку обізнаність респондентів про 3D- та 4D-друк харчових продуктів. Виробникам такої продукції варто зосередити зусилля на інформаційному просуванні нових продуктів із акцентом на використанні якісної сировини рослинного або тваринного походження. Також необхідно враховувати той факт, що будь-яка додаткова обробка продукту сприймається швидше негативно і посилює недовіру у споживачів. Отже, за результатами проведеного дослідження, зроблено висновок, що загальне зростання обізнаності клієнтів про персоналізовану їжу буде стимулювати пошук нових технологічних рішень, і проектування харчових продуктів для друку на 3D-принтері має ґрунтуватись на ставленні до них споживачів, що є визначальним фактором для їх комерційного впровадження.

Ключові слова: харчування; споживач; виробництво; адитивне виробництво; оцифровані технології; інновації; споживання; харчові продукти; здоров'я людини; якість харчування; 3D-друк харчового продукту; 4D-друк харчового продукту; модерністський ресторан; адитивна економіка; комерційне впровадження.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Зі швидким розвитком економіки в усьому світі характер споживання їжі змінився від достатнього до повноцінного харчування. Однак зростання чисельності населення, зміна клімату та багато інших складних факторів, зокрема обмеженість ресурсів і вплив на навколишнє середовище, створюють серйозні проблеми для сталого постачання та здорового харчування. Нові харчові продукти – це продукти, які вдосконалюють та іннують традиційні харчові вироби, використовуючи нові технології, інгредієнти або методи виробництва і більше зосереджені на здоров'ї, стійкості, альтернативних джерелах їжі та персоналізації [1].

Близько третини усієї виробленої їжі щороку втрачається або витрачається переважно через системи виробництва їжі та моделі споживання, зосереджені на естетичному вигляді. Важливим фактором харчових відходів є уподобання споживачів до високоестетичних продуктів (упередження «краса – це добре»), оскільки вони враховують естетичні ознаки перед тим, як зробити висновки про свіжість, смак і якість їжі. Під час вибору продуктів харчування, які безпосередньо впливають на здоров'я людини, домінуючим є інстинкт пошуку ідеального зовнішнього вигляду їжі. Суворі стандарти якості, встановлені

великими дистриб'юторами щодо розміру, форми та зовнішнього вигляду харчових продуктів, стають причиною такого визначення ризику, а великий вплив естетики на рішення споживачів щодо їжі та прагнення її ідеального зовнішнього вигляду призводить до харчових відходів [2]. Оскільки дизайн продуктів харчування орієнтований на майбутнє, він може сприяти трансформації харчових систем для досягнення більшої стійкості, справедливості та уваги до потреб людини, зокрема щодо здоров'я та харчування [3].

Більш здорові продукти часто сприймаються як непривабливі та м'які порівняно з їх звичайними аналогами. Остаточне розуміння текстури досі не є одноставним, консенсус полягає у визначенні Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), що текстура містить в собі «всі механічні, геометричні та поверхневі атрибути продукту, сприйняті засобами механічних, тактильних і, де це доречно, зорових і слухових рецепторів». Текстура охоплює всі аспекти харчового продукту, які можна сприйняти людськими відчуттями, проте сприйняття текстури та її переваги дуже відрізняються серед людей і значно залежать від особистого досвіду та культури. Текстури властивості харчових продуктів є визначальними для споживачів і часто використовуються для прогнозування споживчих уподобань та оцінки якості харчових продуктів. Відчуття у роті визначається як відчуття текстури їжі під час її споживання, при цьому консистенція та смакове сприйняття відіграють важливу роль у виборі, споживанні їжі та навіть у відчутті ситості [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розробка сучасних гастрономічних концепцій для нового досвіду споживачів була вдосконалена завдяки можливостям і методам, запропонованим внаслідок синергії між дизайном і технологією [5]. Гастрономія – це унікальна галузь науки, яка допомагає краще зрозуміти місцеві різновиди їжі та кухонь, а внаслідок прогресу в її розвитку виникли різні концепції, що розглядають їжу з точки зору персоналізованого харчування. 3D-друк їжі має величезний потенціал щодо забезпечення кращого рішення для індивідуальної форми, текстури та персоналізованого харчування і містить у собі базове розуміння придатності матеріалу для друку, тобто харчової хімії разом із обробкою та технікою створення індивідуальної здорової їжі [6].

