

MPHTI 65.53.30 : 65.53.03

Н.Ж. Муслимов<sup>1</sup> – основной автор, ©  
К.К. Омаров<sup>2</sup>, Г.Б. Джумабекова<sup>3</sup>,  
А.Р. Туякова<sup>4</sup>, И.М. Заурбекова<sup>5</sup>



<sup>1</sup>Д-р техн. наук, ассоц. профессор, Академик НААН РК, <sup>2</sup>Канд. техн. наук,  
<sup>3,4,5</sup>Магистр

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0302-2817> <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0001-0983-0153>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-4639-3084> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-0560-0844>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0007-0478-522X>



<sup>1,2,4,5</sup>Международный Таразский Университет им. Шерхана Муртаза,  
Тараз, Казахстан



<sup>3</sup>ТОО «НПО «КазПродПром», Тараз, Казахстан



<sup>1</sup>[n.muslimov@inbox.ru](mailto:n.muslimov@inbox.ru)

<https://doi.org/10.55956/YLIQ3370>

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩНЫХ ЗАКУСОЧНЫХ КОНСЕРВОВ С ПРОГНОЗИРУЕМЫМ АНТИОКСИДАНТНЫМ СТАТУСОМ

**Аннотация.** В результате переработки овощного сырья происходит деструкция биологически активных соединений. Для повышения биологической ценности овощных закусочных консервов в рамках проекта АР23483970 разработана технология, направленная на максимальное сохранение нативных антиоксидантов. Созданы рецептуры с прогнозируемым уровнем антиоксидантов (высоким, средним, минимальным). Исследовано влияние параметров автоклавирования – температуры, продолжительности, давления – на содержание жирорастворимой (AS1) и водорастворимой (AS2) фракций антиоксидантов. Установлено, что жирорастворимые антиоксиданты термостабильны, их концентрация возрастает при нагреве за счёт высвобождения из клеточных структур. Водорастворимые фракции термолабильны и требуют щадящих режимов.

**Ключевые слова:** овощное сырье, антиоксиданты, консервирование, тепловая обработка, продолжительность обработки, регрессия, оптимизация, жирорастворимые антиоксиданты, водорастворимые антиоксиданты.



Муслимов, Н.Ж. Оптимизация режимов тепловой обработки овощных закусочных консервов с прогнозируемым антиоксидантным статусом [Текст] / Н.Ж. Муслимов, К.К. Омаров, Г.Б. Джумабекова, А.Р. Туякова, И.М. Заурбекова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №3(93). – С.101-128. <https://doi.org/10.55956/YLIQ3370>

**Введение.** В структуре ежедневного рациона питания населения овощные консервы выполняют ресурсную функцию по обеспечению организма пищевыми волокнами, витаминами, минералами и другими биологически активными веществами. Традиционные методы консервации (длительное термофицирование, применение синтетических консервантов) вызывают деструкцию термолабильных нутриентов, снижая пищевую

ценность продукта и повышая его потенциальную химическую нагрузку [1-15].

В этой связи, основной целевой технологической задачей является разработка режимов, обеспечивающих сохранение нативных свойств сырья, что является актуальным и перспективным направлением – обогащение консервов природными антиоксидантами и эссенциальными нутриентами, участвующими в профилактике окислительного стресса [10-14]. Данное научное направление является актуальным и перспективным для обеспечения технологического развития отечественной консервной промышленности.

*Современные требования.* Разрабатываемые рецептуры и технологические режимы должны гарантировать микробиологическую стабильность, длительную сохраняемость и высокую биологическую ценность консервированного продукта [4]. Автоклавная стерилизация – основной метод промышленной обработки, однако данный метод оказывает неоднозначное воздействие на антиоксидантный комплекс: инактивация микрофлоры и размягчение тканей сопровождаются деструкцией термолабильных компонентов [5]. Вместе с тем, тепловая обработка способна повысить экстрагируемость связанных форм антиоксидантов (в частности, каротиноидов) за счёт дезинтеграции клеточных стенок, что требует количественной верификации.

*Степень изученности.* В опубликованных работах [1-15] недостаточно полно отражены закономерности количественного изменения антиоксидантного статуса многокомпонентных закусочных консервов в зависимости от параметров стерилизации (температура, давление, продолжительность).

*Контекст исследования.* Работа выполнена в рамках поддержки научно-технической политики Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (научный проект AP23483970) и направлена на совершенствование технологии производства овощных закусочных консервов с сохранением натуральных природных нутриентов.

*Цель этапа.* Провести математическое моделирование и оптимизацию процесса автоклавирования овощного сырья, обеспечивающих максимальную сохранность жиро- и водорастворимых фракций природных антиоксидантов в готовом продукте.

**Материалы и методы исследования.** Объектами исследования в рамках проводимых научных исследований выбраны районированные сорта овощных культур: перец, лук, чеснок, баклажан, морковь, свекла, тыква, томаты, кабачки, редька. А также овощные закусочные консервы на их основе, разработанные по научно-обоснованной рецептуре, различаемые по количественному содержанию антиоксидантов:

– Рецепт № 1: «Салат овощной закусочный консервированный с томатами и болгарским перцем» (далее – Рецепт № 1) – с высокой антиоксидантной активностью;

– Рецепт № 2: «Пюре овощное с тыквой и корнеплодами, обогащенное натуральными микронутриентами и антиоксидантами» (далее – Рецепт № 2) – со средней антиоксидантной активностью;

– Рецепт № 3: «Ассорти овощное с корнеплодами, обогащенное натуральными микронутриентами и антиоксидантами» (далее – Рецепт № 3) – с минимальной антиоксидантной активностью.

Основными этапами экспериментальных исследований являлись следующие мероприятия:

- количественное определение показателей содержания биофлавоноидов, каротиноидов, аскорбиновой кислоты, а также других релевантных маркеров антиоксидантной системы в объектах овощного происхождения;
- дифференцированный анализ антиоксидантного статуса овощного сырья с фракционированием на гидрофильную и липофильную составляющие;
- составление рецептур овощных закусочных консервов;
- анализ динамики потерь (или: трансформации) липофильных и гидрофильных антиоксидантов в овощных закусочных консервах, индуцированных тепловой обработкой.

Лабораторные исследования по изучению химической природы объектов исследования проводили в соответствии с требованиями действующей нормативно-технической документации.

*Определение содержания полифенолов.* Количественное определение полифенолов выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 14502-1-2010 («Зеленый чай. Метод определения общего содержания полифенолов», ISO 14502-1:2005). Метод основан на колориметрическом определении с использованием реактива Фолина-Чокальтеу, содержащего фосфорновольфрамовые кислоты. Восстановление кислот при взаимодействии с легко окисляющимися ОН-группами фенолов приводит к образованию вольфрамовой сини с максимумом поглощения при 765 нм. В качестве стандарта использована галловая кислота. Результаты регистрировали в таблицах *MS Excel* с последующим построением диаграмм.

*Определение содержания флавоноидов.* Определение количественного содержания флавоноидов выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55312-2012 («Прополис. Метод определения флавоноидных соединений»). Сущность метода - спектрофотометрическое измерение оптической плотности комплексов, образующихся при взаимодействии флавоноидов с хлоридом алюминия. Стандарт - рутин. Измерения проводили в интервале длин волн 408-420 нм. Результаты обработаны в *MS Excel* с построением диаграмм.

*Определение содержания пектина.* Количественные значения пектина в объектах исследования проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 29059-91 («Продукты переработки плодов и овощей. Титриметрический метод определения пектиновых веществ»). Метод основан на титровании щелочью выделенных пектиновых веществ до и после гидролиза, что позволяет определить массовую долю полиуронидной части и степень этерификации. Результаты лабораторных исследований обработаны в *MS Excel* с построением сравнительных диаграмм.

*Определение витамина А.* Содержание витамина группы А в объектах исследования выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54635-2011 («Продукты пищевые функциональные. Метод определения витамина А») – методом ВЭЖХ с фотометрическим или флуориметрическим детектированием, при необходимости после щелочного гидролиза. Количественный анализ выполнен методом внешнего стандарта по площади или высоте пиков ретинола и его эфиров.

*Определение витамина Е.* Содержание витамина группы Е в объектах исследования выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54634-2011 («Продукты пищевые функциональные. Метод определения витамина Е») путем нормально-фазовой или обращенно-фазовой ВЭЖХ с фотометрическим или флуориметрическим детектированием.

*Определение витамина С.* Содержание витамина группы С в объектах исследования выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ 24556-89 («Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С») путем экстракции витамина С раствором кислоты (соляной, метафосфорной или их смеси с уксусной кислотой) с последующим визуальным или потенциометрическим титрованием раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия до появления светло-розовой окраски.

*Определение  $\beta$ -каротина.* Содержание  $\beta$ -каротина в объектах исследования выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО 6558-2-2019 («Фрукты, овощи и продукты их переработки. Определение содержания каротина спектрофотометрическим методом») – экстракция смесью петролейного эфира и ацетона, удаление растворителей, отделение каротина от других каротиноидов методом колоночной хроматографии, спектрофотометрическое измерение.

*Определение липофильных и гидрофильных антиоксидантов.* Содержание жирорастворимых и водорастворимых антиоксидантов в объектах исследования выполняли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54037-2010 («Продукты пищевые. Определение содержания водорастворимых антиоксидантов амперометрическим методом») для сырья и готовой продукции. Результаты представлены в таблицах и столбчатых диаграммах.

*Методика экспериментальных исследований* направлена на изучение процесса температурной обработки и влияние технологических параметров на изменение антиоксидантной активности объектов исследования до и после обработки.

Предварительно вели подготовку овощного сырья (мойка, нарезка, измельчение), далее составляли овощные смеси в соответствии с разработанными рецептурами. После чего, проводили консервирование методом автоклавирования в стеклянной таре.

Изучали процесс тепловой обработки овощной смеси. Регистрировали значения возмущающих факторов, оказывающие ключевое влияние на эффективность ведения тепловой обработки овощного сырья:

- температура обработки сырья,  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );
- продолжительность тепловой обработки,  $T$  (мин);
- давление в рабочей зоне автоклава,  $P$  (кПа).

Эффективность ведения технологического процесса оценивали по выходным параметрам (критерии оптимизации):

- содержание липофильных (жирорастворимых) антиоксидантов  $AS_1$ , мг/г;
- содержание гидрофильных (водорастворимых) антиоксидантов  $AS_2$ , мг/г.

Определение содержания антиоксидантов проводили в исходном сырье (овощной смеси) и в готовом продукте, до и после автоклавирования согласно вышеуказанным стандартным методикам лабораторного анализа.

Обработка результатов экспериментальных исследований. Оптимизацию результатов экспериментальных исследований проводили методами математической статистики.

Для описания технологических процессов использовали ротатабельное планирование второго порядка (план Бокса), позволяющее определить оптимальную совокупность входных факторов, при которой критерий оптимизации достигает экстремального значения [16].

Обработку результатов выполняли с использованием уравнения регрессии второго рода вида:

$$y = b_0 + \sum^n b_i x_i + \sum_{i < j}^n b_{ij} x_i x_j + \sum^n b_{jj} x_j^2 + \dots; \quad (1)$$

где:  $y$  – расчетное значение критерия оптимизации;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – независимые переменные (факторы).

