

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 637.03

**Костенко Константин Васильевич, Брацихин Андрей Александрович,
Салманова Динара Александровна, Лещенко Елена Геннадьевна**

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ МЕТОДОМ КАВИТАЦИОННОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ

В статье отражены результаты оптимизации процесса восстановления молочной сыворотки методом кавитационной дезинтеграции. Определены оптимальные режимы восстановления молочной сыворотки, необходимые для формирования высоких качественных свойств (активная кислотность, вязкость, активность воды, ОВП, плотность) растворов различной концентрации.

Ключевые слова: молочная сыворотка, восстановление, кавитационная дезинтеграция.

**Konstantin Kostenko, Andrey Bratsikhin, Dinara Salmanova,
Elena Leshchenko**
**REHYDRATING OF DRY WHEY OPTIMIZATION BY CAVITATION
DISINTEGRATION**

The article presents the results Rehydration of dry whey optimization by cavitation disintegration. Designate the optimal recovery modes of dry whey, required for the formation of high-quality properties (pH, viscosity, water activity, redox, density) solutions of different concentrations.

Key words: whey, rehydration, electroactivated water, cavitation disintegration.

Проблема восстановления молочной сыворотки была и остается актуальной на сегодняшний день в различных отраслях пищевой промышленности. В сухом виде сыворотка хранится гораздо дольше, чем в исходном, но процесс восстановления сыворотки на производстве является трудоемким и продолжительным. Обычно процесс восстановления сухой молочной сыворотки заключается в смешивании сухой сыворотки с водой в необходимой пропорции. Процесс восстановления сыворотки для обеспечения необходимого ее качества происходит в несколько этапов, при которых масса сухой сыворотки заливается только частью необходимой воды и выдерживается в течение несколько часов, далее объем доводят до необходимой концентрации. При выдержке происходит набухание белков, также происходит нормализация по плотности и вязкости. Данный метод восстановления сыворотки продолжителен и нетехнологичен. Помимо классического метода восстановления коллективом авторов описан и апробирован метод восстановления, при котором для повышения качества восстановления использовалась вода, обработанная ультразвуком. Установлено, что при использовании обработанной воды, формируются более стабильные растворы сухой молочной сыворотки, чем при классическом способе восстановления [7].

Стабильность растворов молочной сыворотки является определяющим фактором при их применении в различных технологических процессах, производстве молочных продуктов на их основе. Таким образом, разработка новых ресурсосберегающих технологий восстановления молочной сыворотки с целью ее использования для производства молочных продуктов является актуальной проблемой отрасли.

В рамках проводимого исследования изучена возможность применения кавитационной дезинтеграции как метода восстановления растворов молочной сыворотки различной концентрации. Целью исследования стало изучение процесса восстановления растворов молочной сыворотки различной концентрации методами кавитационной дезинтеграции и определение оптимальных режимов ее обработки.

Объектами экспериментальных исследований являлись восстановленные растворы сухой молочной сыворотки, полученные с использованием питьевой водопроводной воды. Используемая питьевая вода обладала $pH = 8,53-8,59$ ед., ОВП (96 ± 20) мВ. При исследовании использовалась сухая молочная сыворотка со степенью деминерализации 50 %, соответствующая ТУ 9229-001-82062396-2012. Данная сыворотка обладает следующими параметрами и характеристиками: пищевая ценность (содержание в 100 г): жира – 1,0 г; белка – 8,0 г; углеводов – 80,5 г.; энергетическая ценность 363 ккал; вкус и запах – чистый, сладкий, сывороточный; консистенция – тонкодисперсный порошок; цвет – белый со светло-желтым оттенком.

В работе применялся следующий порядок получения восстановленной сыворотки. Сухую молочную сыворотку предварительно растворяли в воде в соотношении, определяемом требуемой концентрацией раствора, – от 5 до 20 % сухой молочной сыворотки от объема раствора. Значения концентраций растворов были определены по результатам анализа рецептов молочных продуктов, вырабатываемых с применением сухой молочной сыворотки.