Тривимірний друк, який також називають адитивним виробництвом і швидким прототипуванням, – це нова оцифрована технологія, що викликає широкий інтерес завдяки своїм різноманітним сферам застосування. Основою 3D-друку є контрольований робототехнічний процес, за допомогою якого шар за шаром створюється продукт завдяки програмі 3D-комп'ютерного дизайну «CAD» або шляхом завантаження 3D-платформ з деяких онлайн-сервісів (наприклад, «Thingiverse», «Shapeways», «Ponoko» або «Sculpteo»). Після створення 3D-моделі інформація про дизайн надсилається на принтер, який своєю чергою розрізає 3D-модель на шари та збирає їх у вказаний шаблон поперечного перерізу. У харчовому секторі існує думка про те, що технологія швидкого прототипування визначить нові межі для промисловості, маючи можливість постачати продукт, який відповідає особливим критеріям споживача щодо смаку, вартості, зручності та поживності. Крім того, він має потенціал для усунення багатьох бар'єрів щодо ресурсів і навичок, які зараз заважають звичайним винахідникам створювати власні ідеї, таким чином дозволяючи «демократизацію інновацій», що відкриває двері для нового класу незалежних дизайнерів і нової сфери продукції на замовлення [7].

Проблемні питання щодо використання 3D- та 4D-друку для створення нових продуктів харчування, зокрема з інноваційними інгредієнтами, досліджує велика кількість закордонних та вітчизняних вчених, серед них: М.Фенг, М.Чжан, В.Бхандарі, С.Лі, А.Муджумдар, С.Чалишкан, Д.Субхасрі, С.Датта, М.Ліна, Дж.А. Мозес, Т.Перейра, С.Баррозу, М.Гіл, В.Піддубний, Ю.Радченко, П.Кумар, П.Сурияванші, С.Двіведі, С.Банерджі та інші.

Постановка завдання. Дизайн продуктів харчування за своєю сутністю спрямований на майбутнє. Він може сприяти трансформації харчових систем для досягнення більшої стійкості, справедливості та уваги до потреб людини, враховуючи здоров'я та харчування. 3D- та 4D-друк їжі має величезний потенціал для забезпечення кращого рішення щодо індивідуальної форми, текстури та персоналізованого харчування і містить в собі базове розуміння придатності матеріалу для друку, тобто харчової хімії разом із обробкою та технікою створення індивідуальної здорової їжі. Завданням цього дослідження є аналіз сучасних тенденцій в 3D- та 4D-друці для створення нових продуктів харчування, визначення ставлення споживачів до цих харчових продуктів, а також розробка окремих рекомендацій виробникам такої продукції.

Викладення основного матеріалу. Загалом класифікація технологій адитивного виробництва має сім категорій: екструзія матеріалу, фотополімеризація в кубі, струменеве сполучне, струменеве виготовлення матеріалу, ламінування листів, спрямоване осадження енергії та сплавлення шару порошку [8]. Більшість поширених 3D-принтерів з одним соплом обмежені друком одним кольором або матеріалом, на них важко друкувати складні та різноманітні структури. Екструзія з коаксіальним соплом одночасно містить два або більше матеріалів і дозволяє вичавлювати кілька інгредієнтів за допомогою різних комбінацій під час друку харчових продуктів відповідно до вимог їхнього дизайну. Як правило, зовнішня оболонка фаршированого продукту складається з матеріалів на основі крохмалю, який надзвичайно чутливий до умов обробки. 3D-друк із кількома насадками на різних матеріалах містить цікаву функцію, яка дозволяє

вільно перемикаються між різними матеріалами для створення складних харчових структур, а декілька незалежних сопл виконують відповідні функції та по черзі друкують частини з різних матеріалів у комбінованій моделі, таким чином реалізуючи розробку того самого продукту з різними характеристиками або функціями та спеціальними продуктами [9]. Існуючі недоліки 3D-друку харчових продуктів пов'язані з високими витратами виробництва, незначною кількістю сумісних матеріалів, дуже повільним процесом друку, остаточно не вирішеними питаннями безпеки харчових продуктів і санітарії принтера, обмеженою точністю друку та обробкою поверхні [10, 11].

Технологія адитивного виробництва сприяє цифровому та інтелектуальному виробництву широкого спектра матеріалів. 3D-друкована візуалізація зберігає свою жорстку, статичну форму, тоді як 4D-друкований об'єкт зазнає певної активності. Його здатність змінювати форми та досягати керованості дозволила створити нові рішення, які відповідають складним медичним потребам пацієнтів. Незважаючи на те, що матеріали з пам'яттю форми були широко вивчені в галузі матеріалознавства, вони лише нещодавно почали використовуватися для розвитку 3D-друку. Завдяки інтеграції четвертого виміру 4D-друк особливо підходить для застосувань у фармацевтичному та біомедичному секторах, де тривають дослідження, спрямовані на системи доставки ліків, тканинну інженерію, регенеративну медицину та біомікріо. Об'єкти, створені за допомогою техніки 3D-друку та складені з інтелектуальних матеріалів, зазвичай називають розумними гаджетами. Відповідно до наукових принципів, ці об'єкти можуть змінювати свою морфологію з часом, дотримуючись заздалегідь визначених правил. За ними закріплюють термін 4D-друковані системи, тому що час є одним із чотирьох вимірів, невід'ємних для їх визначення [12].

