

УДК 664.642.2
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-11-20](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-11-20)

Поступила в редакцию 25.02.2022
Received 25.02.2022

Т. Д. Самуйленко

Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий», г. Могилев, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ОСАХАРИВАНИЯ НА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОФИЛЬНОЙ ЗАКВАШЕННОЙ ЗАВАРКИ

Аннотация. На белорусских хлебопекарных предприятиях для производства заварных сортов хлеба преимущественно используется сброженная заварка на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. Ее традиционная технология полноценно реализуется только при круглосуточном режиме производства заварных сортов хлеба с постоянной производительностью по рассматриваемому ассортименту. В статье отмечено, что научно обоснованные сведения о технологических приемах воздействия на сброженную заварку в дискретном режиме отсутствуют. В исследованиях установлено влияние технологических параметров процесса осахаривания на биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки. Представлены воздействующие факторы и критерии оценки, построен план эксперимента. Выявлены изменения общего количества термофильных молочнокислых бактерий, их активности и кислотности термофильной заквашенной заварки при стабильной температуре и продолжительности заквашивания, стабильном количественном составе и варьируемом качественном составе используемой осахаренной заварки. Получены уравнения регрессии, адекватно описывающие зависимости исследуемых критериев оценки от выбранных факторов и позволяющие прогнозировать биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба. Установлены приемлемые диапазоны варьирования количественного состава осахаренной заварки и технологические параметры ее приготовления при нестабильном дискретном процессе осахаривания и при стабильном непрерывном процессе заквашивания.

Ключевые слова: дискретный режим, осахаренная заварка, термофильная заквашенная заварка, сброженная заварка, биотехнологические свойства, технологические параметры, молочнокислые бактерии, активность, кислотность.

T. D. Samuilenko

Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus

THE INFLUENCE OF THE SACCHARIFICATION PROCESS ON BIOTECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THERMOPHILIC SOURDOUGH

Abstract. Fermented sourdough based on saccharified and thermophilic sourdough is used for the production of national types of bread at Belarusian bakeries. Its traditional technology is fully implemented only with the round-the-clock production of national types of bread with constant productivity for this assortment. The article notes that there isn't scientifically substantiated information about the technological methods of action on fermented sourdough in a discrete mode. The influence of technological parameters of the saccharification process on the biotechnological properties of thermophilic sourdough has been established. The influencing factors and evaluation criteria are presented, the experiment plan is constructed. Changes in the total number of thermophilic lactic acid bacteriums, their activity and acidity of thermophilic sourdough at a stable temperature, duration, quantitative composition and unstable qualitative composition of the saccharified sourdough used were revealed. Regression equations that adequately describe the dependencies of the studied evaluation criteria on the selected factors and allow predicting the biotechnological properties of thermophilic sourdough in a discrete mode for the production of national types of bread have been obtained. Acceptable ranges of the quantitative composition of saccharified sourdough and technological parameters of its preparation with an unstable discrete process of saccharification and with a stable continuous process for obtaining thermophilic sourdough have been established.

Keywords: discrete mode, saccharified sourdough, thermophilic sourdough, fermented sourdough, biotechnological properties, technological parameters, lactic acid bacteriums, activity, acidity.

Введение. На отечественных хлебопекарных предприятиях для производства заварных сортов хлеба в качестве основного промежуточного кислотосодержащего и разрыхляющего полуфабриката используется сброженная заварка, полученная на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. Это многостадийный полуфабрикат приготавливают путем направленного культивирования специфических микроорганизмов (термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii* (штамм 76) на стадии заквашивания, мезофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus plantarum* (штамм И–35) и дрожжевых клеток расы «Ивановская» на стадии сбраживания) при определенных технологических параметрах и составах мучных питательных субстратов только в непрерывном режиме.

Приготовление сброженной заварки в производственном цикле включает следующие последовательно реализуемые стадии: заваривание рецептурной смеси, осахаривание полученной заварки, заквашивание заварки, ее последующее охлаждение, сбраживание заварки. Стоит отметить, что стадии заваривания, осахаривания и охлаждения осуществляются в дискретном режиме, а стадии заквашивания и сбраживания — в непрерывном режиме. Сохранение культивируемых микроорганизмов в жизнеспособном состоянии в таких переменных условиях осуществляется путем отбора части полуфабриката на следующую стадию и добавления полуфабриката с предыдущей стадии к оставшейся части полуфабриката текущей стадии. Эффективность процессов, протекающих на каждой стадии приготовления сброженной заварки, в значительной степени зависит от количественного и качественного состава используемых мучных питательных субстратов, состава культивируемых микроорганизмов и их активности.

Традиционная технология сброженной заварки разработана и возможна для реализации только при круглосуточном режиме производства заварных сортов хлеба с относительно постоянной производительностью по рассматриваемому ассортименту. Именно это обеспечивает стабильность биотехнологических свойств сброженной заварки, а соответственно и потребительских свойств заварных сортов хлеба.

В дискретном режиме технология сброженной заварки требует других подходов при реализации, которые должны основываться на моделировании метаболизма культивируемых микроорганизмов (дрожжевых клеток и/или молочнокислых бактерий). К основным способам, реализуемым в этом направлении, можно отнести изменение технологических параметров приготовления и использование дополнительных сырьевых материалов. Это позволяет варьировать количественный и качественный состав доступных питательных веществ для культивируемых микроорганизмов, что обеспечивает регулирование производственного цикла и/или придает определенные биотехнологические свойства полуфабрикатам [1–4].