Адекватность модели проверяли по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{\{y\}}^2}, \quad (2)$$

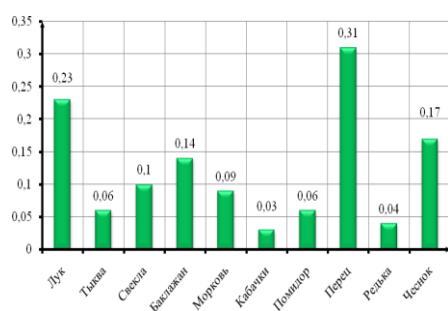
где:  $S_{ad}^2$  – дисперсия адекватности;  $S_{\{y\}}^2$  – дисперсия воспроизводимости.

Оценку значимости коэффициентов регрессии выполняли с использованием соответствующих квадратичных ошибок. Обработку экспериментальных данных, расчет коэффициентов регрессии ( $b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij}$ ), проверку адекватности моделей проводили по критерию Фишера ( $F_p < F_m$ ) при доверительной вероятности 90%, а также построение трехмерных поверхностей отклика выполняли с использованием программного пакета *Microsoft Excel*. Получены уравнения регрессии в кодированном и натуральном виде, описывают зависимость содержания антиоксидантов от исследуемых факторов.

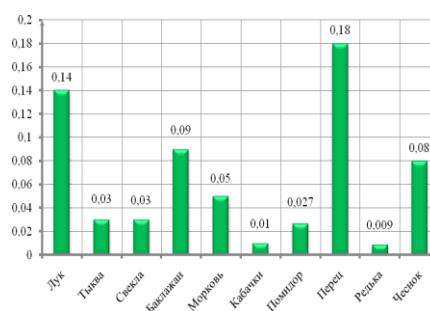
**Результаты исследований.** Овощные культуры, благодаря наличию в составе антиоксидантов, витаминов и минорных компонентов (каротиноиды, полифенолы, глюкозинолаты) с синергидным действием, являются эффективным средством поддержания гомеостаза и укрепления адаптационных резервов организма [17-29].

В этой связи, изучали антиоксидантные свойства объектов исследования, овощных культур, как сырья для производства овощных закусочных консервов. Результаты лабораторных исследований, для наглядной визуализации межвидовых различий в содержании биологически активных соединений, представили в виде сравнительных диаграмм (рис. 1) [30].

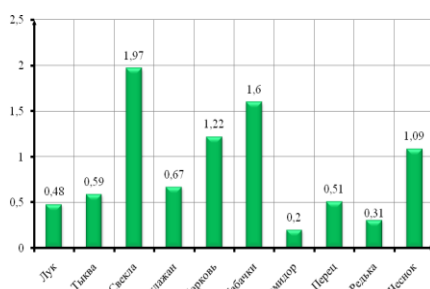
Диаграммы отражают количественные значения по следующим показателям: суммарное содержание полифенолов (%); содержание флавоноидов (%); содержание пектиновых веществ (%); витамин А (мг/100 г); витамин Е (мг/100 г); витамин С (мг/100 г);  $\beta$ -каротин (мг/100 г); содержание водорастворимых антиоксидантов (мг/г); содержание жирорастворимых антиоксидантов (мг/г).



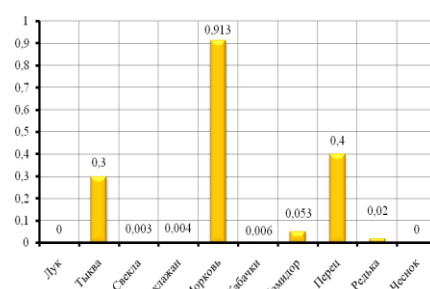
а) содержание полифенолов;



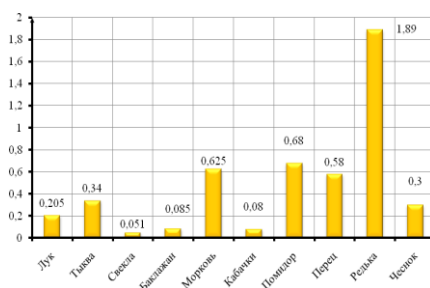
б) содержание флавоноидов;



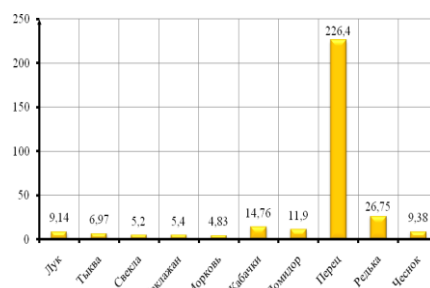
в) содержание пектинов;



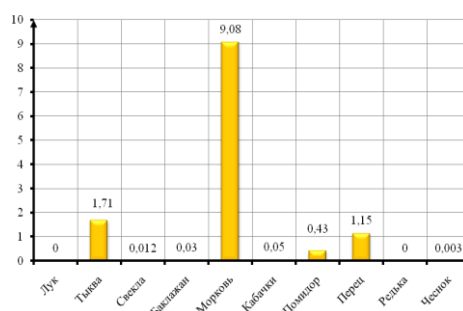
г) содержание витамина А;



д) содержание витамина Е;



е) содержание витамина С;



ж) содержание β-каротина

Рис. 1. Антиоксидантная характеристика овощного сырья

Каждая диаграмма позволяет идентифицировать культуры и индивидуальные значения по каждому анализируемому показателю. Представленный графический материал служит иллюстративным

дополнением к количественным данным и предназначен для выявления общих закономерностей распределения биохимических компонентов в зависимости от вида растительного сырья. Анализ сравнительных диаграмм показал, следующее [30]:

1. Содержание полифенолов. В результате количественного анализа образцов установлены значительные межвидовые различия по содержанию полифенольных соединений. Максимальная концентрация полифенолов зафиксирована в перце - 0,31%, что коррелирует с высоким антиоксидантным потенциалом данного продукта. Повышенным содержанием характеризуются лук (0,23%) и чеснок (0,17%). Минимальные значения отмечены для кабачков (0,03%), тыквы (0,06%), томатов (0,06%) и редьки (0,04%), что указывает на относительно низкую антиоксидантную активность указанных культур. Промежуточное положение занимают свекла (0,10%), баклажан (0,14%) и морковь (0,09%). Общий диапазон варьирования показателя составил от 0,03% до 0,31%.

2. Содержание флавоноидов. Анализ содержания флавоноидов выявил максимальные значения у перца (0,18%) и лука (0,14%). Минимальное содержание зарегистрировано у кабачков (0,01%) и редьки (0,009%). Промежуточные значения установлены для баклажана (0,09%), чеснока (0,08%), моркови (0,05%), свеклы (0,03%), тыквы (0,03%) и томатов (0,027%). Диапазон концентраций флавоноидов в исследованных образцах составил от 0,009% (редька) до 0,18% (перец).

3. Содержание пектинов. Наибольшее содержание пектиновых веществ отмечено у свеклы - 1,97%, что обуславливает ее значимость как источника растворимых пищевых волокон. Высокие показатели также характерны для кабачков (1,60%). Морковь и чеснок содержат 1,22% и 1,09% пектинов соответственно. У тыквы, баклажана и лука значения варьируют в интервале 0,48–0,67%. Низкие концентрации зафиксированы у томатов (0,20%) и редьки (0,31%). Общий диапазон содержания пектинов – от 0,20% до 1,97%.

4. Содержание витамина А (ретиноловый эквивалент). Максимальная концентрация витамина А выявлена в моркови – 0,913 мг/100 г. Промежуточные значения установлены для перца (0,4 мг/100 г) и тыквы (0,3 мг/100 г). В свекле и кабачках содержание витамина А не превышает 0,01 мг/100 г; в чесноке и луке данный витамин не детектирован.

5. Содержание витамина Е (α-токоферол). Лидирующие позиции по содержанию витамина Е занимает редька – 1,89 мг/100 г. Повышенные концентрации отмечены у томатов (0,68 мг/100 г), моркови (0,625 мг/100 г) и перца (0,58 мг/100 г). Умеренное содержание зафиксировано у тыквы (0,34 мг/100 г), чеснока (0,30 мг/100 г) и лука (0,205 мг/100 г). Минимальные значения характерны для баклажана (0,085 мг/100 г), кабачков (0,08 мг/100 г) и свеклы (0,051 мг/100 г).

6. Содержание витамина С (аскорбиновая кислота). Наибольшее содержание витамина С установлено в перце – 226,4 мг/100 г, что значительно превосходит показатели других исследованных культур. Повышенные концентрации выявлены у редьки (26,75 мг/100 г), кабачков (14,76 мг/100 г) и томатов (11,9 мг/100 г). Средние значения отмечены для чеснока (9,38 мг/100 г), лука (9,14 мг/100 г), тыквы (6,97 мг/100 г) и баклажана (5,4 мг/100 г). Наименьшие показатели зарегистрированы у свеклы (5,2 мг/100 г) и моркови (4,83 мг/100 г).

7. Содержание β-каротина. Максимальная концентрация β-каротина зафиксирована в моркови – 9,08 мг/100 г. Значительные значения отмечены

для тыквы (1,71 мг/100 г) и перца (1,15 мг/100 г). У томатов содержание  $\beta$ -каротина составляет 0,43 мг/100 г. Низкие концентрации ( $<0,05$  мг/100 г) характерны для кабачков (0,05 мг/100 г), баклажана (0,03 мг/100 г), свеклы (0,012 мг/100 г) и чеснока (0,003 мг/100 г). В образцах лука и редьки  $\beta$ -каротин не детектирован.

Результаты лабораторных исследований по изучению количественного содержания антиоксидантов представлена на рисунке 2. Сравнительная диаграмма, характеризует содержание водорастворимой и жирорастворимой фракции антиоксидантов в овощных культурах [30].

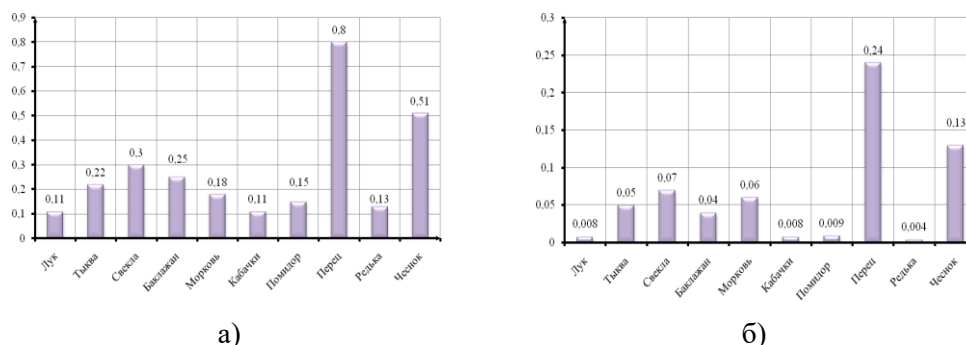


Рис. 2. Содержание антиоксидантов (а – водорастворимых и б – жирорастворимых) в овощном сырье

Анализ сравнительных диаграмм показал, следующее [30]:

1. Содержание водорастворимых антиоксидантов. В результате лабораторного анализа установлены значительные межвидовые различия по содержанию водорастворимых антиоксидантов в исследованных образцах. Максимальная концентрация зафиксирована в перце – 0,80 мг/г. Повышенные значения отмечены для чеснока (0,51 мг/г) и свеклы (0,30 мг/г). Промежуточное положение занимают баклажан (0,25 мг/г), тыква (0,22 мг/г), морковь (0,18 мг/г), томат (0,15 мг/г), редька (0,13 мг/г), а также лук и кабачки (по 0,11 мг/г). Минимальные значения характерны для лука и кабачков. Общий диапазон варьирования показателя составил от 0,11 до 0,80 мг/г.