Полученные растворы подвергались обработке путем кавитационной дезинтеграции на ультразвуковом процессоре «Hielscher Ultrasound UP-400S» разной интенсивности и временной продолжительности. Ультразвуковой процессор имеет техническую возможность регулировать амплитуду ультразвуковой волны. При максимальной амплитуде возникает максимальная интенсивность. С учетом этого интенсивность регулировалась изменением амплитуды, которая задавалась аппаратно от 20 до 100 % с учетом технических характеристик аппарата.

Продолжительность обработки устанавливали в пределах от 10 до 90 с. Максимальная продолжительность обработки в 90 с обусловлена значительным повышением температуры обрабатываемой среды на 25–30 оС при максимальной интенсивности обработки, что нежелательно для обеспечения высоких качественных показателей восстановленной сыворотки. Кроме того, известно, что при нагревании молочной сыворотки до 50 °С начинается процесс агломерации глобул белка, обусловленный их денатурацией. Денатурированные белки, потеряв устойчивость, при 75–80 °С образуют хлопья, которые медленно оседают. Порог денатурации сывороточных белков находится на уровне 50–65 °С, а их видимая коагуляция наблюдается при 75–80 °С.

Основными исследуемыми параметрами восстановленных растворов молочной сыворотки являлись: активная кислотность (pH , ед.), окислительно-восстановительный потенциал (ОВП, мВ), вязкость (η , мПа), плотность (ρ , кг/м³) и активность воды (a_w , ед.)

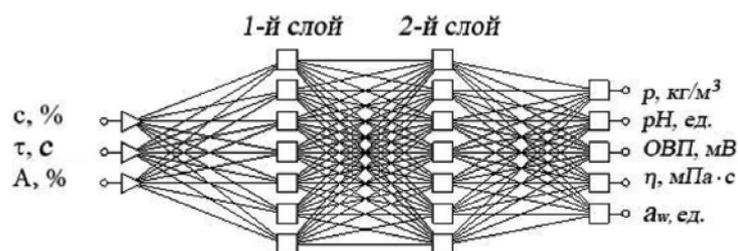


Рис. 1. Двухслойный перцептрон нейронной сети:

С – концентрация сухой сыворотки в растворе, %; τ – время обработки, с; А – интенсивность ультразвукового воздействия, %; ρ – плотность, кг/м³; pH – активная кислотность, ед.; ОВП – окислительно-восстановительный потенциал, мВ; η – вязкость, мПа·с; a_w – активность воды, ед.

При планировании и организации исследования применена методика трехфакторного эксперимента на основе греко-латинских квадратов с дальнейшей обработкой в программном комплексе Statistica 8.0. Для использования метода определены неповторяющиеся сочетания факторов, из которых составлена матрица эксперимента.

Полученные экспериментальные данные были обработаны при помощи построения нейросетевой модели с использованием программного продукта Statistica Neural Networks. Построенная нейросетевая модель представляет собой двухслойный перцептрон (рис. 1). При обучении нейросетевой модели был использован алгоритм обратного распространения. В последующем полученные данные по результатам обучения перцептрона были обработаны в программном комплексе Statistica 8.0.

Изучение влияния варьируемых факторов на формирование качественных свойств растворов восстановленной молочной сыворотки проводилось графоаналитическим методом путем построения тернарных графиков. Тернарные зависимости используются для исследования связей между несколькими переменными [3]. Применение графоаналитического метода позволяет учесть влияние трех основных параметров на исследуемые свойства растворов молочной сыворотки.

На рис. 2 представлено изменение показателя активной кислотности от различных соотношений варьируемых факторов, определяющих режимы кавитационной дезинтеграции раствора сыворотки.