Стоит отметить, что в литературных источниках отсутствуют научно обоснованные конкретные сведения о дополнительных технологических приемах воздействия на сброженную заварку в дискретном режиме для стабилизации ее биотехнологических свойств и соответственно потребительских свойств рассматриваемого ассортимента хлебобулочных изделий. Представленные эпизодические сведения об отличительных особенностях приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки в основном затрагивают узкий перечень наименований заварных сортов хлеба и никак не ориентированы на специфику дискретного режима их производства [1, 5, 6, 7].

Следует отметить, что использование физических способов интенсификации технологического процесса (воздействие различных видов излучений, энергии звуковых колебаний и др.) при приготовлении жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов в дискретном режиме производства хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки для стабилизации биотехнологических свойств полуфабрикатов требует использования дополнительного специализированного оборудования, в некоторых случаях сложного в конструктивном исполнении, больших энерго- и трудозатрат, высокой квалификации персонала, что не улучшит экономическую эффективность работы предприятий хлебопекарной отрасли и повлечет увеличение себестоимости готового продукта [8].

Использование побочных продуктов различных отраслей пищевой промышленности при приготовлении жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов обеспечивает интенсификацию технологического процесса. Однако большинство этих сырьевых компонентов требует регулярного их производства и, соответственно, поставок на хлебопекарные предприятия, дополнительной подготовки (например, пюре из якона, паста из сахарной свеклы, сахаросодержащая паста из картофеля, послеспиртовая барда из топинамбура, водная вытяжка из боя и хвостиков сахарной свеклы). Промышленное производство этих сырьевых компонентов в Республике Беларусь отсутствует, в случае их использования требуются дополнительные валютные затраты, что в конечном итоге влияет на себестоимость ассортимента хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. Несмотря на многочисленные преимущества использования предложенных продуктов переработки плодов, овощей и побочной продукции пищевой промышленности, стоит отметить то, что длительное куль-

тивирование (более нескольких месяцев) микроорганизмов на предложенных мучных питательных субстратах в производственном цикле приводит к нарушению соотношения между дрожжевыми клетками и молочнокислыми бактериями в сторону роста дрожжевых клеток. Это является нерациональным, приводит к несоответствию полуфабриката рекомендациям технологических инструкций и невозможности использования на стадии замеса теста. Такая ситуация обусловлена содержанием значительного количества легкоусвояемых углеводов в составе продуктов переработки плодов и овощей и значительно сказывается на образовании в жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатах веществ, влияющих на вкус и аромат хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. Кроме того, высокая активность дрожжевых клеток в этих условиях и увеличение их общего количества приводит к значительному пенообразованию в полуфабрикатах, что затрудняет их транспортирование и последующее дозирование. Также требуется разработка рекомендаций при приготовлении таких жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов на модифицированных мучных питательных субстратах в условиях дискретного режима производства. В настоящее время исследование в таких условиях не проводилось, а рекомендации отсутствуют [9–20].

В литературных источниках встречаются сведения использования нетрадиционного биологически активного фитосырья и пряно-ароматического сырья для регулирования технологического процесса приготовления жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов. Они преимущественно содержат в своем составе соединения полифенольной природы различных классов, кислоты, ароматические масла и другие соединения, которые влияют на жизненный цикл культивируемых специфических микроорганизмов. Стоит отметить, что при этом такие сырьевые материалы требуют дополнительной подготовки (экстрактирование, предварительное смешивание с другими компонентами и др.), точное соблюдение технологии приготовления полуфабрикатов в производственном цикле. Несоблюдение этих мероприятий может повлечь нарушение в соотношении, и даже гибель жизнеспособных культивируемых микроорганизмов промежуточных полуфабрикатов, обусловленное высокими коагулирующими свойствами веществ, входящих в состав рассматриваемых сырьевых материалов. В Республике Беларусь некоторые виды такого сырья (хмель, женьшень, зеленый чай, корень солодки, гранат, руккола и др.) не произрастают или культивируются в очень ограниченном количестве, что требует от хлебопекарных предприятий дополнительных валютных затрат для закупок за рубежом и отражается на себестоимости готовой продукции, а соответственно экономической эффективности работы хлебопекарных предприятий. Многие аспекты реализации производственного цикла представленных жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов являются коммерческой тайной, в связи с этим технологии их получения не могут быть воспроизведены без дополнительных исследований [16, 21–22].

Сотрудниками Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий предложены технологии жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов с внесением фитосырья в дискретном режиме производства хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. Эти технологии позволяют регулировать продолжительность приготовления полуфабрикатов, в некоторых случаях, пролонгировать ее до 16 ч, интенсифицировать процесс брожения теста в среднем в 1,5–2 раза и получить готовую продукцию со стабильными потребительскими свойствами и сниженной себестоимостью в различных производственных условиях функционирования хлебопекарных предприятий [23–24].

Стоит отметить, что в литературных источниках встречаются и некоторые сведения об оптимизации технологических процессов хлебопекарного производства, которые рекомендованы и реализуются на предприятиях отрасли, в том числе и при производстве хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. Эти направления получили свое развитие в хлебопекарной отрасли, в частности при приготовлении хлебобулочных изделий для упрощения технологического процесса. Они основаны на рассмотрении протекающих микробиологических, коллоидных, биохимических, физико-химических процессов как многофакторных систем, состояние которых оценивается качественно и количественно путем использования теории оптимизации, методов и средств математического моделирования, технологии структурного анализа и проектирования SADT и других способов [25–29].

