

УДК 664.6/.7

UDC 664.6/.7

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**СОВРЕМЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ В  
ОБЛАСТИ СВЕРХТОНКОГО  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН**

**MODERN DEVELOPMENTS IN THE FIELD  
OF SUPERTHIN CRUSHING OF FOOD  
FIBRES**

Пломодьяло Роман Леонидович  
к.т.н.  
РИНЦ SPIN-код: 6847-1279  
Scopus ID= 56188575500  
sutk\_kubstu@mail.ru

Plomodyalo Roman Leonidovich  
Cand.Tech.Sci.  
RSCI SPIN-code: 6847-1279  
Scopus ID= 56188575500  
sutk\_kubstu@mail.ru

Тарасенко Наталья Александровна  
к.т.н.  
РИНЦ SPIN-код: 6087-6971  
Scopus ID= 55927376900  
WoS ResearcherID=R-4318-2016  
natagafonova@mail.ru  
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
технологический университет», г. Краснодар,  
Россия, 350072, ул. Московская 2*

Tarasenko Natalya Aleksandrovna  
Cand.Tech.Sci.  
RSCI SPIN-code: 6087-6971  
Scopus ID=55927376900  
WoS ResearcherID=R-4318-2016  
natagafonova@mail.ru  
*Kuban State University of Technology, Krasnodar,  
Russia*

В работе проанализированы многочисленные литературные источники и обобщен материал по свекловичным пищевым волокнам. Изучен их состав, физико-химические, физико-механические и гигротермические свойства. Изучение фракционного состава показало, что во всех образцах содержание нерастворимых фракций превышает содержание растворимых фракций. Актуальным также является использование вторичных продуктов переработки растительного сырья, которые позволяют повысить профилактические свойства изделий и обогатить их пищевыми волокнами и белком, минеральными элементами. Свойство и качество исходного сырья во многом определяется и зависит от его гранулометрического состава, т.е. размера частиц составляющих данный объект. Авторами определен гранулометрический состав исследуемых пищевых добавок. Установлено, что использование комбинаций ударных воздействий в сочетании с истирающим приводит к интенсификации процесса, снижению времени помола и равномерности получаемого гранулометрического состава. Экспериментально обоснован выбор в качестве помольного оборудования вертикальной мельницы в сочетании с засыпанными в нее металлическими шарами для повышения эффективности помола и равномерности гранулометрического состава свекловичных волокон

In this work, we have analyzed the multiple literary sources and summarized the material regarding beet dietary fibers. Their composition, physicochemical, physicomachanical and hygrothermal properties were studied. The study of the particle-size distribution showed that the content of the insoluble fraction exceeded the content of the soluble fractions in all the samples. The use of the secondary products of processing of the plant raw material is also critical; they allow improving the preventive properties of products and enriching them with dietary fibers, protein, and mineral elements. The properties and quality of the raw material are, to the large extent, determined by and depend upon its granulometric composition, that is, upon the size of particles that compose this object. The authors determined the granulometric composition of the studied nutritional supplements. It was found out that the use of the combination of the impacts together with the abrading impact led to the intensification of the process, a decrease in the milling time and the uniformity of the obtained granulometric composition. The choice of the vertical mill as milling equipment in combination with the metal balls added to it to increase the efficiency of milling and uniformity of the granulometric composition of beetroot fibers was proved experimentally

Ключевые слова: ПИЩЕВЫЕ ВОЛОКНА,  
СОСТАВ, СВОЙСТВА, ПОМОЛ,  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ, МЕЛЬНИЦА

Keywords: DIETARY FIBERS, COMPOSITION,  
PROPERTIES, MILLING, CRUSHING, MILL

**Doi: 10.21515/1990-4665-130-073**

В последнее время широко применяют пищевые добавки и улучшители из растительного сырья, в основном местного происхождения. Обогащение кондитерских изделий натуральными растительными продуктами имеет несомненные преимущества перед использованием с этой целью химических препаратов и смесей, поскольку во всех натуральных продуктах соли, витамины и белки находятся в естественных отношениях и в виде природных соединений. Таким образом, важными достоинствами натуральных продуктов являются комплексность их химического состава и, следовательно, возможность с их помощью осуществлять обогащение муки и других составляющих кондитерских изделий одновременно белками, минеральными веществами и пищевыми волокнами [1-2].

Преимущество использования в качестве источника пищевых волокон вторичные продукты переработки растительного сырья заключается в том, что наряду с обогащением пищевыми волокнами пищевая ценность продукта дополняется минеральными веществами и витаминами. А это можно рассматривать как компенсацию потерь тех минеральных веществ и витаминов, которые могут быть связаны в кишечнике нерастворимыми пищевыми волокнами и выведены из организма [3].