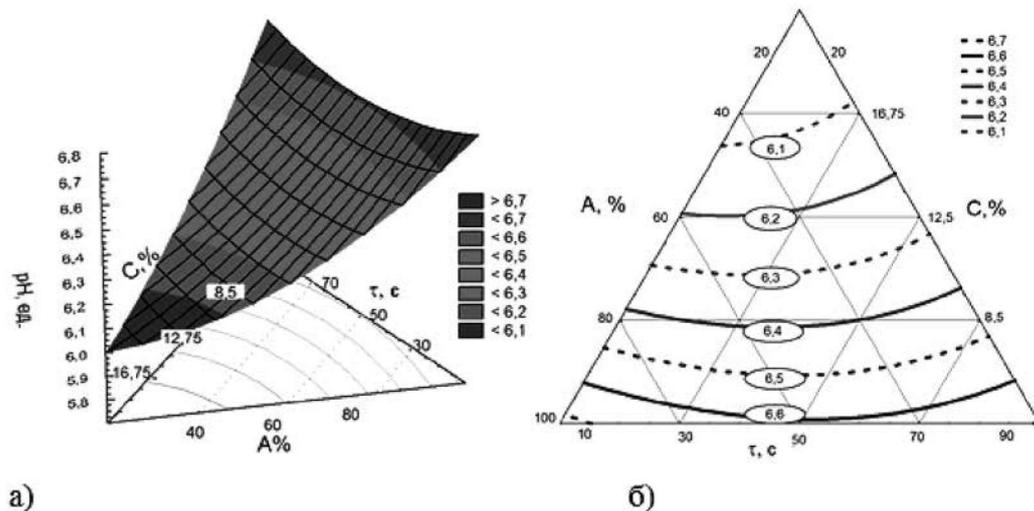


Рис. 2. Зависимость активной кислотности pH от технологических режимов обработки:
а) тернарная поверхность; б) изолинии сечения тернарной поверхности

При детальном анализе тернарной поверхности отмечается, что при увеличении количества вносимой сухой сыворотки снижается уровень активной кислотности восстановленной сыворотки с $\text{pH} = 6,7$ до $\text{pH} = 6,1$ ед. Это может быть обусловлено тем, что сыворотка по своей природе имеет более низкий собственный уровень активной кислотности и повышение её концентрации в растворе приводит к снижению показателя активной кислотности. Следует отметить незначительное снижение активной кислотности при увеличении времени обработки, особенно при наибольших значениях концентрации сухой сыворотки в растворе.

Зарубежными исследователями из Загребского университета Хорватии, А. Р. Жамбрак и Т. Д. Мейсон [1] установлено, что под воздействием кавитационной дезинтеграции происходит диссоциация молекул воды на ионы, а также возможны разрушения некоторых пептидных связей в белковых молекулах. Помимо этого исследователи установили, что ультразвуковая обработка концентратов молочной сыворотки приводит к частичным разрывам межмолекулярных гидрофобных взаимодействий. Ввиду этого происходящие изменения предположительно могут влиять на значения активной кислотности.

Рассматривая тернарную поверхность отклика активной кислотности можно выделить сочетания факторов, при которых формируются минимальные и максимальные значения активной кислотности. Минимальное значение активной кислотности при обработке возникает при высокой concentra-

ции раствора молочной сыворотки и при интенсивной и продолжительной обработке. Максимальные значения активной кислотности формируются при противоположных условиях, то есть при низких концентрациях растворов молочной сыворотки и при менее интенсивной непродолжительной обработке.

Оптимальным сочетанием факторов кавитационной дезинтеграции для формирования технологически приемлемого показателя рН будет являться: концентрация сухой молочной сыворотки более 15 % от массы раствора, интенсивность обработки – 100 % от технической возможности используемого ультразвукового процессора Hielscher UP400S, мощностью 400 Вт и частотой колебаний 24 кГц, время обработки от 30 до 50 с.

Активность воды является значимым показателем при разработке технологических процессов и при производстве продуктов питания. По величине показателя активности воды возможно судить о качестве и предположительном сроке хранения пищевой продукции или сырья. При снижении значения активности воды снижается вероятность использования влаги микроорганизмами для своего метаболизма и повышаются сроки хранения продукта [4]. По величине показателя активности воды можно судить о связи компонентов в продукции и судить о её стабильности: чем меньше свободной влаги, тем стабильней продукция. При увеличении активности воды вода становится более мобильной, что влияет на молекулярную стабильность продукта, а также на скорости реакций (химических и энзимных).

Полученная тернарная поверхность и изолинии её сечений изменения показателя активности воды восстановленной сыворотки показаны на рис. 3.