Предлагаемые способы оптимизации технологических процессов в хлебопекарном производстве, основанные на системных методах исследований закономерности развития специфических культивируемых микроорганизмов, представлены преимущественно для таких полуфабрикатов, как жидкие ржаные закваски с завариванием и без заваривания части муки, жидкие дрожжи и тесто [23, 30–38]. Как известно, названные ржаные кислотосодержащие полуфабрикаты изготавливаются преимущественно по периодической одностадийной технологии или непрерывной двухстадийной технологии, то есть имеют существенные отличия от технологии сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. Кроме того, в представленных некоторых подходах оптимизации технологических процессов отражено поведение

рассматриваемой системы только при постоянном непрерывном режиме производства и оценен узкий спектр влияющих параметров (факторов). Оптимизация технологических параметров приготовления в дискретном режиме производства хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки рассмотрена только для жидкой ржаной закваски с завариванием части муки [23]. Использование этих подходов в представленном виде для совершенствования производственного цикла сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, или полностью не представляется возможным, или требует внесения существенных научно обоснованных корректировок.

Таким образом, в литературных источниках полностью отсутствуют научно обоснованные конкретные сведения о дополнительных технологических приемах воздействия на сброженную заварку, полученную на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, в производственном цикле в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба с целью стабилизации ее биотехнологических свойств и, соответственно, потребительских свойств рассматриваемого ассортимента хлебобулочных изделий. Представленные эпизодические сведения о приготовлении сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, с некоторыми отклонениями в технологических параметрах, в основном, приводятся для отдельных наименований в ассортименте заварных сортов хлеба, что обусловлено получением готовых изделий со специфическими потребительскими свойствами и никак не ориентированы на специфику дискретного режима их производства. Ряд сведений относятся к другим жидким ржаным кислотосодержащим полуфабрикатам (жидкой закваске с завариванием и без заваривания части муки, жидкие дрожжи и др.). Они не всегда полноценно могут быть использованы для приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки непосредственно в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба. Кроме того, в настоящее время в хлебопекарной отрасли Республики Беларусь не существует четкого порядка приготовления сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, в производственном цикле в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба, не установлены особенности культивирования специфических микроорганизмов в таких условиях, которые бы обеспечивали стабилизацию биотехнологических свойств рассматриваемого полуфабриката, позволяющего получить заварные сорта хлеба со стабильно высокими потребительскими свойствами.

Как упоминалось ранее, приготовление сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки является не только непрерывным, но и многостадийным процессом, поэтому при реализации ее в дискретном режиме необходимо рассматривать поэтапное приготовление полуфабриката, так как химический состав и свойства полуфабрикатов последующей стадии полностью зависят от свойств полуфабриката текущей стадии.

Ранее были проведены исследования по влиянию рецептурного состава и технологических параметров на процесс осахаривания и свойства осахаренной заварки [39]. Следующим этапом является процесс заквашивания, который может осуществляться как путем варьирования технологических параметров, так и путем поддержания их на стабильном уровне, характерном для традиционной технологии. В этих двух вариантах при использовании осахаренной заварки разного состава свойства термофильной заквашенной заварки будут изменяться также по-разному. Изучение влияния качественного состава осахаренной заварки, который обусловлен используемыми технологическими параметрами на этой стадии производственного цикла, на свойства термофильной заквашенной заварки при стабильной реализации стадии заквашивания ранее не проводилось и поэтому представляет научный и практический интерес. На основании этого были выделены цель и задачи настоящего исследования.

Цель исследования — установить влияние технологических параметров процесса осахаривания на биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки, приготовленной с использованием стабильных режимов на этой стадии.

Задачи исследования: 1) установить изменение общего количества термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii* (штамм 76), их активности и показателя кислотности термофильной заквашенной заварки при стабильной температуре и продолжительности заквашивания, стабильном количественном составе и варьируемом качественном составе используемой осахаренной заварки; 2) установить аналитические выражения, адекватно описывающие взаимосвязь исследуемых биотехнологических свойств от выбранных факторов влияния; 3) установление приемлемых диапазонов стадии осахаривания при традиционном процессе заквашивания.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в лабораториях кафедры технологии хлебопродуктов, технологии пищевых производств Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. Опыты повторяли 3–5 раз. Результаты обработаны статистическими методами с вероятностью 0,95. Ошибка опыта 5,0 %. В таблицах представлены средние арифметические значения полученных величин.

Общее количество молочнокислых бактерий устанавливали путем микроскопирования по методу Бургвица [41–43]. Для определения активности молочнокислых бактерий использовали метод М.П. Юргенсона и И.Ф. Романова. Метод основан на скорости изменения цвета красителя (с голубой окраски в бесцветную окраску) [41]. Кислотность термофильной заквашенной заварки устанавливали методом титрования [41–43].

Для управления процессом заквашивания и возможностью прогнозирования биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки на основе осахаренной заварки в дискретном режиме использовали план полного факторного эксперимента (3×2^3), состоящий из 24 опытов. Обработку экспериментальных данных проводили с использованием программного обеспечения Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company [44–46].