2. Содержание жирорастворимых антиоксидантов. Количественный анализ содержания жирорастворимых антиоксидантов также выявил значительные межвидовые различия. Наибольший показатель установлен для перца – 0,24 мг/г. Чеснок характеризуется концентрацией 0,13 мг/г. Относительно высокие значения зафиксированы у свеклы (0,07 мг/г) и моркови (0,06 мг/г). Средние показатели отмечены для тыквы (0,05 мг/г) и баклажана (0,04 мг/г). Низкие концентрации определены для томата (0,009 мг/г), кабачков (0,008 мг/г), лука (0,008 мг/г) и редьки (0,004 мг/г). Диапазон значений варьирует от 0,004 мг/г (редька) до 0,24 мг/г (перец).

На основе результатов количественного анализа разработаны рецептуры овощных закусочных консервов с высоким (Рецептура №1), средним (Рецептура №2) и низким (Рецептура №3) содержанием антиоксидантов (табл. 1).

Таблица 1

Рецептуры овощных закусочных консервов

| №                                                                                                                                                                                       | Наименование компонента в рецептуре | Содержание, % |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Рецептура №1 Овощные закусочные консервы «Консервированный овощной закусочный салат с томатами и болгарским перцем»<br>(с высоким содержанием антиоксидантов)                           |                                     |               |
| 1                                                                                                                                                                                       | Томаты                              | 50%           |
| 2                                                                                                                                                                                       | Болгарский перец                    | 29%           |
| 3                                                                                                                                                                                       | Баклажаны                           | 10%           |
| 4                                                                                                                                                                                       | Лук репчатый                        | 5%            |
| 5                                                                                                                                                                                       | Чеснок                              | 1%            |
| 6                                                                                                                                                                                       | Льняное масло                       | 5%            |
| Рецептура №2 Овощные закусочные консервы «Пюре овощное с тыквой и корнеплодами, обогащенное натуральными микронутриентами и антиоксидантами»<br>(со средним содержанием антиоксидантов) |                                     |               |
| 1                                                                                                                                                                                       | Тыква                               | 45%           |
| 2                                                                                                                                                                                       | Морковь                             | 34%           |
| 3                                                                                                                                                                                       | Свекла                              | 10%           |
| 4                                                                                                                                                                                       | Кабачок                             | 5%            |
| 5                                                                                                                                                                                       | Лук                                 | 5%            |
| 6                                                                                                                                                                                       | Чеснок                              | 1%            |
| Рецептура №3 Овощные закусочные консервы «Овощное ассорти с корнеплодами, обогащенное натуральными микронутриентами и антиоксидантами»<br>(с минимальным содержанием антиоксидантов)    |                                     |               |
| 1                                                                                                                                                                                       | Баклажан                            | 22%           |
| 2                                                                                                                                                                                       | Свекла                              | 20%           |
| 3                                                                                                                                                                                       | Редька                              | 10%           |
| 4                                                                                                                                                                                       | Морковь                             | 17%           |
| 5                                                                                                                                                                                       | Лук                                 | 10%           |
| 6                                                                                                                                                                                       | Чеснок                              | 1%            |
| 7                                                                                                                                                                                       | Тыква                               | 15%           |
| 8                                                                                                                                                                                       | Льняное масло                       | 5%            |

На основании результатов аналитических исследований расчётным путём определены значения теоретической энергетической ценности и калорийности для трёх видов овощных закусочных консервов [30]:

– для рецептуры № 1 «Консервированный овощной закусочный салат с томатами и болгарским перцем»: теоретическая энергетическая ценность – 606,587455 ккал, расчётная калорийность – 2539,175087 Дж;

– для рецептуры № 2 «Пюре овощное с тыквой и корнеплодами, обогащённое натуральными микронутриентами и антиоксидантами»: теоретическая энергетическая ценность – 420,2505825 ккал, расчётная калорийность – 1759,168938 Дж;

– для рецептуры № 3 «Овощное ассорти с корнеплодами, обогащённое натуральными микронутриентами и антиоксидантами»: теоретическая энергетическая ценность – 685,4990325 ккал, расчётная калорийность – 2869,49895 Дж.

Далее перейдем к обоснованию технологического процесса приготовления овощных закусочных консервов. Основным технологическим процессом производства овощных закусочных консервов, определяющие потребительские свойства и вкусовые достоинства, является тепловая

обработка [10-15]. В этой связи, проводили экспериментальные исследования по определению оптимальных режимов тепловой обработки овощной смеси, при производстве закусочных консервов.

На рисунке 3 представлены результаты экспериментальных исследований по изучению процесса тепловой обработки овощной смеси при производстве овощных закусочных консервов по рецептуре №1.

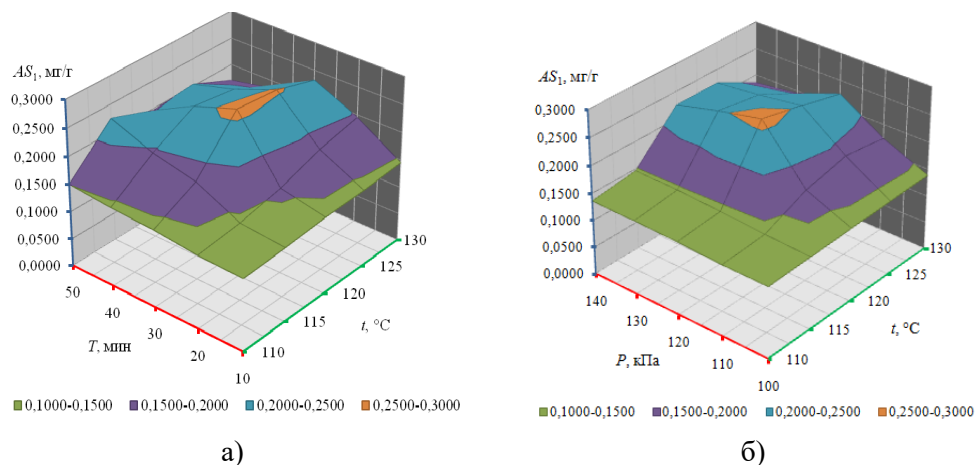


Рис. 3. Результаты экспериментальных данных, характеризующие влияние переменных факторов ( $T$ , мин;  $P$ , кПа;  $t$ , °C) на изменения содержания жирорастворимых антиоксидантов ( $AS_I$ , мг/г) в овощных закусочных консервах (Рецептура №1)

На трехмерной диаграмме (рис. 3а), характеризующая зависимость концентрации жирорастворимых антиоксидантов  $AS_I$  (мг/г) от продолжительности процесса  $T$  (мин) при фиксированных значениях температуры и давления, наблюдается нелинейный характер изменения: в начальном периоде (0-10 мин) отмечается незначительное снижение содержания  $AS_I$ , затем (10-30 мин) следует участок относительной стабилизации, после чего (30-60 мин) фиксируется постепенное уменьшение антиоксидантной активности. При этом, наблюдали прямолинейный рост значений температуры от 110 до 125 °C. Максимальное сохранение  $AS_I$  соответствует диапазону  $T=30-40$  мин и температуре  $t=120-125$  °C, именно этот диапазон значений позволяет достигнуть заданные кулинарные свойств овощных закусочных консервов, составленные по рецептуре №1.

На плоскостной диаграмме (рис. 3б) приведена зависимость изменения содержания  $AS_I$  под действием давления  $P$  (кПа) и температуры  $t$  (°C). Установлено, что повышение давления до 250 кПа сопровождается ростом концентрации жирорастворимых антиоксидантов на 12-15% по сравнению с начальными значениями  $AS_I$ . Дальнейшее увеличение  $P$  свыше 300 кПа приводит к повышению значений температуры и в конечном результате к деструкции биологически активных соединений. Температурная зависимость носит экстремальный характер: максимум  $AS_I$  достигается в интервале  $t=120-125$  °C; а при условии сохранения  $t>120$  °C фиксируется интенсивное окисление жирорастворимых антиоксидантов.

На рисунке 4 представлены результаты экспериментальных исследований по изучению процесса тепловой обработки овощной смеси при производстве овощных закусочных консервов по рецептуре №2.

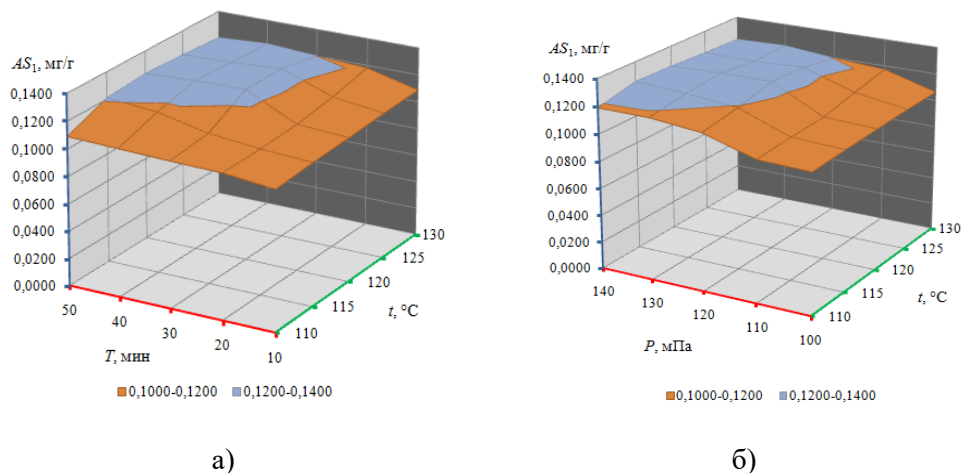


Рис. 4. Результаты экспериментальных данных, характеризующие влияние переменных факторов ( $T$ , мин;  $P$ , кПа;  $t$ , °C) на изменения содержания жирорастворимых антиоксидантов ( $AS_1$ , мг/г) в овощных закусочных консервах (Рецептура №2)

На рисунке 4а, представлена плоскостная диаграмма характеризующая зависимость содержания жирорастворимых антиоксидантов  $AS_1$  (мг/г) от продолжительности процесса тепловой обработки  $T$  (мин) при фиксированных значениях температуры  $t$ . Наблюдается снижение концентрации  $AS_1$  с увеличением продолжительности обработки, что свидетельствует о тепловой деструкции антиоксидантов. На начальном этапе (10-20 мин) отмечается незначительное повышение показателя, тогда как в интервале 30-40 мин фиксируется наиболее интенсивное повышение концентрации жирорастворимых антиоксидантов. При дальнейшем увеличении  $T$  (более 50 мин) скорость повышения  $AS_1$  замедляется, что может быть связано с достижением равновесного состояния или истощением лабильных фракций антиоксидантов.

На графике, представленном на рисунке 4б приведены совместные зависимости содержания  $AS_1$  от давления  $P$  (кПа) и температуры тепловой обработки  $t$  (°C). Установлено, что повышение давления в диапазоне от 100 до 110 кПа сопровождается незначительным увеличением антиоксидантов, что, вероятно, обусловлено снижением окислительной активности кислорода при повышенном давлении. Однако, влияние температуры  $t$  носит более выраженный характер: с ростом температуры от 100 до 130°C содержание  $AS_1$  повышается, с последующим постепенным снижением. Максимальная сохранность антиоксидантов достигается при минимальных значениях температуры и умеренных значениях давления. Совместное воздействие высоких температур и низкого давления приводит к наиболее значительным потерям  $AS_1$ .