Чотиривимірний друк, також відомий як програмована матерія або розумні матеріали, є типом адитивного виробництва, який друкує об'єкти, які самостійно збираються або трансформуються у відповідь на стимули. На відміну від тривимірного друку, створеного за допомогою нерухомих об'єктів, чотиривимірний друк дозволяє 3D-друкованим об'єктам перетворюватися в іншу конфігурацію у відповідь на зовнішні впливи [13]. Так дослідники з Массачусетського технологічного інституту розробили подвійний шар желатин / етилцелюлоза, в якому гаряча вода під час приготування їжі викликає неоднорідну трансформацію форми на основі диференціальної водопоглинальної здатності його компонентів. Разом із тим лише небагатьом дослідникам вдалося отримати швидку зміну форми (менше 90 с) складного 3D-друкованого об'єкта за допомогою мікрохвильового нагрівання як зовнішнього стимулу [14]. Такі перетворення форми, властивостей або характеристик з часом відбуваються при взаємодії з певними умовами навколишнього середовища, такими як: магнітні або електричні поля, рН, тиск, світло, тепло, волога або хімічні речовини. У методі 4D-друку четвертим виміром є «час», який дозволяє надрукованим речам розвиватися, адаптуватися або самоконструюватися в складні структури без підтримки оператора, заощаджуючи час і мінімізуючи відходи. У технології 4D-друку є п'ять основних критеріїв: середовище друку, стимул, механізм взаємодії, моделювання та адитивне виробництво [15].

З виникненням тривимірних принтерів і четвертою промисловою революцією з'явилося безліч альтернативних продуктів харчування. Наприклад, стійкі харчові інгредієнти з високою поживною цінністю, але низькою схожістю (морські водорості, комахи та листя буряка) перетворюються у форму порошку для вставлення в картридж харчового 3D-принтера, які використовуються для кращого дизайну їжі зі зміненими формами та смаками, що не тільки привабливіші, але й легші для споживання завдяки їхнім смаковим якостям [16, 17]. На основі структурованого підходу дослідники представили комплексну структуру 3D-друку харчових продуктів – піраміду гастрономії 3D-друку їжі, яка містить 3 рівні: 1) технічні вдосконалення продуктів харчування через 3D-друк їжі; 2) персоналізоване харчування та гастрономія через 3D-друк їжі; 3) сталий гастрономічний досвід через 3D-друк їжі [18].

3D-друк їжі використовується для налаштування смаку, поживності, форми, розміру, внутрішньої структури тощо. Особливий інтерес викликала можливість проектування та розробки харчових продуктів для цільових груп населення, які потребують особливих харчових потреб. Потенціал персоналізованого харчування в найближчому майбутньому є одним із головних пояснень швидкого прогресу в 3D-друці їжі. Його важливість полягає в тому, що певні поживні речовини та сполуки, які зміцнюють здоров'я, можуть входити до складу формувань, які будуть надруковані, щоб полегшити перебіг або запобігти виникненню таких хвороб, як анемія [19]. Кращий естетичний вигляд харчових продуктів, надрукованих на 3D-принтері, збільшує їх привабливість серед споживачів, що сприяє комерційному успіху [20]. Нещодавні дослідження демонструють існування ряду дивовижних асоціацій (також відомих як кросмодальні відповідності) між, здавалося б, не пов'язаними особливостями в різних сенсорних модальностях, наприклад, між основними смаками та кольорами. Вибір дизайну дегустації, коли страва представлена чотирма окремими елементами, кожен з яких має характерний колір, підібраний до відповідного смаку (гіркового, солодкого, солоного та кислого), що узгоджуються з цими кросмодальними відповідностями, як правило, викликає більше симпатій, і, можливо, в результаті цього споживач може більш вільно обробляти сенсорну інформацію. У разі невідповідності, коли клієнт розраховує на сюрприз, який своєю чергою не підтверджує його очікування, це може призвести до позитивного або негативного досвіду. І хоча дедалі

більше відвідувачів очікують на сюрприз, коли відвідують модерністський ресторан, це набагато важче успішно застосувати в інших контекстах [21].