Исследования проводили в рамках проекта Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Качество и эффективность агропромышленного производства 3.68» по теме «Оптимизация технологического цикла сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и заквашенной заварки, путем моделирования жизнедеятельности популяций симбиотически развивающихся в них микроорганизмов в дискретном режиме производства хлеба» (ГЗ 19–05, номер государственной регистрации 20191859) [45].

Результаты исследований и их обсуждение. Предыдущими исследованиями [40] на основе обобщенных теоретических данных и имеющегося практического опыта приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки при производстве заварных сортов хлеба в дискретном режиме на действующих хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь установлены диапазоны наиболее часто изменяемых параметров на стадии осахаривания заварки:

- ♦ содержание муки ржаной сеяной X_1 , %, для приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки от 10,0 % до 24,0 % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба;
- ♦ содержание солода ржаного неферментированного X_2 , %, для приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки от 2,0 % до 8,0 % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба;
- ♦ продолжительность осахаривания ржаной заварки X_3 , мин, от 60 мин до 720 мин;
- ♦ температура осахаривания ржаной заварки X_4 , °С, от 45 °С до 65 °С.

Эти факторы обуславливают разный качественный состав получаемой осахаренной заварки и, как следствие, наличие разного содержания питательных веществ в ней при стабильном ее количестве для культивируемых в термофильной заквашенной заварке термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii* (штамм 76). Результатом чего является изменение динамики жизнедеятельности рассматриваемых микроорганизмов, продуцирование ими разного количества продуктов их жизнедеятельности и изменение биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки для разных ее порций, направляемых на следующую стадию производственного цикла получения сброженной заварки на ее основе.

Для установления зависимости биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки на основе осахаренной заварки при комплексном варьировании совокупности параметров (факторов), наиболее существенно влияющих на ее качественный состав в производственном цикле в дискретном режиме, использована универсальная статистическая графическая система Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company [46–48]. Это позволит оптимизировать технологический процесс и научно обоснованно управлять биотехнологическими свойствами исследуемого полуфабриката.

Критериями оценки приняты следующие показатели, характеризующие биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки:

- ♦ общее количество термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii* (штамм 76) $Y_1 \cdot 10^6$, ед/г;
- ♦ активность термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii* (штамм 76) Y_2 , мин;
- ♦ кислотность термофильной заквашенной заварки Y_3 , град.

Для управления процессом заквашивания, выявления оптимальных диапазонов варьирования влияющих факторов, возможности прогнозировать биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки в программном приложении Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company построен план полного факторного эксперимента (3×2^3), состоящий из 24 опытов. Согласно плану, представленному в табл. 1, проведены экспериментальные исследования и получены значения критериев оценки (выходные параметры) для каждого опыта.

Влияние каждого из представленных параметров (факторов) и их взаимодействие на основные критерии оценки графически отражают карты Парето (рис. 1). При их помощи и результатам дисперсионного анализа установлены незначимые коэффициенты, что позволяет упростить вид получаемого уравнения модели.

Таблица 1. План и результаты проведения эксперимента
Table 1. Plan and results of the experiment

№ опыта	X ₃	X ₁	X ₂	X ₄	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1	390	24,0	2,0	65	1420,1	87	9,1
2	60	24,0	8,0	45	1183,3	97	7,2
3	390	24,0	8,0	65	1491,2	85	9,4
4	720	10,0	2,0	65	1582,2	80	9,9
5	720	10,0	2,0	45	1523,4	83	9,6
6	390	24,0	2,0	45	1374,7	91	8,7
7	390	10,0	8,0	45	1315,2	93	8,5
8	720	24,0	2,0	45	1713,9	76	10,5
9	60	24,0	2,0	45	1105,5	101	6,9
10	720	24,0	2,0	65	1750,4	72	10,8
11	60	24,0	8,0	65	1123,6	103	7,0
12	60	10,0	2,0	45	1076,5	108	6,4
13	390	10,0	2,0	45	1283,3	95	8,1
14	720	10,0	8,0	45	1694,7	77	10,3
15	390	10,0	2,0	65	1300,1	93	8,4
16	60	10,0	2,0	65	1101,9	102	6,7
17	720	24,0	8,0	45	1840,5	65	11,2
18	60	10,0	8,0	45	1120,0	98	7,1
19	390	24,0	8,0	45	1672,2	78	10,1
20	720	10,0	8,0	65	1871,1	63	11,3
21	390	10,0	8,0	65	1399,3	87	9,0
22	720	24,0	8,0	65	1894,6	62	11,5
23	60	10,0	8,0	65	1110,7	102	6,9
24	60	24,0	2,0	65	1084,4	103	6,7

Анализируя результаты математической обработки, представленные на рис. 1, установили, что значимыми являются:

- ♦ для критерия оценки Y₁: по отдельности факторы X₃, X₂, X₁, совместно значимые факторы X₃ и X₂;
- ♦ для критерия оценки Y₂: по отдельности факторы X₃, X₂, X₁, совместно значимые факторы X₃ и X₄, X₃ и X₂;
- ♦ для критерия оценки Y₃: по отдельности факторы X₃, X₂, X₁, совместно значимые факторы X₃ и X₄, X₃ и X₁.