Примером препарата клетчатки отечественного производства являются свекловичные волокна. Это вторичный продукт сахарного производства, представляющий собой сахарную стружку, измельченную до гранул размером 2-3 мм, отличительной особенностью которого является высокое содержание пектина, клетчатки и целлюлозы. Содержание пищевых волокон в этой клетчатке не менее 70 %. Свекловичные волокна рекомендованы при производстве вареных колбасных изделий, паштетов и консервов на стадии фаршесоставления в

гидратированном виде (1:5) в количестве до 10 % к массе сырья. Их использование, помимо обогащения системы неперевариваемыми волокнами, способствует повышению водосвязывающей способности фарша и, как следствие, увеличению выхода готового продукта в среднем на 5 %. Пищевые волокна сахарной свеклы характеризуются относительно плохой перевариваемостью в пищеварительном тракте человека, что позволяет предположить возможность транзита адсорбированных ими ионов тяжелых металлов. Установлено [4], что пищевые волокна сахарной свеклы способны в пищеварительном тракте к взаимодействию с инкорпорированными тяжелыми металлами с образованием нерастворимых солей, которые выводятся из организма. Известно также благотворное влияние на моторную функцию кишечника, уровень холестерина в крови и др. [5].

Целью работы явилось изучение свекловичных пищевых волокон, их состава, физико-химических, физико-механических и гигротермических свойств.

Объектами исследования являлись осветленные и неосветленные свекловичные волокна, являющиеся вторичным продуктом при производстве сахара и производятся из побочного продукта свеклосахарного производства – свекловичного жома.

Для обоснования их применения в технологии кондитерских изделий была проведена органолептическая оценка и изучены физико-химические показатели качества этих пищевых волокон.

Органолептическая оценка пищевых волокон выявила, что неосветленные свекловичные волокна имеют чистый, нейтральный вкус, без посторонних запахов, следовательно, способны удерживать и подчеркивать вкус и запах других рецептурных компонентов и вносимых добавок, расширяя тем самым, вкусовые ощущения продукта. Осветленные свекловичные волокна имеют слабовыраженный кисловатый

вкус, что может в большей или меньшей степени сказываться на вкусовых свойствах готовых изделий. Все образцы отличаются друг от друга размером частиц, что определяет насыпной вес продукта, а также степень белизны.

Поскольку пищевые волокна состоят из клеточных стенок сырья, из которого они получены, то они имеют различный состав, т.е. содержат комплекс нерастворимых и растворимых фракций. Изучение фракционного состава показало (таблица 1), что во всех образцах содержание нерастворимых фракций превышает содержание растворимых фракций.

Таблица 1 – ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН

Показатели	Наименование пищевых волокон	
	Неосветленные свекловичные волокна	Осветленные свекловичные волокна
Содержание пищевых волокон, %	79	75
Из них фракции:		
нерастворимые	73,4	69,1
растворимые	5,6	5,9
Массовая доля, %		
Целлюлоза	21	20
Геммицеллюлоза	30	27
Пектин	22	20
Лигнин	7	7

Что касается нерастворимого в обычных условиях пектин-целлюлозного комплекса, то он распадается под действием ферментов желудочного сока на пектин и целлюлозу, причем пектин при этом адсорбирует, удерживает и выводит из организма человека тяжелые и токсичные элементы, радионуклиды, понижает уровень сахара в крови диабетиков, способствует уничтожению гнилостной микрофлоры кишечника. А его содержание в неосветленных свекловичных волокнах в 2 раза больше, чем в осветленных.

Исследуемые ПВ получены по различным технологиям, в связи с этим их химический состав может значительно отличаться. Результаты

исследования химического состава исследуемых пищевых волокон представлены в таблице 2.

Таблица 2 – ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН

Показатели	Наименование пищевых волокон	
	Неосветленные свекловичные волокна	Осветленные свекловичные волокна
Массовая доля, %		
влаги	10	10
белков	10	7
углеводов, в т.ч.	75	78
пищевых волокон	71,8	68,2
минеральных веществ	5	5

Анализ результатов таблиц 1-2 показал, что органолептические и физико-химические показатели качества пищевых волокон позволяют использовать их в качестве ингредиентов при производстве кондитерских изделий.

Поскольку они готовятся смешиванием сырья, то степень их дисперсности будет в значительной степени зависеть от однородности используемого сырья. Свойство и качество исходного сырья во многом определяется и зависит от его гранулометрического состава, т.е. размера частиц составляющих данный объект. Поэтому представляло практический интерес определение гранулометрического состава исследуемых пищевых волокон.