В останні кілька років дослідження 4D-друку їжі були в основному зосереджені на динамічних змінах кольору, смаку, форми та поживних характеристиках 3D-друкованих компонентів, покращуючи сенсорні властивості і поживний ефект їжі. Однак однієї зміни вже недостатньо, щоб задовольнити харчові потреби споживачів, які почали очікувати синхронних змін у багатьох сенсорних та інших атрибутах їжі. Мікрокапсуляція – це метод інкапсуляції та захисту певних інгредієнтів (пігментів, смакових речовин, поживних речовин тощо) від впливу навколишнього середовища (тепла, світла, кисню, тиску тощо) з контролем їх вивільнення в конкретному середовищі. Таким середовищем може бути технологія мікрохвильового нагрівання, що має очевидні переваги в постобробці 3D-друку та змінах, викликаних 4D-друком. Порівняно з традиційними методами нагрівання, мікрохвильове нагрівання має переваги спрямованості, швидкості, ефективності та економії часу, а також може сприяти вивільненню мікрокапсул для завершення 4D-друку. Молекули води всередині їжі під дією мікрохвиль швидко випаровуються, утворюючи різницю внутрішнього і зовнішнього тиску. Це призводить до швидкого розширення харчового матеріалу та викликає локальне здуття в гарячій точці, демонструючи ефект деформації «цвітіння» 3D-друкованої моделі квітки, а мікрокапсули лопаються, вивільняючи з них бетаціанін і есенцію троянди, що посилює колір і смак надрукованих зразків [22].

Для визначення ставлення споживачів до харчових продуктів, отриманих за допомогою адитивних технологій, було проведено анкетування серед 505 респондентів (49,1 % – чоловіки, 50,9 % – жінки). Більшість респондентів усіх вікових груп не схильні розділяти твердження, що створення персоналізованої їжі за рахунок 3D-друку дозволить збалансувати надходження поживних речовин в організм людини (рис. 1).

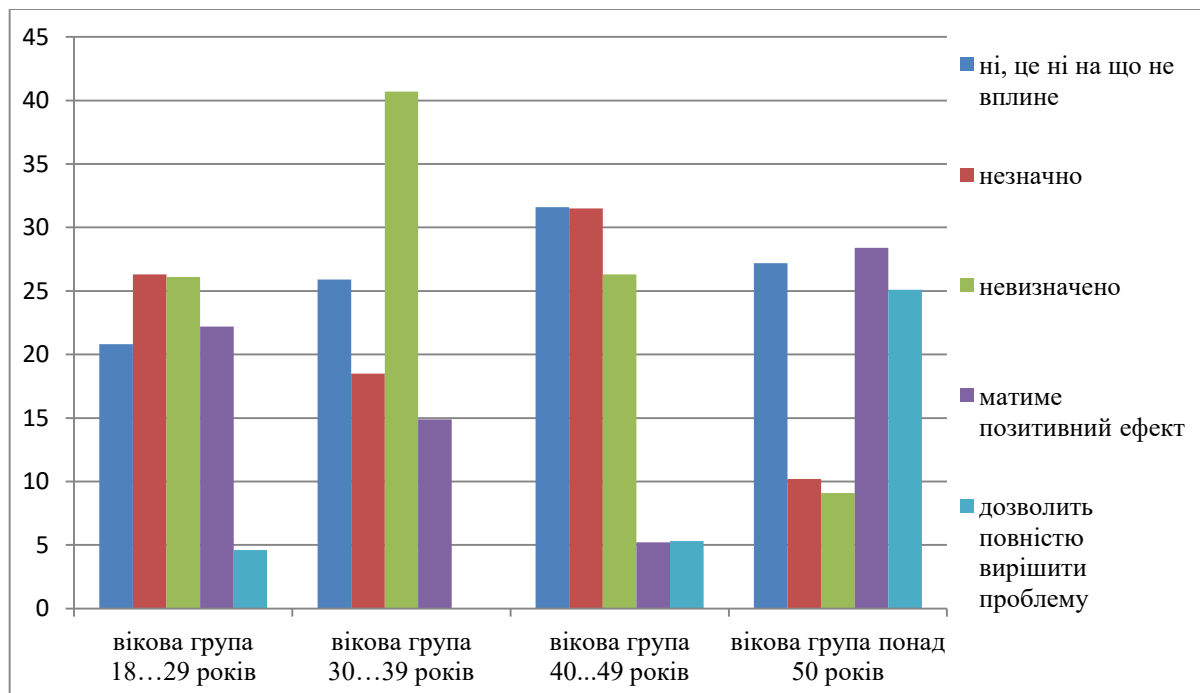


Рис. 1. Ставлення споживачів до можливості збалансувати надходження поживних речовин в організм людини за допомогою створення персоналізованої їжі методом 3D-друку, % від кількості респондентів