По результатам проведенного эксперимента осуществлен перевод управляемых факторов в стандартизированный масштаб, а также статистическая обработка экспериментальных данных с целью получения уравнений регрессии упрощенного вида (1–3), адекватно описывающих зависимости исследуемых критериев оценки от выбранных параметров (факторов):

$$Y_1 = (870,79 + 0,035 \cdot X_3 + 17,47 \cdot X_1 + 9,23 \cdot X_2 + 0,035 \cdot X_3 \cdot X_2) \cdot 10^6, \quad (1)$$

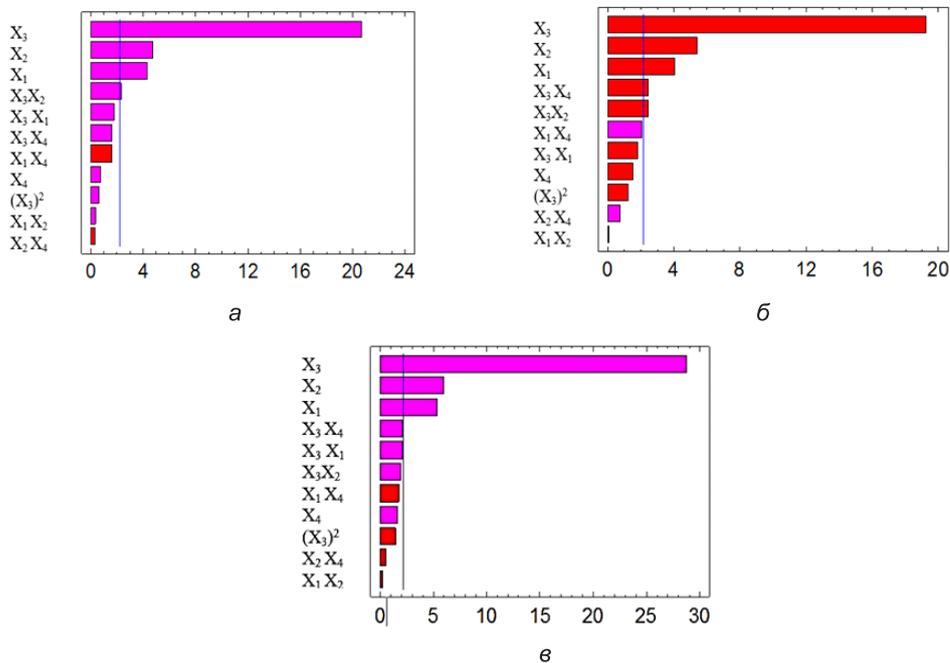
$$Y_2 = 122,65 + 0,017 \cdot X_3 - 1,15 \cdot X_1 - 1,26 \cdot X_2 - 0,0018 \cdot X_3 \cdot X_2 - 0,00056 \cdot X_3 \cdot X_4, \quad (2)$$

$$Y_3 = 4,67 + 0,0029 \cdot X_3 + 0,096 \cdot X_1 + 0,12 \cdot X_2 + 0,00006 \cdot X_3 \cdot X_1 + 0,00004 \cdot X_3 \cdot X_4. \quad (3)$$

Дана оценка работоспособности представленных моделей по коэффициенту детерминации R², который для уравнения (1) составляет 0,98, для уравнения (2) — 0,99, для уравнения (3) — 0,99. Так как коэффициенты стремятся к единице, то полученные взаимодействия являются сильными, а полученные уравнения позволяют прогнозировать биотехнологические свойства термофильной заваренной заварки, полученной на основе осахаренной заварки, при возникновении нестабильного процесса осахаривания.

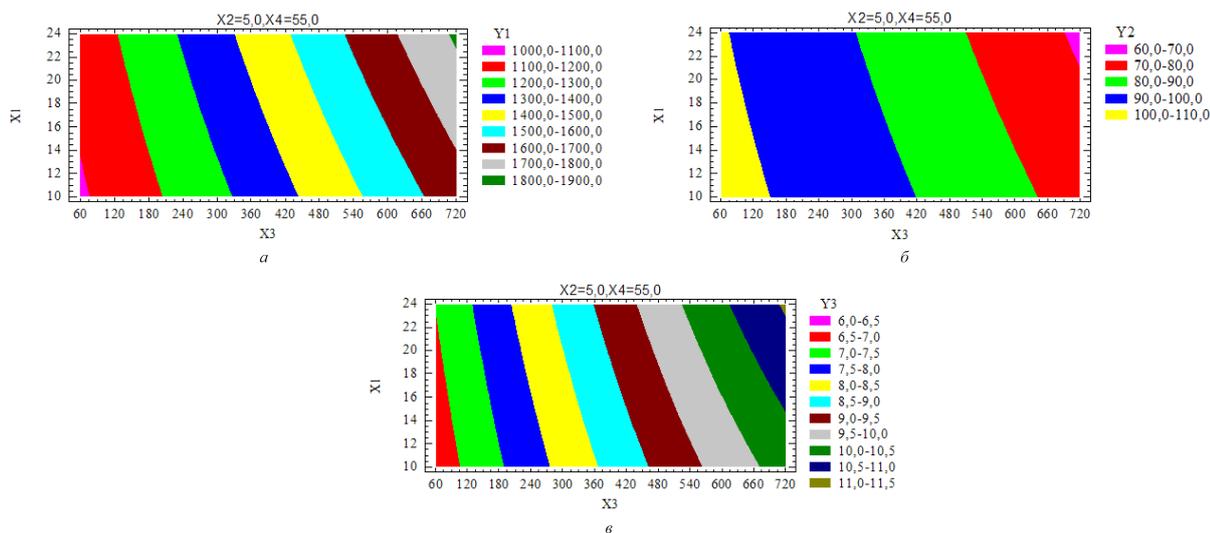
Для более наглядного представления статистических данных, облегчения их восприятия, помощи в уяснении сущности изучаемых явлений, выявления закономерностей и тенденции их развития построены статистические зависимости в виде проекций поверхностей отклика. Они могут быть

представлены при различном сочетании наиболее значимых влияющих параметров для соответствующих критериев оценки. На рис. 2 представлены некоторые поверхности отклика для рассматриваемых критериев.