Таким образом, продолжительность обработки  $T$  и температурный режим  $t$  оказывают доминирующее деструктивное влияние на содержание жирорастворимых антиоксидантов в исследуемых консервах, тогда как

повышение давления  $P$  в исследованном диапазоне способствует частичной стабилизации показателя.

На рисунке 5 представлены результаты экспериментальных исследований по изучению процесса тепловой обработки овощной смеси при производстве овощных закусочных консервов по рецептуре №3.

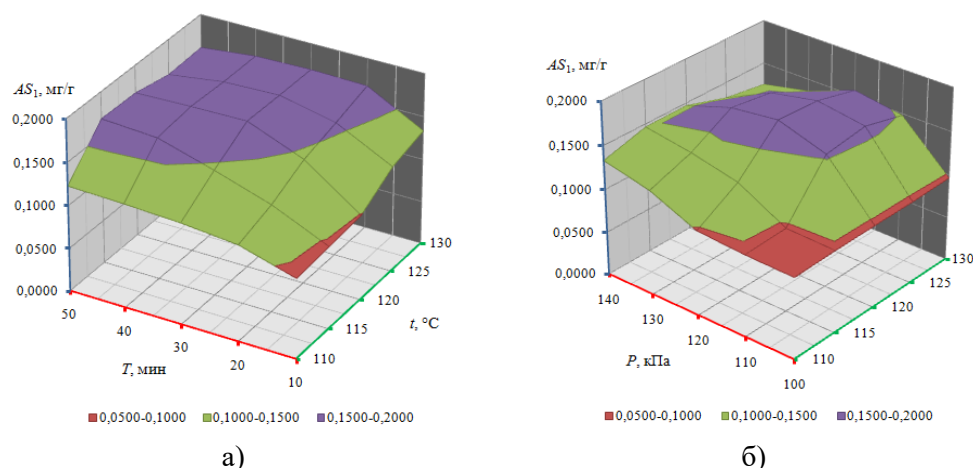


Рис. 5. Результаты экспериментальных исследований, характеризующие влияние переменных факторов ( $T$ , мин;  $P$ , кПа;  $t$ , °C) на изменения содержания жирорастворимых антиоксидантов ( $AS_1$ , мг/г) в овощных закусочных консервах (Рецептура №3)

На плоскостной диаграмме (рис. 5а) представлена кинетическая зависимость содержания жирорастворимых антиоксидантов  $AS_1$  (мг/г) от продолжительности теплового воздействия  $T$  (мин) и температуры  $t$ . В начальный период обработки (10...20 мин) фиксируется относительно стабильный уровень содержания жирорастворимых антиоксидантов  $AS_1$ , что может указывать на наличие антиоксидантного резерва в образцах по Рецептуре №3. При достижении времени  $T > 20$  мин наблюдается ускоренное повышение концентрации жирорастворимых антиоксидантов, достигающее максимума в интервале 30-40 мин. На завершающем этапе (более 50 мин) темп увеличения значений  $AS_1$  снижается, что объясняется исчерпанием наиболее термолабильной фракции антиоксидантов и возможным образованием стабилизированных комплексов. Дальнейшее увеличение продолжительности обработки приводит к резкому снижению значений  $AS_1$ , что говорит о наступлении процесса деструкции.

На рисунке 5б отражено совместное влияние давления  $P$  (кПа) и температуры  $t$  (°C) на сохранность  $AS_1$ . Установлено, что с ростом давления от 100 до 110 кПа наблюдается слабо выраженный положительный эффект – увеличение содержания антиоксидантов на 5-10% относительно баровых условий. Это может быть обусловлено снижением парциального давления кислорода и замедлением окислительных процессов. Температурный фактор  $t$  оказывает более значимое отрицательное влияние: при повышении  $t$  от 110 до 120°C содержание  $AS_1$  повышается практически линейно. Наибольшая сохранность антиоксидантов достигается в области высоких температур (120-125°C) и умеренно повышенных давлений (120-130 кПа). Сочетание высокой

температуры ( $t$ , °C) и давления ( $P$ , кПа) приводит к максимальным потерям  $AS_1$ .

Таким образом, для консервов по Рецептуре №3 выявлена устойчивость антиоксидантного комплекса в начальный период термообработки, однако дальнейшее увеличение  $T$  вызывает выраженную деструкцию  $AS_1$ . Температура  $t$  остаётся критическим фактором потерь, тогда как повышение давления  $P$  оказывает умеренное стабилизирующее действие.

На рисунке 6 представлены результаты экспериментальных исследований по изучению динамики изменения водорастворимых антиоксидантов в результате процесса тепловой обработки овощной смеси при производстве овощных закусочных консервов по рецептуре №1.

На диаграмме (рис. 6а) приведены результаты экспериментальных исследований по изучению зависимости содержания водорастворимых антиоксидантов  $AS_2$  (мг/г) от продолжительности обработки  $T$  (мин) при фиксированных значениях температуры тепловой обработки  $t$ . Установлено, что в интервале времени от 10 до 20 мин содержание  $AS_2$  ламинарно снижается, что свидетельствует о нестабильности водорастворимых антиоксидантов при тепловой обработке в консервах по Рецептуре №1. При увеличении продолжительности тепловой обработки  $T$  от 30 до 40 мин наблюдается резкое падение концентрации  $AS_2$ , что указывает на активацию деструктивных процессов, вероятно, связанных с окислением и термоллизом водорастворимых антиоксидантов. На участке  $T \rightarrow \max$  и  $t \rightarrow \max$  снижение содержания  $AS_2$  замедляется, что может объясняться истощением наиболее реакционноспособной фракции и переходом системы в состояние, близкое к равновесному.

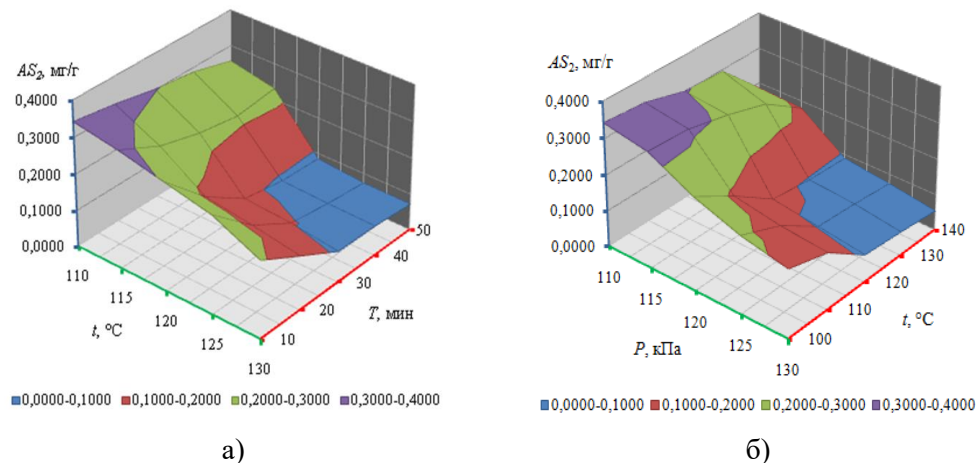


Рис. 6. Результаты экспериментальных исследований, характеризующие влияние переменных факторов ( $T$ , мин;  $P$ , кПа;  $t$ , °C) на изменения содержания водорастворимых антиоксидантов ( $AS_2$ , мг/г) в овощных закусочных консервах (Рецептура №1)

Поверхностная диаграмма (рис. 6б) характеризует совместное влияние давления  $P$  (кПа) и температуры  $t$  (°C) на изменение содержания водорастворимых антиоксидантов  $AS_2$ . Установлено, что повышение давления в диапазоне от 100 до 115 кПа способствует незначительному снижению антиоксидантов, что, вероятно, обусловлено с началом

окислительных реакций в условиях повышенного давления. При этом, температурный фактор оказывает доминирующее влияние: увеличение температуры от 100 до 130°C сопровождается монотонным снижением содержания  $AS_2$ . Максимальные потери водорастворимых антиоксидантов  $AS_2$  наблюдаются в области высоких температур ( $t \approx 130$ -140°C) и высоких значений давления ( $P \approx 125$ -130 кПа), что подтверждает критическую роль термического фактора в деструкции  $AS_2$ .

На рисунке 7 представлены результаты экспериментальных исследований по изучению динамики изменения водорастворимых антиоксидантов в процессе тепловой обработки овощной смеси при производстве закусочных консервов по рецептуре №2.

На плоскостной диаграмме (рис. 7а) представлена кинетическая зависимость, характеризующая изменение содержания водорастворимых антиоксидантов  $AS_2$  (мг/г) от продолжительности тепловой обработки  $T$  (мин) при переменных значениях температуры  $t$  (°C). В интервале времени от 10 до 20 мин наблюдается стремительное снижение концентрации  $AS_2$ , что может свидетельствовать о не высокой устойчивости водорастворимой фракции антиоксидантов на начальном этапе в рецептуре №2. При увеличении  $T$  от 30 до 40 мин фиксируется замедленное падение значений  $AS_2$ , обусловленное протеканием гидролитических и окислительных процессов под воздействием температуры обработки. На участке  $T > 40$  мин скорость снижения концентрации замедляется, что объясняется истощением доступного пула водорастворимых антиоксидантов и достижением квазистационарного состояния системы.

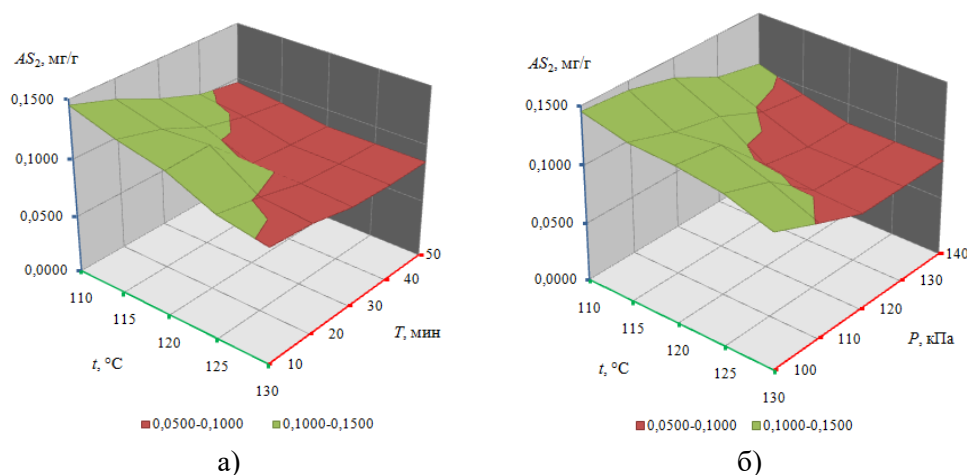


Рис. 7. Результаты экспериментальных данных, характеризующие влияние переменных факторов ( $T$ , мин;  $P$ , кПа;  $t$ , °C) на изменения содержания водорастворимых антиоксидантов ( $AS_2$ , мг/г) в овощных закусочных консервах (Рецептура №2)

На рисунке 7б) представлено влияние давления  $P$  (кПа) и температуры  $t$  (°C) на сохранность водорастворимых антиоксидантов  $AS_2$ . Результаты экспериментальных исследований показывают, что повышение давления от 100 до 120 кПа способствует постепенному снижению содержания  $AS_2$ , что может быть связано с ингибированием радикальных реакций окисления в условиях повышенного давления. Температурный

фактор  $t$  оказывает более выраженное отрицательное воздействие: рост температуры от 110 до 130°C сопровождается снижением концентрации  $AS_2$ . Сочетание высокой температуры ( $t$ , °C) и высокого давления ( $P$ , кПа) приводит к максимальным потерям  $AS_2$ .