Поскольку дисперсность основного сырья мучных кондитерских изделий существенно влияет на процесс тестообразования и структурно-механические свойства теста, считали целесообразным определить гранулометрический состав исследуемых пищевых добавок.

В настоящее время широко в технологических режимах подготовки сырья используются следующие машины для тонкого измельчения (циклонная мельница, центробежная мельница, крестовая ударная мельница и др.).

Результаты определения гранулометрического состава, полученные для функциональных добавок, измельченных в циклонной мельнице показали, что неосветленные свекловичные волокна достаточно однородны, по сравнению с осветленными свекловичными волокнами, 83% приходится на долю частиц двух фракций размером 15...20 мкм и 25...30 мкм, при этом фракция размером <10 мкм составляет только 4%, а крупная фракция более 35 мкм незначительна – 0,5%.

Осветленные свекловичные волокна имеют достаточно высокую степень измельчения, наиболее весомой является фракция с размером частиц 10...15 мкм. Частицы размером 20...25 мкм также присутствуют и составляют около 28% от общего количества частиц. Проведенные исследования позволили сделать вывод о разнородности гранулометрического состава функциональных добавок, что, несомненно, оказывает влияние на их способность поглощать и удерживать влагу и жир.

Установлено, что волокна имеют значительную дисперсность, что в итоге негативно отражается на качестве готовых изделий, так как снижаются их структурно-механические показатели, в частности, пористость, удельный объем, высота подъема. Можно предположить что такой показатель, как низкая дисперсность положительно влияет на показатели качества готовых изделий, так как существенных различий между мукой, сырьем, подлежащей частичной замене, и исследуемой добавкой при замесе и выпечке не возникает.

Таким образом, необходимо получать и контролировать равномерность гранулометрического состава функциональных добавок. В настоящее время трудно найти современное направление развития науки и техники, которое бы не было связано с процессами помола и измельчения. В настоящее время имеется множество работ в различных отраслях – сельском хозяйстве, пищевой промышленности, машиностроении,

медицине и др., которые посвящены получению различных материалов с равномерным распределением частиц по размеру, объему, кристаллическому состоянию и свойствам на основе теоретического изучения состояния твердого вещества, влияния локальной температуры, давления, трения, удара при контакте измельчаемого материала и узлов оборудования.

На основе теоретического изучения энергетических процессов, происходящих при помоле, работа поверхностного деформирования и разрушения частиц зависят от размеров частиц и пропорциональны площади поверхности. На основе этого известна зависимость, определяющая затраты энергии при условии объемного характера разрушения (получения новых поверхностей) частиц [6,7]:

$$de = \frac{3\alpha_2}{\alpha_1} l \frac{dS}{S} + \left( \frac{3\alpha_2 \beta l - \gamma}{\alpha_1} + \sigma \right) dS - \frac{\alpha_2 \beta l^2}{4\alpha_2} S dS,$$

где  $e$  – энергия на совершение работы по определенному упругому деформированию,  $e = p^2/2E$ ;

$\alpha_1$  - коэффициент площади частицы;

$\alpha_2$  - коэффициент объема частицы;

$l$  – толщина слоя, в котором совершается пластическая деформация,  $l = 100^\circ A$ ;

$S$  – удельная поверхность измельчаемого материала;

$\beta$  - плотность энергии пластических деформаций, предшествующих хрупкому разрушению,  $\beta = \frac{\tau^2}{2E}$ ;

$\gamma$  - поверхностная плотность работы или трения и энергии образования и разрушения частиц,  $\gamma = f(f_r)$ ;

$\sigma$  – свободная энергия единицы поверхности.

В данном уравнении зависимости измельчения первое слагаемое определяет затраты энергии на объемное деформирование твердого тела по закону Кирпичева–Кика, второе – затраты энергии на неупругие деформации, работу или трение, третье учитывает изменение объема области пластических деформаций при изменении размеров измельченных частиц.

Для получения равномерного гранулометрического состава использовали лабораторную вертикальную мельницу (рисунок 1).