Лише від припущення, що для 3D-друку харчового продукту використовуються нетрадиційні харчові матеріали або харчові відходи (рослинні матеріали з високим вмістом клітковини або побічні продукти переробки рослинної сировини, м'ясні залишки, комахи, мікроорганізми, водорості), одразу значно зменшується кількість бажаючих споживати таку їжу (рис. 2). Відмова від нової їжі або уникнення її вживання називається «харчовою неофобією». Відомо, що таке ставлення негативно впливає на різноманітність їжі та її споживання. Крім того, споживачі можуть мати негативні думки не лише про нові харчові продукти, але й про нові технології, які використовуються для їх виготовлення [23]. У минулому вважалося, що це тип захисного механізму, який запобігає споживанню потенційно шкідливих продуктів, що поступово слабшає з пізнього дитинства до дорослого віку, а згодом із віком починає знову повільно зростати. Дослідження серед дітей і дорослих свідчать про те, що харчова неофобія може не тільки вплинути на споживання здорової їжі (тобто фруктів і овочів), але й знижує готовність спробувати здорові харчові альтернативи (наприклад, замінники м'яса). Ще у другій половині ХХ століття було визначено три

фактори, що лежать в основі прийняття та відмови від їжі: 1) очікувані шкідливі наслідки споживання; 2) сенсорна перевага; 3) ідеологія, яка зумовлена знанням про природу або походження субстанції [24, 25]. Тому для подальшого масового впровадження адитивного виробництва необхідно усунути одну із основних перешкод – несприйняття надрукованої їжі споживачами.

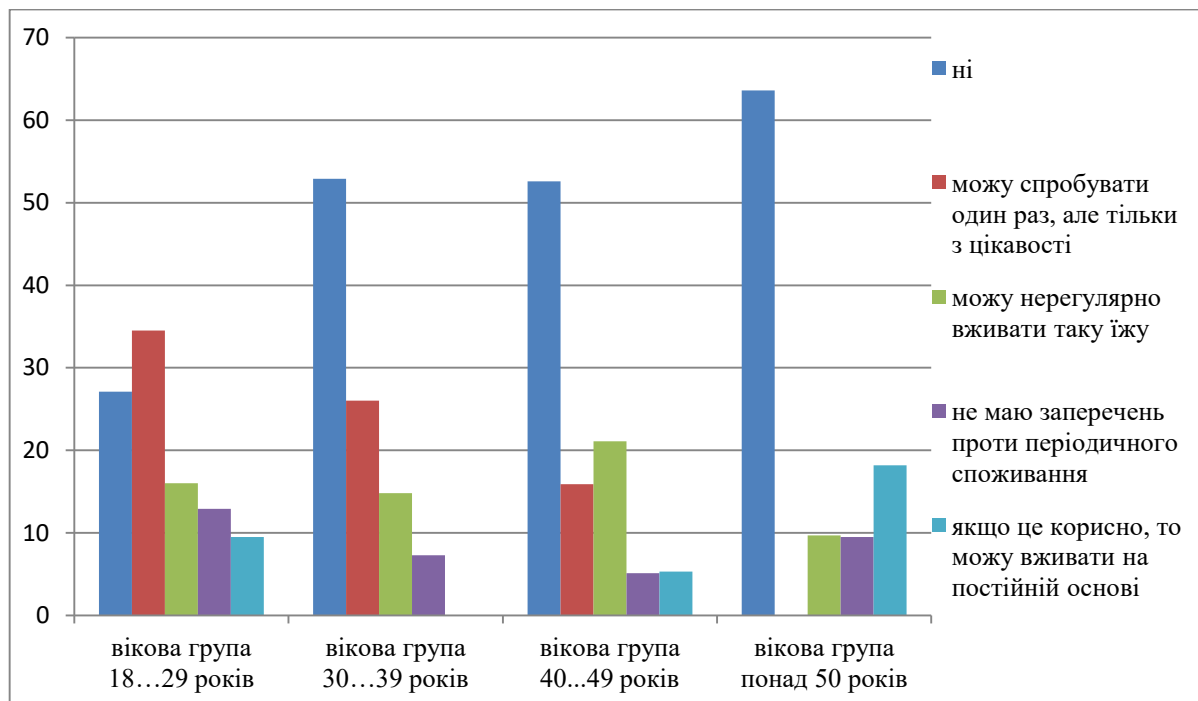


Рис. 2. Готовність споживачів до вживання 3D-друкованої їжі, якщо для її виробництва будуть використовувати нетрадиційні харчові матеріали, % від кількості респондентів

Інша новація, що передбачає зміну під дією мікрохвиль смаку, кольору і форми в отриманій за допомогою 4D-друку їжі, також не знаходить загального визнання. Абсолютно негативне ставлення до придбання такого харчового продукту зростає з 22,2 % у віковій групі 18–29 років до 72,7 % серед респондентів старше 50 років (рис. 3).