На рисунке 8 представлены результаты экспериментальных исследований по изучению динамики изменения водорастворимых антиоксидантов в результате процесса тепловой обработки овощной смеси при производстве закусочных консервов по рецептуре №3.

На рисунке 8а представлена диаграмма характеризующая зависимость содержания водорастворимых антиоксидантов  $AS_2$  (мг/г) от продолжительности обработки  $T$  (мин) при фиксированных значениях давления  $P$  и температуры  $t$ . В начальном интервале времени (0...10 мин) наблюдается плавное снижение концентрации  $AS_2$ , что свидетельствует об умеренной устойчивости водорастворимого антиоксидантного комплекса в консервах по Рецептуре №3 на ранних этапах термической обработки. При увеличении  $T$  от 20 до 30 мин наблюдается интенсивное падение значений  $AS_2$ , обусловленное ускорением гидролитических и окислительно-восстановительных реакций. При этом, на участке  $T > t$  скорость деструкции антиоксидантов существенно замедляется, что может быть связано с истощением наиболее лабильной фракции водорастворимых антиоксидантов и достижением равновесного состояния системы.

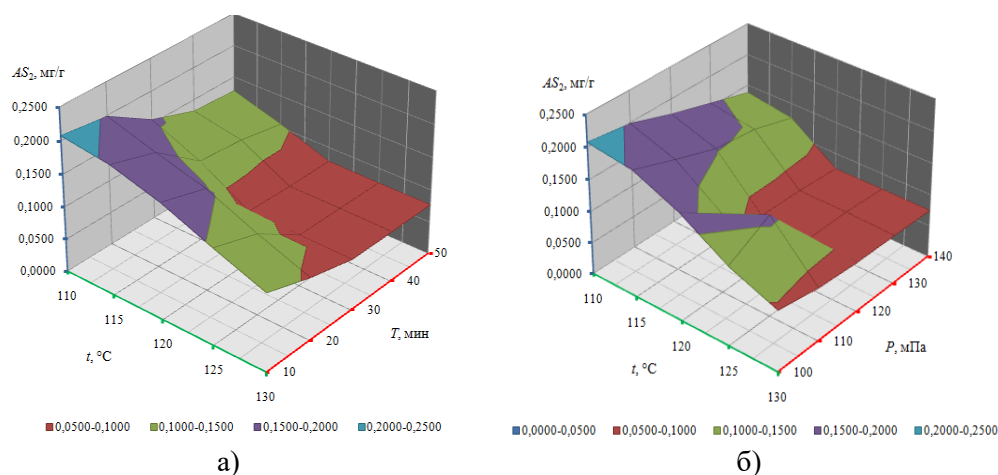


Рис. 8. Результаты экспериментальных данных, характеризующие влияние переменных факторов ( $T$ , мин;  $P$ , кПа;  $t$ , °C) на изменения содержания водорастворимых антиоксидантов ( $AS_2$ , мг/г) в овощных закусочных консервах (Рецептура №3)

На рисунке 8б представлена диаграмма характеризующая совместное влияние давления  $P$  (кПа) и температуры  $t$  (°C) на сохранность водорастворимых антиоксидантов  $AS_2$  в результате тепловой обработки овощного сырья. Установлено, что повышение давления от 100 до 110 кПа оказывает слабовыраженное положительное влияние, способствуя незначительному увеличению содержания  $AS_2$ . Данный эффект, вероятно, объясняется снижением парциального давления кислорода и подавлением свободнорадикальных процессов окисления. Однако температурный фактор  $t$  является доминирующим: рост температуры от 100 до 125°C сопровождается

практически линейным снижением концентрации  $AS_2$ . Анализируя представленные данные позволяют установить следующее: наибольшая сохранность водорастворимых антиоксидантов зафиксирована в области низких температур и умеренно повышенного давления. Сочетание высоких значений температуры ( $t$ , °C) и высокого давления ( $P$ , кПа) приводит к максимальным потерям  $AS_2$ .

**Обсуждение результатов исследований.** Для обоснования оптимальных параметров технологического процесса производства закусочных консервов на основе овощного сырья по трем научно-обоснованным рецептурам (№ 1, № 2, № 3), проводили математическую обработку результатов экспериментальных исследований, для чего применяли ротатабельный план второго порядка (план Бокса). Данный план характеризуется постоянством дисперсии предсказанных значений отклика для всех эквидистантных точек относительно центра поставленного эксперимента. Применили параметры планирования: число факторов  $K = 2$ , объем эксперимента превышал 20 опытов, количество наблюдений в нулевой точке составляло 6, а число оцениваемых коэффициентов регрессионного уравнения – 10.

На первом этапе оптимизации экспериментальных данных « $t$  и  $P$ » и « $t$  и  $T$ » проводили кодировку доверительных интервалов и уровней варьирования входных параметров, оказывающие влияние на критерий оптимизаций  $y_1$  и  $y_2$ , соответственно  $AS_1$  и  $AS_2$ . После чего разработали матрицу ротатабельного планирования экспериментальных исследований по изучению процесса консервирования овощного сырья при производстве закусочных консервов для условий  $y_n=f(T, t)$  и  $y_n=f(P, t)$ .

После определения значений доверительных интервалов критериев оптимизации процесса консервирования овощного сырья, приступили к определению значений коэффициентов регрессии. Рассматриваемые коэффициенты являются критически значимыми при декомпозиции регрессионных уравнений, поскольку обеспечивают количественную оценку степени влияния каждого входного параметра на целевую переменную. В процессе анализа данные коэффициенты выступают в качестве базового информационного массива, необходимого для интерпретации модели, построения прогнозов и верификации её точности. Включение указанных коэффициентов в структуру регрессионного уравнения позволяет формализованно описать взаимосвязи между переменными с последующим применением полученных зависимостей в прикладных задачах математического моделирования технологического процесса консервирования овощной продукции.

Далее, приступили к построению уравнений регрессии в два этапа:

- уравнения регрессии в кодированных значениях;
- уравнения регрессии в натуральных значениях.

Данное мероприятие позволит более точно показать влияние возмущающих факторов на критерий оптимизации, позволит создать математические модели, которые наиболее точно описывают физическую картину.

Уравнения регрессии описывающие изменение содержание жирорастворимых антиоксидантов ( $AS_1$ , мг/г), выраженные в натуральных значениях переменных факторов для условия  $y_n=f(T, t)$  примут следующий вид:

– для Рецептуры №1:

$$AS_{1,1} = -19,7573 + 0,033478 T + 0,319839 t - 0,000052 Tt - 0,00041 T^2 - 0,001306 t^2; \quad (1)$$

– для Рецептуры №2:

$$AS_{2,1} = -3,1388 + 0,004172 T + 0,052422 t - 2E06Tt - 5,55E05T^2 - 0,000215 t^2; \quad (2)$$

– для Рецептуры №3:

$$AS_{3,1} = -6,3818 + 0,024437 T + 0,100457 t - 0,00014 Tt - 0,000104 T^2 - 0,000392 t^2; \quad (3)$$

Уравнение регрессии описывающие влияние продолжительности тепловой обработки и давления в рабочей зоне автоклава  $y_n=f(P, t)$  на содержание жирорастворимых антиоксидантов ( $AS_1$ , мг/г) в натуральных значениях примет следующий вид:

– для Рецептуры №1:

$$AS_{1,2} = -27,8633 + 0,079576 P + 0,37992 t + 0,000192 Pt - 0,000418 P^2 - 0,00165 t^2; \quad (4)$$

– для Рецептуры №2:

$$AS_{2,2} = -3,4755 + 0,018989 P + 0,39924 t - 0,00036 Pt - 5,82E05P^2 - 0,000147 t^2; \quad (5)$$

– для Рецептуры №3:

$$AS_{3,2} = -15,7271 + 0,060605 P + 0,199891 t - 0,00022 Pt - 0,000139 P^2 - 0,000708 t^2; \quad (6)$$

Аналогично, предыдущему мероприятию разработаем уравнения регрессии в натуральных выражениях для функции  $y_n=f(T, t)$ , характеризующая изменение содержания водорастворимых антиоксидантов в овощных закусочных консервах от перерменных значений  $T$  и  $t$ :

– для Рецептуры №1:

$$AS_{4,1} = -4,4279 - 0,077095 T + 0,104246 t - 0,00017 Tt + 0,001783 T^2 - 0,000462 t^2; \quad (7)$$

– для Рецептуры №2:

$$AS_{5,1} = 57,224 - 0,057356 T - 0,975794 t + 6,75E-05Tt + 0,001031 T^2 + 0,004168 t^2; \quad (8)$$

– для Рецептуры №3:

$$AS_{6,1} = 10,6594 - 0,02416 T - 0,165123 t + 6,5E05Tt + 0,000226 T^2 + 0,000661 t^2; \quad (9)$$

Разработаем уравнения регрессии в натуральных значениях, функции  $y_n=f(P, t)$  справедливой для изменения содержания водорастворимых

антиоксидантов  $AS_2$  при перерменных значений  $T$  и  $t$ , которые примут следующий вид в канонической форме:

– для Рецептуры №1:

$$AS_{4,2} = 104,6937 + 0,041634 P - 1,791897 t - 0,000115 Pt - 0,000134 P^2 + 0,007572 t^2; \quad (10)$$

– для Рецептуры №2:

$$AS_{5,2} = 5,3998 - 0,016542 P - 0,068363 t - 3,35E05 Pt + 7,93E05 P^2 + 0,000293 t^2; \quad (11)$$

– для Рецептуры №3:

$$AS_{6,2} = 15,8078 - 0,022245 P - 0,2322 t - 0,000248 Pt + 0,000206 P^2 + 0,00107 t^2; \quad (12)$$

Оценка адекватности и достоверности разработанных математических моделей проводилась с использованием  $F$ -критерия Фишера ( $F_p$ ). При этом необходимым условием признания регрессионных уравнений адекватными выступает выполнение неравенства  $F_p < F_m$ . Тенденция расчётных значений  $F_p$  к нулю свидетельствует о высокой статистической значимости модели и её прогностической способности в отношении зависимой переменной. Таким образом,  $F$ -критерий является ключевым инструментом верификации качества и надёжности построенных регрессионных зависимостей.

Полученные уравнения регрессии (1-12) полностью сохраняют условие  $F_p < F_m$ , что свидетельствует о том, что математические модели наиболее точно описывают изучаемые процессы консервирования овощного сырья с 90%-ой адекватностью и доверительной вероятностью.

Вычисление параметров, подлежащих оптимизации, выполнено средствами программного пакета Microsoft Excel (рис. 9).