а) для параметра Y_1 ; б) для параметра Y_2 ; в) для параметра Y_3

Рис. 1. Карты Парето для биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки, полученной на основе осахаренной заварки
 Fig. 1. Pareto maps for biotechnological properties of thermophilic sourdough obtained on the basis of saccharified sourdough



а) для критерия Y_1 при $X_2 = 5,0 \%$; $X_4 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$; б) для критерия Y_2 при $X_2 = 5,0 \%$; $X_4 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$;
 в) для критерия Y_3 при $X_2 = 5,0 \%$; $X_4 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$

Рис. 2. Проекция поверхностей отклика для биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки, полученной на основе осахаренной заварки
 Fig. 1. Response surface projections for biotechnological properties of thermophilic sourdough obtained on the basis of saccharified sourdough

Анализ статистических, аналитических и графических результатов, представленных в таблице 1, формулах (1–3) и на рис. 2, подтверждает, что на состав и свойства осахаренной заварки наибольшее влияние оказывает, в первую очередь, продолжительность осахаривания полуфабриката (X_3 , мин), затем содержание солода ржаного неферментированного (X_2 , %) как источника амилолитических ферментов, и, в конечном итоге, содержание муки ржаной сеяной (X_1 , %) как источника мучного питательного субстрата для действия ферментов. Температура осахаривания (X_4 , °С) воздействует не на каждый критерий оценки и влияние ее менее выражено по сравнению с другими факторами, кроме того этот фактор оказывает влияние на критерии оценки только в комплексе с продолжительностью осахаривания. Это связано с тем, что оптимальной температурой совместного действия зерновых ферментов является температура от 45 °С до 65 °С. При температуре ниже 45 °С активность зерновых ферментов ничтожна, а при температуре более 65–70 °С наступает постепенная их инактивация [239–241].

Используя комплексную оценку воздействующих факторов, с помощью проекций поверхностей отклика, в том числе представленных на рисунке 2, можно установить приемлемый диапазон их варьирования при нестабильном дискретном процессе осахаривания и при стабильном непрерывном процессе заквашивания. Учитывая вышесказанное, в рассматриваемых условиях рекомендуется стадию осахаривания заварки проводить с использованием следующих условий:

- ♦ содержание в заварке муки ржаной сеяной от 14,0 % до 17,0 % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба;
- ♦ содержание в заварке солода ржаного неферментированного сухого от 4,0 % до 5,0 % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба;
- ♦ температура осахаривания заварки от 55 °С до 65 °С;
- ♦ продолжительность осахаривания заварки от 165 мин до 300 мин.

Закключение. В ходе проведенных теоретических и практических исследований отмечено, что традиционная технология сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки разработана и возможна для реализации только при круглосуточном режиме производства заварных сортов хлеба с относительно постоянной производительностью по этому ассортименту. В литературных источниках отсутствуют научно обоснованные конкретные сведения о дополнительных технологических приемах воздействия на этот полуфабрикат в дискретном режиме для стабилизации его биотехнологических свойств.

В исследованиях представлены воздействующие факторы и критерии оценки, построен план эксперимента. Выявлены изменения общего количества термофильных молочнокислых бактерий, их активности и кислотности термофильной заквашенной заварки при стабильной температуре и продолжительности заквашивания, стабильном количественном составе и варьируемом качественном составе используемой осахаренной заварки. Получены уравнения регрессии, адекватно описывающие зависимости исследуемых критериев оценки от выбранных параметров (факторов) и позволяющие прогнозировать биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба. Установлены приемлемые диапазоны варьирования количественного состава осахаренной заварки и технологические параметры ее приготовления при нестабильном дискретном процессе осахаривания и при стабильном непрерывном процессе заквашивания.

Список использованных источников

1. Производство заварных сортов хлеба с использованием ржаной муки: монография / Л. И. Кузнецова [и др.]. — СПб.: ГосНИИХП, 2003. — 298 с.
2. Кузнецова, Л. И. Современные технологии ржаного заварного хлеба / Л. И. Кузнецова // Хлебопечение России. — 2007. — №3. — С. 10–11.
3. Кузнецова, Л. И. Технология ржаного хлеба в условиях дискретного производства / Л. И. Кузнецова // Хлебопродукты. — 2006. — №2. — С. 46–47.
4. Костюченко, М. Н. Инновационные технологии производства хлебобулочных изделий / Н. М. Костюченко, Л. А. Шлеленко, Н. Т. Чубенко // Хлебопечение России. — 2012. — №3. — С. 16–18.
5. Производство заварных сортов хлеба в условиях дискретного режима работы хлебопекарных предприятий Республики Беларусь / Т. А. Гуринова [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. — 2013. — №3 (38). — С. 109–115.
6. Сборник технологических инструкций по производству хлебобулочных изделий: в 2 т. Т. 1 / Государственное предприятие «Белтехнохлеб»; разработ. Л. С. Колосовская [и др.]. — Минск: Бизнесофсет, 2011. — 348 с.
7. Гуринова, Т. А. Исследование технологического процесса приготовления сброженных заварок в постоянно изменяющихся условиях работы хлебопекарных предприятий / Т. А. Гуринова,