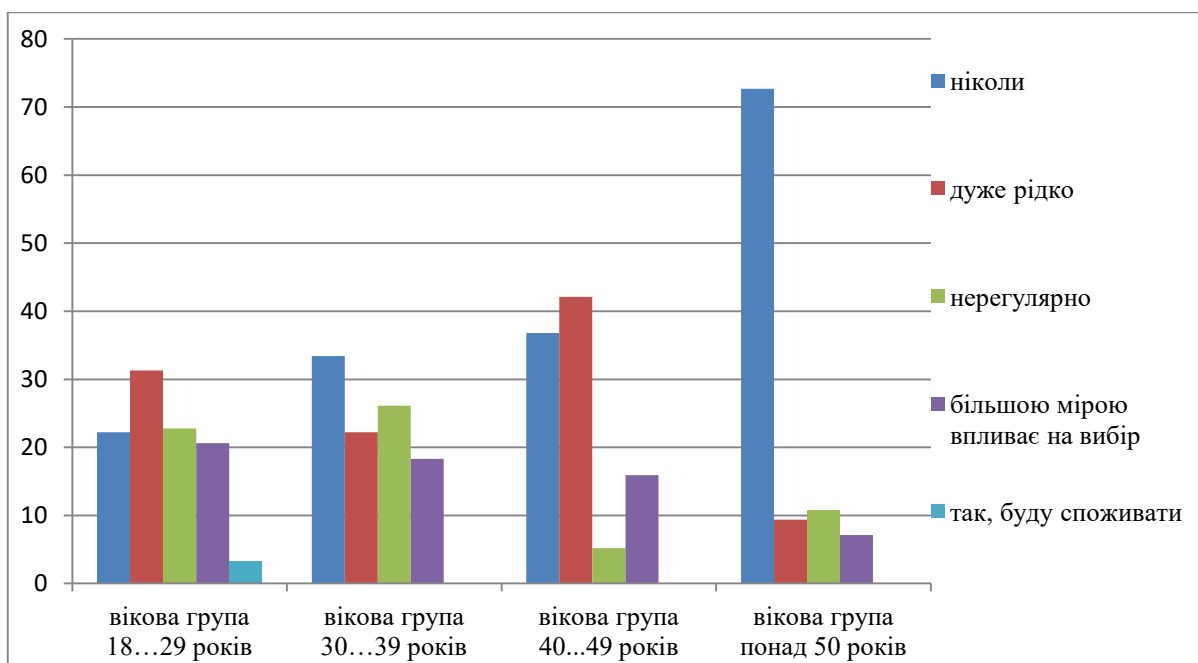


Рис. 3. Готовність споживачів визнати конкурентною перевагою надрукованої на 4D-принтері їжі, з властивістю змінювати колір на більш привабливий під дією мікрохвиль, % від кількості респондентів

Ці результати можуть бути наслідком низької обізнаності респондентів про 3D-друк харчових продуктів. Виробникам такої продукції варто зосередити зусилля на інформаційному просуванні нових продуктів із акцентом на використанні якісної сировини рослинного або тваринного походження. Також необхідно враховувати той факт, що будь-яка додаткова обробка продукту переважно сприймається негативно, посилюючи недовіру споживачів. Медіа приділяють значну увагу негативному впливу на організм людини ультрапереробленої їжі, а друк харчових продуктів у респондентів асоціюється із різноманітними добавками, які можуть негативно вплинути на здоров'я.

Висновки. Традиційні кулінарні технології не здатні задовольнити вимогливий попит сучасних споживачів, які, окрім передбачуваних переваг повноцінного харчування, хочуть отримати естетично довершений продукт. Загальне зростання обізнаності клієнтів про персоналізовану їжу стимулює пошук нових технологічних рішень, але простим збагаченням харчових продуктів складно досягти ідеальної текстури та дизайну виробів. Технологія адитивного виробництва сприяє розробці харчових продуктів із налаштуванням смаку, поживності, внутрішньої структури тощо. Проектування харчових продуктів для друку на 3D-принтері має ґрунтуватися на ставленні споживачів, що є визначальним фактором їх комерційного впровадження.