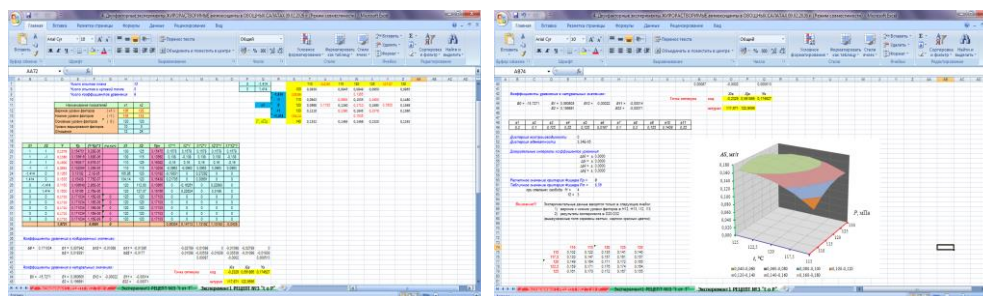


Рис. 9. Пример расчета доверительных интервалов (в кодированных и натуральных выражениях) с применением Microsoft Excel

По результатам расчётов осуществлено построение трёхмерных пространственных моделей в виде диаграмм, количественно характеризующих динамику исследуемого процесса. Данные модели формализуют взаимосвязь между переменными и обеспечивают визуализацию функциональной зависимости целевой переменной от варьируемых факторов, что позволяет с повышенной точностью идентифицировать структуру и кинетику изучаемых процессов.

На рисунке 10 представлены оптимизированные трехмерные диаграммы влияния продолжительности тепловой обработки овощного сырья ( $T$ , мин), давление ( $P$ , кПа) и температуры автоклавирования ( $t$ , °C) на динамику изменения значений критерия оптимизации, содержания жирорастворимых ( $AS_1$ , мг/г) антиоксидантов в закусочных консервах.

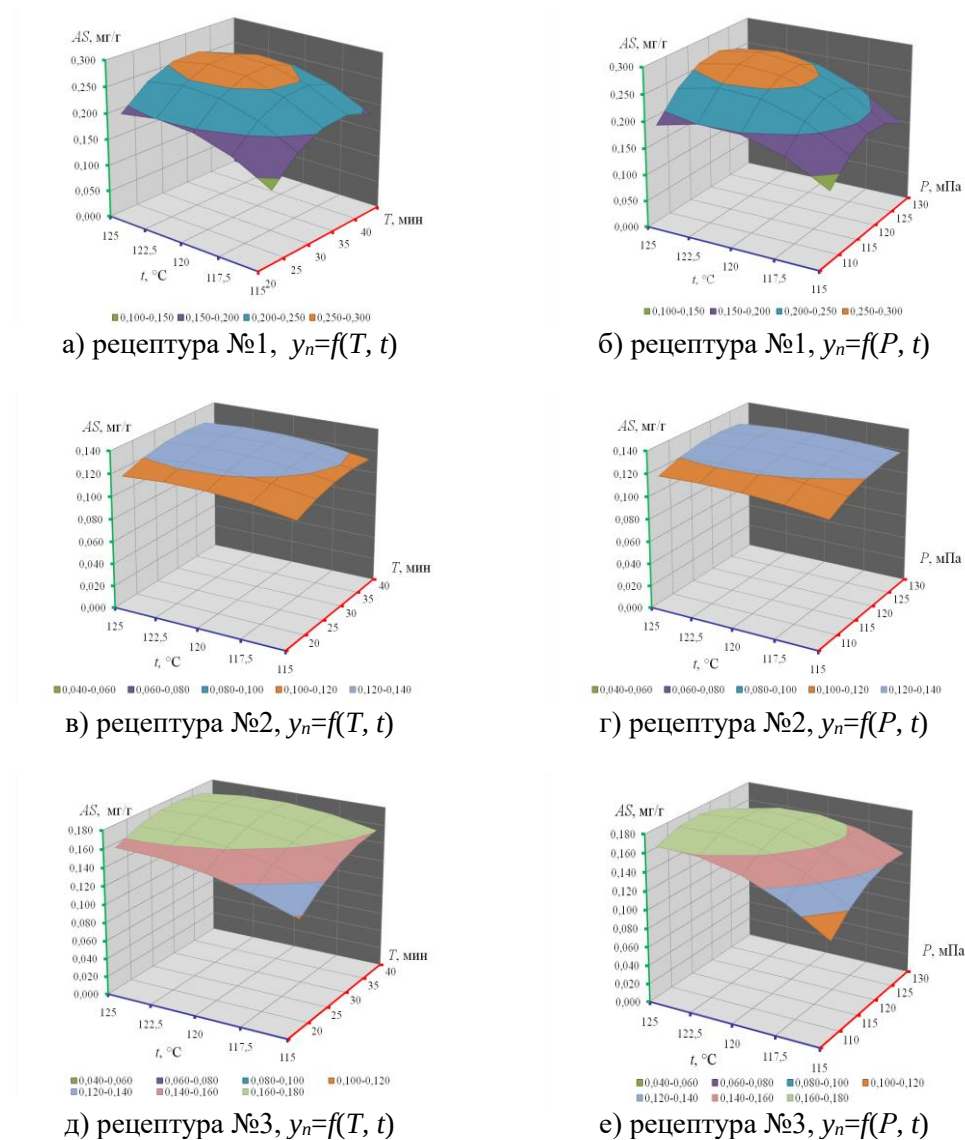


Рис. 10. Трехмерные диаграммы влияния продолжительности тепловой обработки овощного сырья ( $T$ , мин), давление ( $P$ , кПа) и температуры автоклавирования ( $t$ , °C) на динамику изменения значений критерия оптимизации, содержания жирорастворимых ( $AS_1$ , мг/г) антиоксидантов

Анализ поверхностных диаграмм выявил единообразную физическую картину динамики изменения содержания жирорастворимых антиоксидантов в овощных закусочных консервах, изготовленных по рецептурам № 1, 2, 3. По результатам анализа установлены следующие закономерности:

– Высокая термостабильность. Жирорастворимые антиоксиданты проявляют устойчивость к воздействию повышенных температур. Увеличение температуры до 125 °С при длительности экспозиции до 30 минут приводит к возрастанию значений антиоксидантной способности ( $AS_1$ ) до определенного момента. При одновременном повышении температуры и давления в рабочей зоне автоклава регистрируется незначительный прирост указанных значений.

– Узкий интервал оптимума. Наиболее критичным параметром выступает продолжительность термической обработки, что обуславливает необходимость жёсткого регулирования временного интервала процесса в диапазоне 25-30 минут.

– Роль давления. Давление выполняет стабилизирующую функцию. Поддержание давления в интервале 120-125 МПа позволяет расширить рабочий температурный диапазон и обеспечить средний уровень содержания  $AS$ , предотвращая полную деградацию антиоксидантов.

Повышение количественного содержания жирорастворимых антиоксидантов в овощных консервах после термической обработки может быть обусловлено совокупностью следующих факторов. Во-первых, термовоздействие вызывает деструкцию клеточных структур растительного сырья, что способствует высвобождению внутриклеточных компонентов, включая жирорастворимые антиоксиданты, в частности каротиноиды и фитофлувоны. Данные соединения, изначально локализованные в составе клеточных мембран и волокнистых образований, после обработки переходят в форму, доступную для экстракции, вследствие чего их концентрация в конечном продукте возрастает. Во-вторых, термическая обработка способна инициировать активацию отдельных ферментных систем либо трансформацию предшественников антиоксидантов в их активные формы, повышая регистрируемую концентрацию в продукте. Кроме того, возможна термически индуцированная денатурация тканевых структур, приводящая к модификации антиоксидантов, повышению их стабильности либо улучшению детектируемости аналитическими методами. Как следствие, наблюдается увеличение содержания жирорастворимых антиоксидантов в обработанных консервах относительно исходного уровня.

На рисунке 11 представлены оптимизированные трехмерные диаграммы влияния продолжительности тепловой обработки овощного сырья ( $T$ , мин), давление ( $P$ , кПа) и температуры автоклавирования ( $t$ , °С) на динамику изменения значений критерия оптимизации, содержание водорастворимых ( $AS_2$ , мг/г) антиоксидантов в закусовых консервах.

Анализ поверхностных диаграмм позволил установить единообразный характер динамики изменения показателей водорастворимых антиоксидантов для всех трёх исследуемых рецептур. На основании полученных данных выявлены следующие закономерности:

– Высокая чувствительность к термическому воздействию. Водорастворимые антиоксиданты проявляют термолабильные свойства. Превышение температурного порога 125 °С либо длительности экспозиции свыше 40 минут приводит к существенной деградации данных соединений.

– Узкий интервал оптимума. Наиболее критичным технологическим параметром является продолжительность термической обработки, что диктует необходимость строгого регулирования временного режима в диапазоне 25-30 минут.

– Роль давления. Давление выполняет стабилизирующую функцию. Поддержание давления в интервале 120-125 МПа обеспечивает расширение рабочего диапазона температур и достижение средних значений антиоксидантной способности (AS), предотвращая полную деструкцию антиоксидантов.

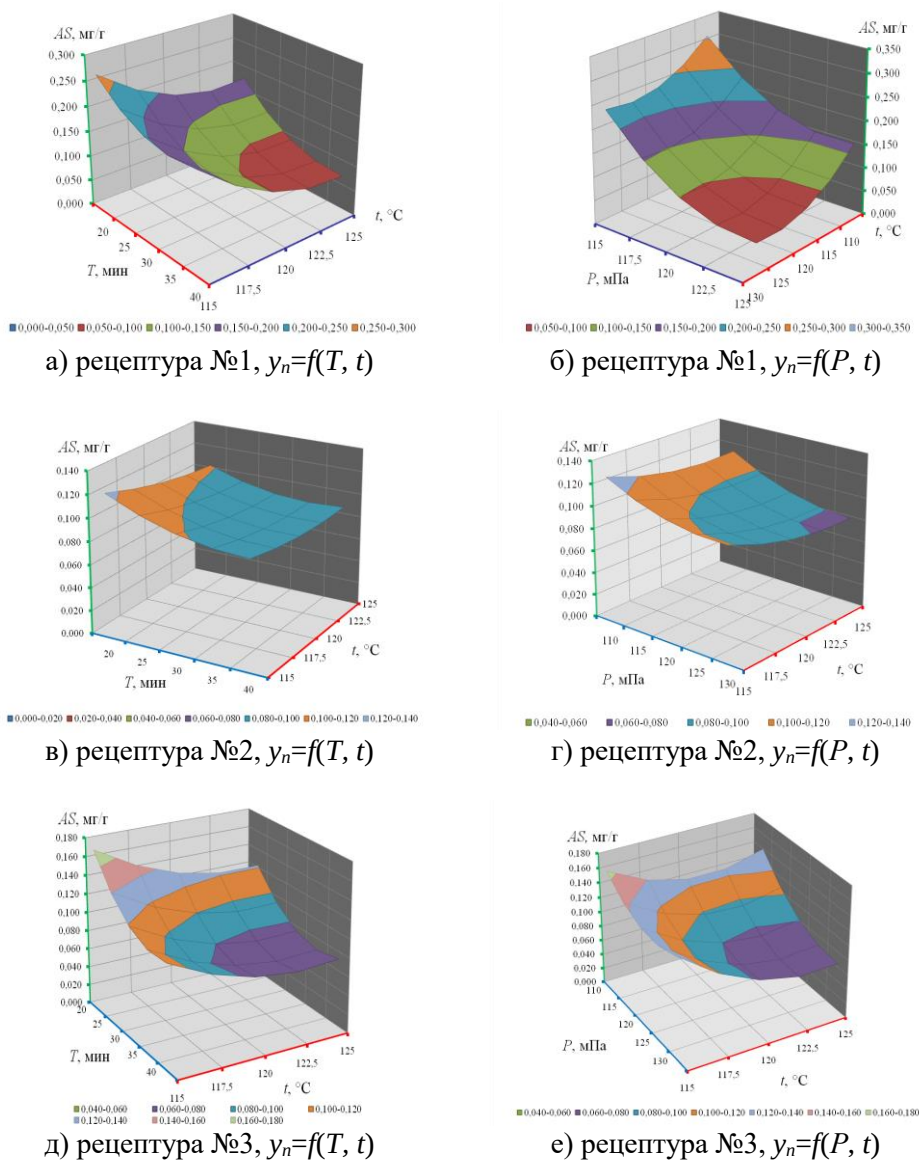


Рис. 11. Трехмерные диаграммы влияния продолжительности тепловой обработки овощного сырья ( $T$ , мин), давление ( $P$ , кПа) и температуры автоклавирования ( $t$ , °C) на динамику изменения значений критерия оптимизации, содержания водорастворимых ( $AS_2$ , мг/г) антиоксидантов