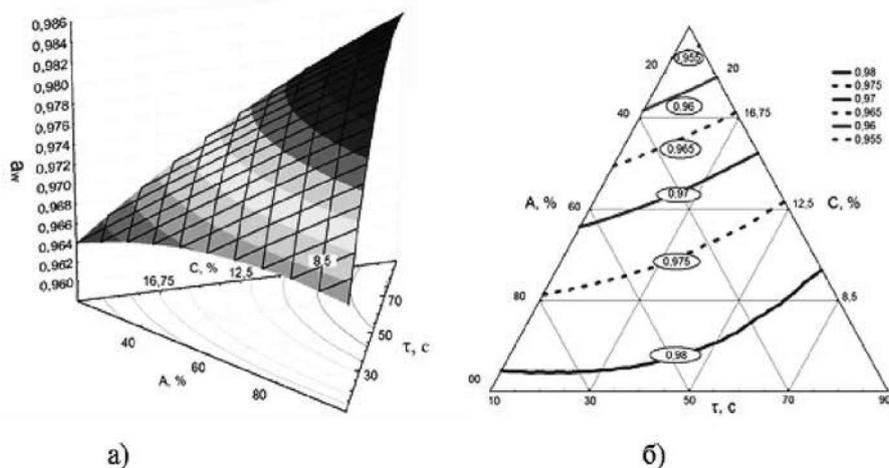


Рис. 3. Динамика изменения показателя активности воды:
а) тернарная поверхность; б) изолинии сечения поверхности

При увеличении концентрации вносимой сухой сыворотки снижается показатель активности воды (рис. 3). Такая динамика может быть связана с тем, что под действием ультразвуковой обработки создаются благоприятные условия для «связывания» свободной влаги с сухой молочной сывороткой. Об этом свидетельствует и тот факт, что при увеличении интенсивности обработки ультразвуком также происходит снижение активности воды. Результаты анализа тернарных графиков активности воды позволяют сделать вывод, что оптимальные значения показателя активности воды формируются при концентрации вносимой сыворотки свыше 15 % от массы раствора с интенсивностью обработки, равной 100 %, а оптимальное время обработки будет варьироваться от 30 до 50 с.

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП, рис. 4) является косвенным показателем химической активности элементов и соединений в химических процессах, связанных с изменением зарядов ионов в растворах.

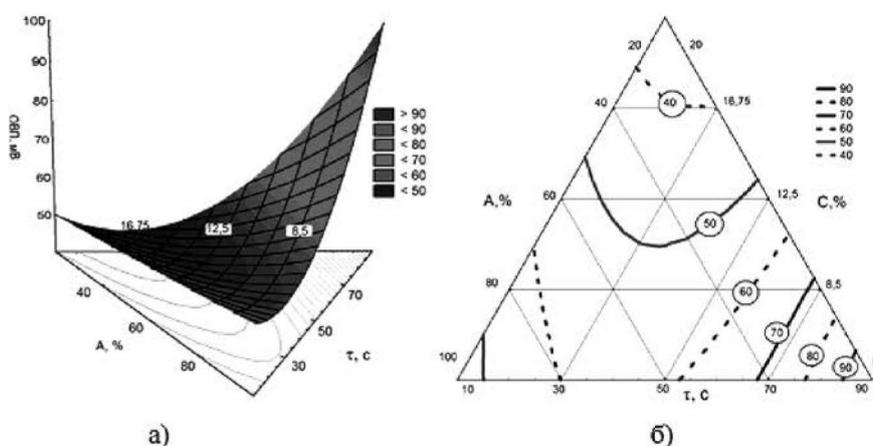


Рис. 4. Зависимость окислительно-восстановительного потенциала от концентрации сыворотки: а) тернарная поверхность; б) изолинии сечения поверхности

Анализируя изменение показателя ОВП (рис. 4), следует отметить, что при повышении количества вносимой сыворотки значение ОВП снижается. В то же время при достижении концентрации сыворотки в растворах в пределах 16–17 % и при увеличении времени обработки происходит незначительное повышение окислительно-восстановительного потенциала.

Аналогичным образом были получены тернарные поверхности изменения основных физических свойств растворов молочной сыворотки – плотности и вязкости (рис. 5 и 6). Данные свойства, как правило, зависят от количества вносимой в раствор сухой сыворотки: чем выше его концентрация, тем выше значение плотности и вязкости раствора. Стоит отметить, что с увеличением времени обработки и интенсивности ультразвуковой волны увеличивается значение плотности и вязкости. Этот факт наиболее интересен с технологической точки зрения, так как он может быть обусловлен тем, что при ультразвуковой обработке происходит изменение структурно-механических свойств раствора за счет интенсивного перемешивания компонентов при кавитационной дезинтеграции. Кроме того, благодаря возникающим явлениям кавитации повышается связь компонентов раствора за счет возрастания растворимости [2, 6, 7].