References:

- Feng, M., Zhang, M., Bhandari, B. et al. (2024), «Utilizing 3D printing to create sustainable novel food products with innovative ingredients», *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, doi: 10.1016/j.ifset.2024.103873.
- Castagna, A.C., Pinto, D.C., Mattila, A. and de Barcellos, M.D. (2021), «Beauty-is-good, ugly-is-risky: Food aesthetics bias and construal level», *Journal of Business Research*, Vol. 135, pp. 633–643, doi: 10.1016/j.jbusres.2021.06.063.
- Parasecoli, F. (2022), «Food design, nutrition, and innovation», *Frontiers in Public Health*, doi: 10.3389/fpubh.2022.1039795.
- Pereira, T., Barroso, S. and Gil, M.M. (2021), «Food Texture Design by 3D Printing: a review», *Foods*, No. 10 (2), 320 p., doi: 10.3390/foods10020320.
- Çalışkan, S. (2024), «New Techs and Trends in Gastronomy», *Future Tourism Trends*, Emerald Publishing Limited, Vol. 2, pp. 193–205, doi: 10.1108/978-1-83753-970-320241012.
- Subhasri, D., Dutta, S., Leena, M.M. et al. (2022), «Gastronomy: An extended platform for customized nutrition», *Future Foods*, Vol. 5, doi: 10.1016/j.fufo.2022.100147.
- Dankar, I., Haddarah, A., Omar, F.E.L. et al. (2018), «3D printing technology: The new era for food customization and elaboration», *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 75, pp. 231–242, doi: 10.1016/j.tifs.2018.03.018.
- Rafiee, M., Farahani, R.D. and Therriault, D. (2020), «Multi-Material 3D and 4D Printing: A Survey», *Advanced science*, Weinheim, Baden-Württemberg, Germany, Vol. 7 (12), doi: 10.1002/advs.201902307.
- Tang, T., Zhang, M., Bhandari, B. and Li, C. (2024), *Personalized transformation of 3D printing for traditional multi-material food with stuffin: a review*, Vol. 59, doi: 10.1016/j.fbio.2024.104112.
- Piddubniy, V.A., Tarasiuk, H.M., Chahaida, A.O. and Radchenko, Iu.I. (2024), «Prospects of Implementation of Additive Technologies in the Production of Functional Food Products», *Modern engineering and innovative technologies*, No. 1 (34–01), pp. 54–59, doi: 10.30890/2567-5273.2024-34-00-018.
- Kumar, P., Suryavanshi, P., Dwivedy, S.K. and Banerjee, S. (2024), «Stimuli-responsive materials for 4D Printing: Mechanical, Manufacturing, and Biomedical Applications», *Journal of Molecular Liquids*, Vol. 410, doi: 10.1016/j.molliq.2024.125553.
- Manshor, M.R., Alli, Y.A., Anuar, H. et al. (2023), «4D printing: Historical evolution, computational insights and emerging applications», *Materials Science and Engineering: B*, Vol. 295, doi: 10.1016/j.mseb.2023.116567.
- Derossi, A., Spence, C., Corradini, M.G. et al. (2024), «Personalized, digitally designed 3D printed food towards the reshaping of food manufacturing and consumption», *npj Science of Food*, No. 8 (54), doi: 10.1038/s41538-024-00296-5.
- Shinde, S., Mane, R., Vardikar, A. et al. (2023), «4D printing: From emergence to innovation over 3D printing», *European Polymer Journal*, Vol. 197, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2023.112356.
- Lupton, D. (2017), «“Download to delicious”: Promissory themes and sociotechnical imaginaries in coverage of 3D printed food in online news sources», *Futures*, Vol. 93, pp. 44–53, doi: 10.1016/j.futures.2017.08.001.
- Lupton, D. and Turner, B. (2018), «“I can’t get past the fact that it is printed”: consumer attitudes to 3D printed food Food», *Culture & Society*, Vol. 21, pp. 402–418, doi: 10.1080/15528014.2018.1451044.
- Meijers, M.G.J. and Han, D.I.D. (2024), «The 3D food printing pyramid of gastronomy: A structured approach towards a future research agenda», *International Journal of Gastronomy and Food Science*, Vol. 37, doi: 10.1016/j.ijgfs.2024.100969.
- Maldonado-Rosas, R., Tejada-Ortigoza, V., Cuan-Urquiza, E. et al. (2022), «Evaluation of rheology and printability of 3D printing nutritious food with complex formulations», *Additive Manufacturing*, Vol. 58, doi: 10.1016/j.addma.2022.103030.
- Baiano, A. (2020), «3D Printed Foods: A Comprehensive Review on Technologies, Nutritional Value, Safety, Consumer Attitude, Regulatory Framework, and Economic and Sustainability Issues», *Food Reviews International*, Vol. 38, Issue 5, pp. 986–1016, doi: 10.1080/87559129.2020.1762091.
- Velasco, C., Michel, C., Youssef, J. et al. (2016), «Colour – taste correspondences: Designing food experiences to meet expectations or to surprise», *International Journal of Food Design*, Vol. 1, Issue 2, pp. 83–102, doi: 10.1386/ijfd.1.2.83_1.