Снижение количественного содержания водорастворимых антиоксидантов в овощных консервах относительно исходного уровня обусловлено комплексом взаимосвязанных причин. Доминирующим фактором выступает термическая деструкция и дегидратация биологически

активных соединений, определяющих антиоксидантную активность. В процессе высокотемпературной обработки происходит деградация водорастворимых антиоксидантов, прежде всего аскорбиновой кислоты, флавоноидов и гидрохинонов. Указанные соединения характеризуются высокой лабильностью по отношению к термическому воздействию, кислороду и световому излучению, что индуцирует их разложение и, как следствие, утрату антиоксидантных свойств. Дополнительным фактором выступает термоокислительная деструкция антиоксидантов, сопровождающаяся распадом части данных соединений либо их переходом в неактивные формы, что снижает как общее содержание, так и функциональную эффективность. Ввиду локализации водорастворимых антиоксидантов в водной фазе клеточных структур, они наиболее подвержены потерям при выделении и удалении водной фракции с продуктами деструкции в процессе переработки. Совокупное действие перечисленных факторов закономерно приводит к редукции уровня водорастворимых антиоксидантов в разрабатываемых овощных закусочных консервах.

**Заключение.** В результате проведенных экспериментальных исследований, в рамках реализации научного проекта АР23483970 «Совершенствование технологии производства плодово-ягодных десертов и овощных закусочных консервов, обогащенные натуральными нутриентами и природными антиоксидантами», решена актуальная прикладная задача по разработке и оптимизации технологии консервирования овощного сырья, направленная на максимальную сохранность природных антиоксидантов и повышение биологической ценности готовой продукции.

*1. Обоснование компонентного состава рецептур на основе анализа антиоксидантного статуса сырья.*

Анализ лабораторных данных по оценке биологической ценности овощных культур выявил значительную вариабельность числовых значений антиоксидантной активности (АОА) в пределах исследуемой выборки, что исключает возможность однозначной дифференциации сырья по группам биологической активности. Установлено, что уровень АОА детерминирован содержанием биологически активных веществ фенольной природы, пектинов, флавоноидов, аскорбиновой кислоты и каротиноидов. Классификация проанализированных видов овощного сырья по уровню антиоксидантной активности показала:

- Высокая активность: перец болгарский (комплекс витамина С и капсаицина), свекла красная (бетаин, антоцианы), лук репчатый (серосодержащие соединения, кверцетин), чеснок (аллицин, селен).
- Умеренная активность: томат (ликопиновый комплекс), баклажан (антоцианы), редька (глюкозинолаты, витамин С), морковь (бета-каротин), тыква (каротиноиды).
- Низкая активность: кабачок (низкая концентрация антиоксидантных веществ).

Исходя из принципа максимизации нутриентного профиля готового продукта, при разработке рецептур овощных закусочных консервов реализован подход максимального комбинаторного включения различных видов сырья на основе рецептур-аналогов.

*2. Разработка рецептур и расчет энергетической ценности.*

Разработаны три рецептуры овощных закусочных консервов (рис. 12) с использованием местного сырья. Теоретическая энергетическая ценность определена расчетным методом:

– Рецепт № 1 «Консервированный овощной закусочный салат с томатами и болгарским перцем»: энергетическая ценность - 606,59 ккал (2539,17 кДж);

– Рецепт № 2 «Пюре овощное с тыквой и корнеплодами, обогащенное натуральными микронутриентами и антиоксидантами»: энергетическая ценность - 420,25 ккал (1759,17 кДж);

– Рецепт № 3 «Овощное ассорти с корнеплодами, обогащенное натуральными микронутриентами и антиоксидантами»: энергетическая ценность - 685,50 ккал (2869,50 кДж).



а) Рецепт №1



б) Рецепт №2



в) Рецепт №3

Рис. 12. Овощные закусочные консервы, обогащенные натуральными нутриентами и природными антиоксидантами

### *3. Исследование динамики антиоксидантов в процессе тепловой обработки.*

Экспериментально-аналитические исследования, направленные на совершенствование технологии производства разработанных консервов с заданным содержанием природных антиоксидантов, позволили установить основные закономерности влияния термического воздействия на их антиоксидантный статус. Зафиксирована разнонаправленная динамика изменения жирорастворимой и водорастворимой фракций в процессе автоклавирования. Термическая обработка инициирует рост содержания жирорастворимых антиоксидантов, что обусловлено деструкцией клеточных мембран и высвобождением липофильных соединений из связанного состояния. Напротив, водорастворимая фракция антиоксидантов подвержена термоокислительной деградации, степень которой коррелирует с интенсивностью нагрева.

### *4. Математическое моделирование и оптимизация режимов стерилизации.*

С применением методов математического моделирования на основе ротатабельного плана второго порядка получены адекватные регрессионные зависимости, описывающие влияние температуры, времени и давления на антиоксидантные показатели. Оптимизированы параметры автоклавирования, гарантирующие максимальную сохранность антиоксидантного комплекса при условии достижения технологической

готовности продукта: температура – 120-125 °С, продолжительность – 27-31 мин, давление – 117-122 кПа.

Установлено, что температура и продолжительность процесса являются доминантными факторами для изменения содержания жирорастворимых антиоксидантов, тогда как стабильность водорастворимых соединений критически зависит от длительности теплового воздействия. Выявленные закономерности имеют строгое физико-химическое обоснование и позволяют целенаправленно управлять процессами деструкции и высвобождения биологически активных веществ.

#### *5. Научная новизна и практическая значимость.*

Научная новизна работы заключается в установлении количественных закономерностей изменения фракционного состава антиоксидантов при термической обработке овощного сырья и разработке математического аппарата для прогнозирования антиоксидантного статуса готовой продукции.

Практическая значимость исследования состоит в создании научно обоснованных режимов стерилизации, обеспечивающих производство овощных закусочных консервов с прогнозируемыми функциональными свойствами. Результаты применимы для проектирования и оптимизации технологических процессов на предприятиях пищевой промышленности и создания продуктов функционального питания.

#### **Список литературы**

1. Муслимов, Н.Ж. Анализ существующего рынка консервированной плодово-ягодной и овощной продукции [Текст] / Н.Ж. Муслимов, К.К. Омаров, Г.Б. Джумабекова [и др.]. – Тараз : МТИИ, 2024. – 71 с.
2. Kamiloglu S., Tomas M., Ozdal T., Capanoglu E. Effect of food processing on antioxidant potential, bioavailability and shelf-life of food products // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 373. – Art. 131508. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131508.
3. Cilla A., Bosch L., Barberá R. Effect of processing on the bioaccessibility of bioactive compounds in vegetables: A review // Food Research International. – 2020. – Vol. 137. – Art. 109720. – DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109720.
4. Murador D.C., Braga A.R., Rosso V.V. Effects of cooking techniques on vegetable carotenoids and antioxidant activity // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2019. – Vol. 59, No. 15. – P. 2413–2427. – DOI: 10.1080/10408398.2018.1458615.
5. Zhang Y., Liu X., Wang J. Thermal degradation kinetics of water-soluble vitamins and antioxidants in vegetable purees during sterilization // Journal of Food Engineering. – 2022. – Vol. 323. – Art. 111001. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111001.
6. Granato D., Carochio M., Barros L. Use of response surface methodology in food processing: A review // Food Engineering Reviews. – 2020. – Vol. 12, No. 4. – P. 432–449. – DOI: 10.1007/s12393-020-09240-7.
7. Box G.E.P., Draper N.R. Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses. – 2nd ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2019. – 857 p.
8. Silva E.M., Rogez H., Larondelle Y. Optimization of thermal processing for retention of bioactive compounds in canned vegetables using response surface methodology // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2021. – Vol. 72. – Art. 102756. – DOI: 10.1016/j.ifset.2021.102756.
9. Bas D., Boyaci I.H. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology // Journal of Food Engineering. – 2007. – Vol. 78, No. 3. – P. 836–845. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.11.024.

10. Sanchez-Tainta A., Estruch R., Lamuela-Raventos R.M. Development of functional vegetable-based preserves enriched with natural antioxidants // *Foods*. – 2022. – Vol. 11, No. 3. – Art. 456. – DOI: 10.3390/foods11030456.
11. Patras A., Brunton N.P., Butler F. Effect of thermal processing on the antioxidant activity of tomato-based products // *Journal of Food Science*. – 2018. – Vol. 83, No. 4. – P. 1122–1129. – DOI: 10.1111/1750-3841.14112.
12. Sharma K., Kaur G., Nayik G.A. Pumpkin and root vegetables as a source of natural antioxidants in canned foods // *Food Bioscience*. – 2020. – Vol. 38. – Art. 100776. – DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100776.
13. Tiwari U., Cummins E. Factors influencing the stability of oil-soluble vitamins in fortified foods // *Trends in Food Science & Technology*. – 2019. – Vol. 89. – P. 75–87. – DOI: 10.1016/j.tifs.2019.05.008.
14. Ioannou I., Ghoul M. Review of the effects of food processing on the stability and antioxidant capacity of water-soluble vitamins // *Food Chemistry*. – 2020. – Vol. 326. – Art. 127001. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127001.
15. Kenzhegaliev A., Kulmyrzaev A., Iskakova J. Development of canned food technology using local plant raw materials // *Eurasian Journal of Food Science and Technology*. – 2022. – Vol. 5, No. 2. – P. 112–124.
16. Moldakarimov A., Iztayev A., Muslimov N. [et al.]. Determination of the optimal storage zone of functional beverages based on sprouted grain extracts using mathematical models // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. – 2024. – Vol. 18. – P. 1006–1027. – DOI: 10.5219/2028.
17. Liggins L.M.L. (ed.). *Botanical Aspects of Fruit and Vegetable Crops*. – London : Academic Press, 2022. – 412 p.
18. Patil K.W., Dutta S.K. (eds.). *Fruits, Vegetables and Herbs: Cultivation and Post-Harvest Technologies*. – New Delhi : Springer, 2020. – 538 p.
19. McDonald C.O. *Postharvest Technology of Fruits and Vegetables*. – New York : CRC Press, 2018. – 464 p.
20. Datta A.K., Singh K.K. *Technology of Fruit and Vegetable Processing*. – New Delhi: CBS Publishers, 2020. – 520 p.
21. Joshi V.K., Prasad S.K. (eds.). *Processing of Fruits and Vegetables: Principles and Applications*. – New York : John Wiley & Sons, 2019. – 632 p.
22. Rai S.N., Choudhary M.C. (eds.). *Innovative Approaches in Food Processing Technologies*. – Cham : Springer, 2021. – 486 p.
23. Kays F.A.C.R. *Fruit and Vegetable Processing: Improving Quality*. – Cambridge : Woodhead Publishing, 2022. – 448 p.
24. Kavitha S.R., Kumar R.N. *Modern Techniques in Fruit and Vegetable Processing*. – New York : Nova Science Publishers, 2018. – 390 p.
25. *Journal of Food Processing and Preservation*. – 2021–2023. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/17454549>. – Date of access: 01.09.2026.
26. Masterson A.K. *Fruits and Vegetables: Processing, Packaging, and Quality*. – New York : CRC Press, 2021. – 356 p.
27. Reddy C.G.R.R., Raghavan P.S. (eds.). *Recent Advances in Fruit and Vegetable Processing*. – Singapore : Springer, 2020. – 472 p.
28. Singhal P.R., Kaushik N.K. *Food Processing Technologies: Principles and Practice*. – New Delhi : New Age International, 2022. – 608 p.
29. Khatib M.S., Sharma S.K. (eds.). *Vegetable and Fruit Processing: Recent Trends and Innovations*. – Cham : Springer, 2023. – 414 p.
30. Муслимов, Н.Ж. Совершенствование технологии производства плодово-ягодных десертов и овощных закусочных консервов, обогащенные натуральными нутриентами и природными антиоксидантами : отчет о научно-исследовательской работе (промежуточный) : АР23483970 [Текст] / рук. Н.Ж. Муслимов. – Тараз : МТИИ, 2025. – 98 с. – № гос. регистрации 0124РК00548; инв. № 0325РК01417.