- Т. Д. Самуйленко, Е. А. Назаренко // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. — 2013. — №2 (15). — С. 9–13.
8. *Корячкина, С. Я.* Разработка способа активации ржаных заквасок / С. Я. Корячкина, Н. Березина, А. Бобров // Хлебопродукты. — 2007. — №12. — С. 58–59.
 9. *Богатырева, Т. Г.* Научные основы технологий хлебобулочных изделий с направленным культивированием микроорганизмов: дис. ...д-ра. тех. наук в виде научн. докл.: 05.18.01 / Т. Г. Богатырева. — М., 2000. — 67 с.
 10. Жидкие закваски с применением нутовой муки / Л. П. Пашенко [и др.] // Хлебопечение России. — 2004. — №6. — С. 14–15.
 11. Совершенствование технологии производства ржано-пшеничного хлеба на жидких заквасках с завариванием части муки / Е. А. Назаренко [и др.] // Хлебопек. — 2007. — №6. — С. 30–32.
 12. *Корячкина, С. Я.* Использование нетрадиционного сырья при производстве ржаных заквасок / С. Я. Корячкина, Н. А. Березина // Известия вузов. Пищевая технология. — 2001. — №4. — С. 99.
 13. *Аширова, Ю. А.* Разработка технологии использования послеспиртовой барды из топинамбура в технологии хлеба из ржаной муки и смеси ее с пшеничной: дис. ...канд. тех. наук.: 05.18.01 / Ю. А. Аширова. — Москва, 2009. — 188 с.
 14. *Аширова, Ю. А.* Технология ржаных полуфабрикатов с применением послеспиртовой барды из топинамбура / Ю. А. Аширова, Т. Б. Цыганова // Хлебопродукты. — 2009. — №11. — С. 44–46.
 15. *Белянина, Н. Д.* Разработка технологии применения побочных пищевых продуктов при производстве хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / Н. Д. Белянина. — Москва, 1984. — 263 с.
 16. Пищевые ингредиенты в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий: монография. — М.: ДеЛи плюс, 2013. — 526 с.
 17. Технология ржано-пшеничного хлеба на основе зерновых заквасок / Т. Г. Богатырева [и др.] // Хлебопродукты. — 2016. — №9. — С. 41–43.
 18. Приготовление закваски с применением амаранта / С. А. Шеламова [и др.] // Хлебопродукты. — 2018. — №6. — С. 46–48.
 19. *Чалдаев, П. А.* Овсяная закваска для производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности / П. А. Чалдаев, А. В. Зимичев // Хлебопечение России. — 2013. — №3. — С. 26–28.
 20. *Бойцова, Т. М.* Технология производства ржано-пшеничного хлеба на основе обогащенной закваски / Т. М. Бойцова, О. М. Назарова // Хлебопечение России. — 2017. — №3. — С. 16–19.
 21. *Белокурова, Е. В.* Разработка технологии использования хмелевого экстракта в производстве хлебобулочных изделий: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / Е. В. Белокурова. — Воронеж, 2008. — 205 с.
 22. *Жамукова, Ж. М.* Разработка технологии хлебобулочных изделий функционального назначения с использованием биофлавоноидов зеленого чая: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / Ж.М. Жамукова. — Москва, 2006. — 179 с.
 23. *Самуйленко, Т. Д.* Технология жидкой ржаной закваски с использованием коры дуба для производства хлеба в дискретном режиме: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / Т. Д. Самуйленко. — Могилев, 2016. — 232 л.
 24. Моделирование жизненного цикла дрожжей и молочнокислых бактерий в биотехнологических процессах хлебопекарного производства: отчет о НИР (заключительный) / Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; рук. Т. Д. Самуйленко. — Могилев, 2018. — 205 с. — № ГР 20163247.
 25. *Елецкий, И. К.* Оптимизация процесса приготовления теста на основе микробиологических параметров / И. К. Елецкий // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. — 1977. — №9. — С. 24–25.
 26. *Блохина, И. М.* Управление процессами культивирования микроорганизмов / И. М. Блохина, В. И. Огарков, Г. А. Угадчиков. — Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1983. — 200 с.
 27. *Злобин, Л. А.* Оптимизация технологических процессов хлебопекарного производства. Повышение эффективности производства и качества продукции: монография / Л. А. Злобин. — М.: Агропромиздат, 1987. — 200 с.
 28. *Лабутина, Н. В.* Использование SADT при разработке технологической схемы производства замороженных ржано-пшеничных полуфабрикатов / Н. В. Лабутина, В. И. Карпов, В. Я. Черных // Известия вузов. Пищевая технология. — 2002. — №2–3. — С. 61–62.
 29. *Белявская, И. Г.* Моделирование и оптимизация технологических процессов хлебопекарного производства / И. Г. Белявская. — М.: МГУПП, 2005. — 51 с.
 30. *Краснов, А. Е.* Регрессионная модель процесса кислотонакопления в хлебном полуфабрикате и ее реализация / А. Е. Краснов, Д. Л. Злобин // Хлебопечение России. — 2005. — №1. — С. 19–21.
 31. *Сербулов, Ю. С.* Моделирование процесса культивирования микроорганизмов в жидкой ржаной закваске / Ю. С. Сербулов, Н. М. Дерканосова, Т. Попова // Хлебопродукты. — 1994. — №9. — С. 5–7.