21. Chen, X., Zhang, M., Tang, T. and Yu, D. (2024), «The color/shape/flavor of yam gel with double emulsified microcapsules changed synchronously in 4D printing induced by microwave», *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 260, Issue 2, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129631.
22. Lee, K.H., Hwang, K.H., Kim, M. and Cho, M. (2021), «3D printed food attributes and their roles within the value-attitude-behavior model: Moderating effects of food neophobia and food technology neophobia», *Journal of Hospitality and Tourism Management*, Vol. 48, pp. 46–54, doi: 10.1016/j.jhtm.2021.05.013.
23. Jezewska-Zychowicz, M., Plichta, M., Drywień, M.E. and Hamulka, J. (2021), «Food Neophobia among Adults: Differences in Dietary Patterns, Food Choice Motives, and Food Labels Reading in Poles», *Nutrients*, Vol. 13, Issue 5, doi: 10.3390/nu13051590.
24. Petrovska, I.O., Tarasiuk, H.M. and Chahaida, A.O. (2024), «Spryiniattia strav z yistivnykh komakh spozhyvachamy posluh zakladiv industrii hostynnosti», *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriia. Ekonomika i upravlinnia*, Vol. 35 (74), No. 2, pp. 40–47, doi: 10.32782/2523-4803/74-2-8.

Тарасюк Галина Миколаївна – доктор економічних наук, професор, декан факультету бізнесу та сфери обслуговування Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0001-5112-102X>.

Наукові інтереси:

- проблеми теорії та практики менеджменту суб'єктів господарювання;
- управління проектами;
- проблеми розвитку туризму та закладів готельно-ресторанної індустрії;
- проблеми здорового харчування населення.

E-mail: halynatarasiuk@ztu.edu.ua.

Чагайда Андрій Олегович – кандидат технічних наук, доцент кафедри туризму та готельно-ресторанної справи Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-1826-9545>.

Наукові інтереси:

- проблеми теорії та практики технології виробництва на підприємствах харчової промисловості;
- мінітехнології на підприємствах готельно-ресторанного господарства.

E-mail: andrey11081968@ukr.net.

Tarasiuk H.M., Chahaida A.O.

Design of food products using 3D and 4D printing technology and its significance for the development of additive production

The potential for personalized nutrition in the near future is one of the main explanations for the rapid progress in 3D food printing. Its importance lies in the fact that certain nutrients and health-promoting compounds can be incorporated into the formulations that will be printed to alleviate or prevent diseases in consumers. The better aesthetic appearance of 3D printed food products increases their appeal to consumers, which contributes to commercial success. The study found that with the advent of 3D printers and the fourth industrial revolution, a multitude of alternative food products have emerged. Such as, for example, sustainable food ingredients with high nutritional value but low similarity (e.g. seaweed, insects and beet leaves) are converted into powder form to be inserted into 3D food printer cartridges, which are used to better design food with modified shapes and flavors that are not only more attractive but may also be easier to consume due to their palatability. To determine consumers' attitudes towards food products obtained using additive technologies, a survey was conducted among 505 respondents (49,1 % – men, 50,9 % – women). The majority of respondents of all age groups are not inclined to share the statement that the creation of personalized food through 3D printing will allow balancing the intake of nutrients into the human body. The results of the survey have been studied and confirmed that the mere assumption that non-traditional food materials or food waste (plant materials with a high fiber content or by-products of plant processing, meat residues, insects, microorganisms, algae) are used for 3D printing of a food product immediately radically reduces the number of people willing to consume such food. The innovation that involves changing the taste, color and shape of food obtained using 4D printing under the influence of microwaves is also not universally accepted. The absolutely negative attitude towards purchasing such a food product increases from 22,2 % in the age group 18...29 years to 72,7 % in the age group over 50 years. The survey results show low awareness of respondents about 3D and 4D printing of food products. Manufacturers of such products should focus their efforts on information promotion of new products with an emphasis on the use of high-quality raw materials of plant or animal origin. It is also necessary to take into account the fact that any additional processing of the product is perceived more as a negative impact, and such intervention increases distrust among consumers. Therefore, according to the results of the study, it was concluded that the general increase in customer awareness of personalized food will stimulate the search for new technological solutions and the design for printing on a 3D printer of food products should be based on the attitude of consumers towards them, which is a determining factor for their commercial implementation.

Keywords: food; consumer; production; additive manufacturing; digitized technologies; innovation; consumption; food products; human health; food quality; 3D food printing; 4D food printing; modernist restaurant; additive economy; commercial implementation.

Стаття надійшла до редакції 15.10.2024.