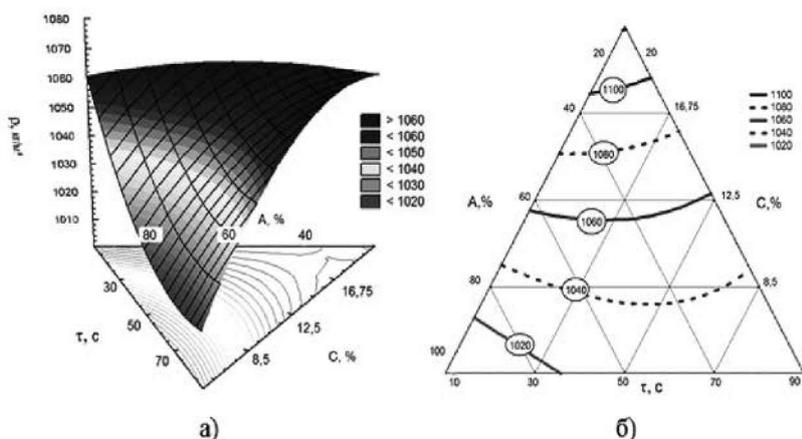


Рис. 5. Изменение плотности раствора молочной сыворотки в зависимости от концентрации раствора, интенсивности и времени обработки: а) тернарная поверхность; б) изолинии сечения поверхности

Проанализировав зависимости изменения плотности и вязкости растворов восстановленной сыворотки, можно сделать вывод, что при максимальной интенсивности ультразвуковой обработки и длительности воздействия от 30 с повышается плотность и вязкость растворов при одном и том же количестве вносимого сухого вещества.

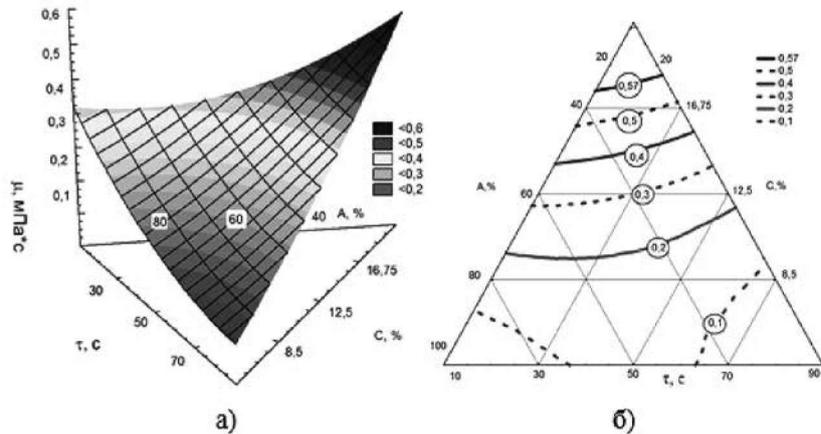


Рис. 6. Изменение вязкости раствора молочной сыворотки в зависимости от концентрации раствора, интенсивности и времени обработки:
а) тернарная поверхность; б) изолинии сечения поверхности

По итогам анализа всех полученных зависимостей установлено, что оптимальными режимами для восстановления растворов сухой молочной сыворотки методом кавитационной дезинтеграции являются режимы обработки при максимальной интенсивности и продолжительности воздействия от 30 до 50 с и концентрации от 15 до 17 %. Таким образом, формируется раствор высокой стабильности и качества. Полученные растворы при данной концентрации сохраняли свои свойства и однородность в течение 12 часов. Также следует отметить, что при данных режимах за счет низких получаемых значений активности воды и ОВП формируются неблагоприятные условия для развития патогенной микрофлоры.

Одним из рациональных путей использования полученных растворов сухой молочной сыворотки является их применение в качестве основы молочных десертов. Это связано с тем, что установленная оптимальная концентрация находится в пределах 15–17 % СМС, этим значениям соответствуют в большей степени молочные десертные продукты, в основе которых используется молочная сыворотка.