32. *Дерканосова, Н. М.* Моделирование процесса приготовления жидкой ржаной закваски / Н. М. Дерканосова, О. А. Лукинова // *Хранение и переработка сельхозсырья*. — 2000. — №10. — С. 11–15.
33. *Дерканосова, Н. М.* Научно-практические основы совершенствования производства хлеба с применением традиционных и комбинированных ресурсов: дис. ...д-ра. тех. наук.: 05.18.01 / Н. М. Дерканосова. — Воронеж, 2001. — 484 с.
34. Математическое моделирование динамики биологических систем: учебное пособие / Н. М. Дерканосова [и др.]; под ред. В.И. Новосельцева. — Воронеж: Изд-во «Кварт», 2003. — 152 с.
35. *Малютина, Т. Н.* Разработка модифицированных технологий жидкой ржаной закваски со стабильными показателями: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / Т. Н. Малютина. — Воронеж, 2005. — 169 с.
36. *Быковченко, Т. В.* Компьютерное моделирование в технологии производства хлебобулочных изделий с использованием жидких дрожжей / Т. В. Быковченко, Р. Д. Поландова, А. В. Пономарев // *Кондитерское и хлебопекарное производство*. — 2010. — №7–8. — С. 6–8.
37. *Быковченко, Т. В.* Технологии жидких дрожжей и хлебобулочных изделий в условиях дискретного производства: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / Т. В. Быковченко. — М., 2009. — 192 л.
38. *Черных, И. В.* Совершенствование технологии ржаного и ржано-пшеничного хлеба на основе оптимизации биотехнологических свойств полуфабрикатов: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / И. В. Черных. — М., 2009. — 187 с.
39. *Самуйленко, Т. Д.* Исследование процесса осахаривания ржаных заварок в технологии заварного хлеба при дискретном режиме производства / Т.Д. Самуйленко, А.В. Акулич // *Health, Food & Biotechnology*. — 2020. — Volume 2, Issue 2. — С. 60–74 (<https://doi.org/hfb2020.i1.s>, <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i2>).
40. *Самуйленко, Т. Д.* Технологии сброженной заварки в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба: монография / Т. Д. Самуйленко, А. В. Акулич. — Могилев: БГУТ, 2021. — 260 с.
41. *Афанасьева, О. В.* Микробиология хлебопекарного производства / О. В. Афанасьева. — СПб.: Береста, 2003. — 220 с.
42. Методические указания по проведению санитарно-микробиологического контроля на хлебопекарных предприятиях / Государственное предприятие «Белтехнохлеб», разработ. А. И. Старовойтова, А. И. Базан; лаборатория индикации возбудителей инфекционных и паразитарных заболеваний ГУ «Республиканский центр гигиены и эпидемиологии» Минздрава Республики Беларусь, разработ. Ф.М. Фидаров, Л.А. Федоренчик. — Минск, 2002. — 30 с.
43. Методические указания по проведению испытаний качества полуфабрикатов хлебопекарного производства / Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Белтехнохлеб», разработ. Л. В. Карнышова, Л. И. Севастей. — Минск, 2008. — 15 с.
44. *Дюк, В. А.* Логический анализ данных: уч. пособие, 1-е изд. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 80 с.
45. Оптимизация технологического цикла сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и заквашенной заварки, путем моделирования жизнедеятельности популяций симбиотически развивающихся в них микроорганизмов в дискретном режиме производства хлеба: отчет о НИР (заключительный): ГЗ 19–05 ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства», подпрограмма «Продовольственная безопасность»: 3.68 / Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; рук. Т. Д. Самуйленко; исполн. Т. А. Гуринова [и др.]. — Могилев, 2020. — 189 с. — № ГР 20191859.
46. *Грачев, Ю. П.* Математические методы планирования экспериментов: учебное пособие / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин. — М.: ДеЛи принт, 2005. — 294 с.
47. *Берестнева, О. Г.* Прикладная математическая статистика / О. Г. Берестнева, О. В. Марухина, Г. Е. Шевелев. — Томск: Издательство томского политехнического университета, 2012. — 188 с.
48. *Попов, Л. А.* Анализ и прогнозирование временных рядов STATGRAPHICS Centurion: учебное пособие / Л. А. Попов. — М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2006 — 118 с.

Информация об авторах

Самуйленко Татьяна Дмитриевна — кандидат технических наук, доцент, заведующая аспирантурой учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (пр-т Шмидта, д. 3, 212027, г. Могилев, Республика Беларусь). E-mail: TataSam@tut.by

Information about authors

Samuylenko Tatyana Dmitrievna — PhD (Technical), associate Professor, head of the Postgraduate Course, Mogilev State University of Food Technologies (3 Schmidt Avenue, Mogilev, 212027, Republic of Belarus). E-mail: TataSam@tut.by