*Исследования выполнены в рамках проекта AP23483970 «Совершенствование технологии производства плодово-ягодных десертов и овощных закусочных консервов, обогащенные натуральными нутриентами и природными антиоксидантами», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 09.06.26, принят 18.09.26.*

**Н.Ж. Мүсілімов<sup>1</sup>, К.К. Омаров<sup>1</sup>, Г.Б. Джумабекова<sup>2</sup>,  
А.Р. Туякова<sup>1</sup>, И.М. Заурбекова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз Университеті,  
Тараз, Қазақстан*

<sup>2</sup>*«КазПродПром» ҒӨБ» ЖШС, Тараз, Қазақстан*

#### **КӨКТАНЫС ТАҒАМДАРЫН БОЛЖАМДЫ АНТИОКСИДАНТТЫҚ ЖАҒДАЙМЕН ТЕРМИЯЛЫҚ ӨҢДЕУ РЕЖИМДЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ**

**Аңдатпа.** Көкөніс шикізатын өңдеу нәтижесінде биологиялық белсенді қосылыстардың деструкциясы жүреді. Көкөніс жеңіл тағамдық консервілерінің биологиялық құндылығын арттыру мақсатында AP23483970 жобасы аясында табиғи антиоксиданттарды барынша сақтауға бағытталған технология әзірленді. Болжамды антиоксидант деңгейі бар (жоғары, орташа, минималды) рецептуралар жасалды. Автоклавтау параметрлерінің - температураның, ұзақтығының, қысымның - майда еритін (AS<sub>1</sub>) және суда еритін (AS<sub>2</sub>) антиоксидант фракцияларының құрамына әсері зерттелді. Майда еритін антиоксиданттардың термотұрақты екендігі анықталды, олардың концентрациясы жылулық өңдеу кезінде жасушалық құрылымдардан бөлінуі есебінен артады. Суда еритін фракциялар термолабильді болып табылады және жұмсақ өңдеу режимдерін қажет етеді. Алынған нәтижелер дайын консервілердің антиоксиданттық қасиеттерін болжауға және өнеркәсіптік енгізу үшін оңтайлы технологиялық параметрлерді ұсынуға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** көкөніс шикізаты, антиоксиданттар, консервілеу, термиялық өңдеу, өңдеу ұзақтығы, регрессия, оңтайландыру, майда еритін антиоксиданттар, суда еритін антиоксиданттар.

**N.Zh. Muslimov<sup>1</sup>, K.K. Omarov<sup>1</sup>, G.B. Dzhumabekova<sup>2</sup>,  
A.R. Tuyakova<sup>1</sup>, I.M. Zaurbekova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*International Taraz University named after. Sh. Murtaza, Taraz, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*“KazProdProm Research and Production Association” LLP, Taraz, Kazakhstan*

#### **OPTIMIZATION OF HEAT TREATMENT REGIMES FOR CANNED VEGETABLE SNACKS WITH A PREDICTABLE ANTIOXIDANT STATUS**

**Abstract.** Processing of vegetable raw materials leads to degradation of biologically active compounds. To enhance the biological value of canned vegetable snacks, a technology aimed at maximizing the preservation of native antioxidants was developed within the framework of project AP23483970. Formulations with predicted antioxidant levels (high, medium, and minimal) were created. The effect of autoclaving parameters - temperature, duration, and pressure - on the content of fat-soluble (AS<sub>1</sub>) and water-soluble (AS<sub>2</sub>) antioxidant fractions was investigated. It was established that fat-soluble antioxidants are thermostable, and their concentration increases during heat treatment

due to release from cellular structures. Water-soluble fractions are thermolabile and require gentle processing conditions. The results obtained allow predicting the antioxidant properties of finished canned products and recommending optimal technological parameters for industrial implementation.

**Keywords:** vegetable raw materials, antioxidants, canning, heat treatment, processing duration, regression, optimization, fat-soluble antioxidants, water-soluble antioxidants.

#### References

1. Muslimov N.Zh., Omarov K.K., Dzhumabekova G.B. [et al.]. Analiz sushchestvuyushchego rynka konservirovannoy plodovo-yagodnoy i ovoshchnoy produktsii [Analysis of the existing market of canned fruit, berry and vegetable products]. – Taraz: MTII, 2024. – 71 p. [in Russian].
2. Kamiloglu S., Tomas M., Ozdal T., Capanoglu E. Effect of food processing on antioxidant potential, bioavailability and shelf-life of food products // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 373. – Art. 131508. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131508.
3. Cilla A., Bosch L., Barberá R. Effect of processing on the bioaccessibility of bioactive compounds in vegetables: A review // Food Research International. – 2020. – Vol. 137. – Art. 109720. – DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109720.
4. Murador D.C., Braga A.R., Rosso V.V. Effects of cooking techniques on vegetable carotenoids and antioxidant activity // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2019. – Vol. 59, No. 15. – P. 2413–2427. – DOI: 10.1080/10408398.2018.1458615.
5. Zhang Y., Liu X., Wang J. Thermal degradation kinetics of water-soluble vitamins and antioxidants in vegetable purees during sterilization // Journal of Food Engineering. – 2022. – Vol. 323. – Art. 111001. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2022.111001.
6. Granato D., Carochio M., Barros L. Use of response surface methodology in food processing: A review // Food Engineering Reviews. – 2020. – Vol. 12, No. 4. – P. 432–449. – DOI: 10.1007/s12393-020-09240-7.
7. Box G.E.P., Draper N.R. Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses. – 2nd ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2019. – 857 p.
8. Silva E.M., Rogez H., Larondelle Y. Optimization of thermal processing for retention of bioactive compounds in canned vegetables using response surface methodology // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2021. – Vol. 72. – Art. 102756. – DOI: 10.1016/j.ifset.2021.102756.
9. Bas D., Boyaci I.H. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology // Journal of Food Engineering. – 2007. – Vol. 78, No. 3. – P. 836–845. – DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.11.024.
10. Sanchez-Tainta A., Estruch R., Lamuela-Raventos R.M. Development of functional vegetable-based preserves enriched with natural antioxidants // Foods. – 2022. – Vol. 11, No. 3. – Art. 456. – DOI: 10.3390/foods11030456.
11. Patras A., Brunton N.P., Butler F. Effect of thermal processing on the antioxidant activity of tomato-based products // Journal of Food Science. – 2018. – Vol. 83, No. 4. – P. 1122–1129. – DOI: 10.1111/1750-3841.14112.
12. Sharma K., Kaur G., Nayik G.A. Pumpkin and root vegetables as a source of natural antioxidants in canned foods // Food Bioscience. – 2020. – Vol. 38. – Art. 100776. – DOI: 10.1016/j.fbio.2020.100776.
13. Tiwari U., Cummins E. Factors influencing the stability of oil-soluble vitamins in fortified foods // Trends in Food Science & Technology. – 2019. – Vol. 89. – P. 75–87. – DOI: 10.1016/j.tifs.2019.05.008.

14. Ioannou I., Ghoul M. Review of the effects of food processing on the stability and antioxidant capacity of water-soluble vitamins // Food Chemistry. – 2020. – Vol. 326. – Art. 127001. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127001.
15. Kenzhegaliev A., Kulmyrzaev A., Iskakova J. Development of canned food technology using local plant raw materials // Eurasian Journal of Food Science and Technology. – 2022. – Vol. 5, No. 2. – P. 112–124.
16. Moldakarimov A., Iztayev A., Muslimov N. [et al.]. Determination of the optimal storage zone of functional beverages based on sprouted grain extracts using mathematical models // Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2024. – Vol. 18. – P. 1006–1027. – DOI: 10.5219/2028.
17. Liggins L.M.L. (ed.). Botanical Aspects of Fruit and Vegetable Crops. – London : Academic Press, 2022. – 412 p.
18. Patil K.W., Dutta S.K. (eds.). Fruits, Vegetables and Herbs: Cultivation and Post-Harvest Technologies. – New Delhi : Springer, 2020. – 538 p.
19. McDonald C.O. Postharvest Technology of Fruits and Vegetables. – New York : CRC Press, 2018. – 464 p.
20. Datta A.K., Singh K.K. Technology of Fruit and Vegetable Processing. – New Delhi: CBS Publishers, 2020. – 520 p.
21. Joshi V.K., Prasad S.K. (eds.). Processing of Fruits and Vegetables: Principles and Applications. – New York : John Wiley & Sons, 2019. – 632 p.
22. Rai S.N., Choudhary M.C. (eds.). Innovative Approaches in Food Processing Technologies. – Cham : Springer, 2021. – 486 p.
23. Kays F.A.C.R. Fruit and Vegetable Processing: Improving Quality. – Cambridge : Woodhead Publishing, 2022. – 448 p.
24. Kavitha S.R., Kumar R.N. Modern Techniques in Fruit and Vegetable Processing. – New York : Nova Science Publishers, 2018. – 390 p.
25. Journal of Food Processing and Preservation. – 2021–2023. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/17454549>. – Date of access: 01.09.2026.
26. Masterson A.K. Fruits and Vegetables: Processing, Packaging, and Quality. – New York : CRC Press, 2021. – 356 p.
27. Reddy C.G.R.R., Raghavan P.S. (eds.). Recent Advances in Fruit and Vegetable Processing. – Singapore : Springer, 2020. – 472 p.
28. Singhal P.R., Kaushik N.K. Food Processing Technologies: Principles and Practice. – New Delhi : New Age International, 2022. – 608 p.
29. Khatib M.S., Sharma S.K. (eds.). Vegetable and Fruit Processing: Recent Trends and Innovations. – Cham : Springer, 2023. – 414 p.
30. Muslimov N.Zh. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva plodovo-yagodnykh desertov i ovoshchnykh zakusochnykh konservov, obogashchennye natural'nyimi nutrientami i prirodnymi antioksidantami: otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote (promezhutochnyy): AP23483970 [Improvement of the technology for production of fruit and berry desserts and canned vegetable appetizers enriched with natural nutrients and natural antioxidants: interim research report: AP23483970] / ruk. N.Zh. Muslimov. – Taraz: MTII, 2025. – 98 p. – State registration No. 0124RK00548; Inv. No. 0325RK01417. [in Russian].