Кроме этого, маркетинговые исследования за последние годы показали, что молочные десерты стали одним из популярных продуктов на отечественном рынке, их потребляют уже около 80 % населения. Молочные десерты не имеют сезонности продаж в отличие от молочных сокодержавящих напитков и мороженого. Вследствие этого молочные десерты являются экономически привлекательными для производства [5].

Современная тенденция в производстве молочных десертов связана с применением в их рецептуре молочной сыворотки. В среднем в рецептурах десертов содержится 15–70 % молочной сыворотки. Применение сыворотки при производстве десертов обусловлено тем, что сыворотка позволяет значительно снизить себестоимость готового продукта, десерты из молочной сыворотки обладают повышенной биологической ценностью, и в то же время они являются диетическим, низкокалорийным продуктом.

Литература

1. Anet Rez'ek Jambrak Timothy J. Mason Effect of ultrasound treatment on particle size and molecular weight of whey proteins // Journal of Food Engineering. Elsevier, 2014.
2. Onda Corporation Acoustic and Ultrasound Testing Products and Services [Электронный ресурс] // Electronic data, 2001. URL: <http://www.ondacorp.com>.

3. Statsoft [Электронный ресурс] // Онлайн руководство STATISTICA. URL: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/glossary>.
4. Грошева В. Н. Исследование активности воды в кислородсодержащих продуктах с пищевыми волокнами // Современные проблемы науки и образования. Ч. 2. М.: Изд. дом «Академия Естествознания», 2014.
5. Михнева В. А., Володин Д. Н., Головкина М. В. Десерты на основе молочной сыворотки – новые перспективы // Переработка молока. 2012. № 12.
6. Шестаков С. Д. Основы технологии кавитационной дезинтеграции. М.: Ева-Пресс, 2001.
7. Артемова Я. А. Разработка технологии и товароведная оценка качества молочных напитков, полученных с применением сонохимической водоподготовки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2011.

УДК 616:314-089.28/.29:616.716.8 (083.3)

**Лола Донат Владимирович, Майборода Юрий Николаевич,
Назаров Антон Сергеевич**

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЗУБНЫХ РЯДОВ В ПОЛНЫХ СЪЕМНЫХ ПРОТЕЗАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СТЕПЕНЯХ АТРОФИИ АЛЬВЕОЛЯРНЫХ ОТРОСТКОВ БЕЗЗУБЫХ ЧЕЛЮСТЕЙ

В статье на основании математических расчетов рассматриваются принципы конструирования искусственных зубных рядов в полных съемных протезах на фоне неравномерных степеней атрофии альвеолярных отростков беззубых челюстей. Представлены также четыре наиболее часто встречающихся в клинике вариации степеней атрофии челюстей и соответствующие им различные сагитальные и трансверсальные формы зубных дуг и углы их наклона по отношению к средним межальвеолярным линиям.

Ключевые слова: математическая модель, альвеолярные отростки, беззубые челюсти, неравномерная атрофия.

Donat Lola, Yuri Majboroda, Anton Nazarov
**MATH BACKGROUND CONSTRUCTION DENTITION IN FULL
DENTURES IN DIFFERENT DEGREE OF ATROPHY OF THE ALVEOLAR PROCESS
OF EDENTULOUS JAWS**

Based on mathematical calculations considered design principles of artificial dentition in the complete dentures on the background of non-uniform degree of atrophy alveolar ridges of edentulous jaws. We consider the four most commonly used in the clinic variation degree of atrophy of the jaws and thus their different sagittal and transversal form of the dental arches and the angles of inclination relative to the average between the alveolar lines.

Key words: mathematical model, alveolar bone, toothless jaws, uneven atrophy.

Изготовление съемных протезов при полном отсутствии зубов по-прежнему является наиболее популярным видом ортопедической помощи, особенно лицам пожилого и старческого возраста. Атрофические процессы, происходящие в челюстях, часто приводят к таким неблагоприятным клиническим условиям в полости рта, при которых не всегда возможна реабилитация данной группы пациентов общепринятыми методами протезирования [5, 9, 13, 17, 22].

Считается, что наиболее перспективным методом протезирования при полной потере зубов является использование 1–2 имплантатов для улучшения фиксации и стабилизации полного съемного протеза. Предложены многочисленные конструкции и принципы фиксации протезов на имплантатах