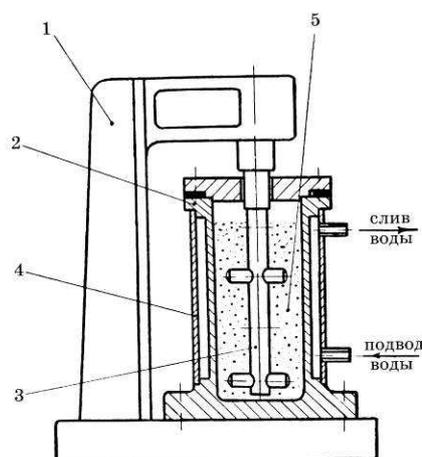


Рисунок 1 – Схема вертикальной мельницы:

1 – основание, 2 – рабочая камера; 3 – мешалка с поперечными стержнями; 4 – полость водяного охлаждения, 5 – функциональные добавки

Для увеличения скорости и интенсивности размола, а также получения равномерности гранулометрического состава в вертикальную мельницу совместно с функциональными добавками засыпались металлические твердосплавные шары [8-9]. В результате мы получили не только истирающее воздействие на частицы функциональных добавок, но и различные комбинации ударного воздействия - в процессе вращения вертикальной мешалки происходит соударение на границе: «мешалка мельницы – функциональная добавка – металлический шар», «стенка

рабочей камеры - функциональная добавка – металлический шар», «металлический шар - функциональная добавка – металлический шар» (рисунок 2).

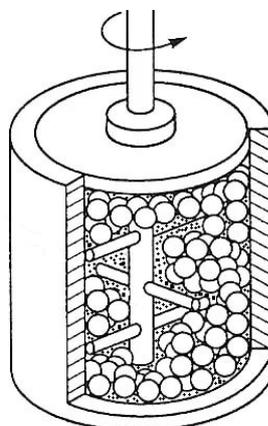


Рисунок 2 – Схема вертикальной мельницы с металлическими шарами и функциональными добавками

Использование комбинаций ударных воздействий в сочетании с истирающим привело к интенсификации процесса, снижению времени помола и равномерности получаемого гранулометрического состава (см. рисунок 3).

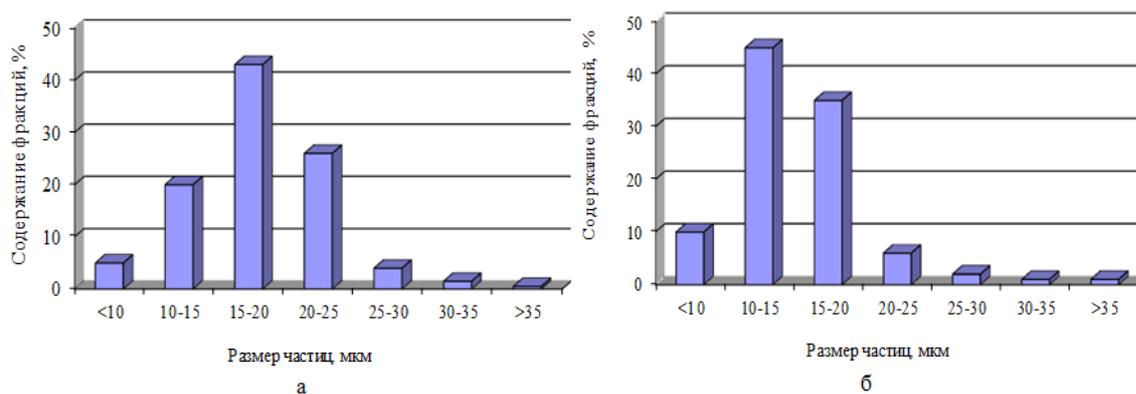


Рисунок 3 – Гистограмм гранулометрического состава пищевых волокон после размола в вертикальной мельнице с металлическими шарами:

а - неосветленных свекловичных волокон;

б – осветленных свекловичных волокон.

Основными функционально – технологическими свойствами пищевых продуктов является водо- и жиросвязывающая, влагоудерживающая способности и набухаемость.

Исходя из вышесказанного, были изучены эти функционально - технологические свойства исследуемых пищевых волокон.

Набухание не всегда заканчивается растворением и как первый этап процесса растворения, характерно для многих высокомолекулярных соединений. Причиной набухания является диффузия молекул воды в высокомолекулярное вещество.

Для оценки меры набухания исследуемых пищевых волокон пользовались величиной водоудерживающей способности, которая показывает, какое максимальное количество воды объект может поглотить и удержать до наступления динамического равновесия.

Результаты исследований технологических свойств показали, что наименьшей водоудерживающей способностью обладают осветленные свекловичные волокна 550 против 650 у неосветленных, что вероятнее всего, связано с более высоким содержанием в осветленных свекловичных волокнах растворимого пектина, так как растворимый пектин переходит в жидкую фракцию, уменьшая объем гидратирующей массы.

Известно, что размер частиц находится в прямой зависимости от их удельной поверхности. То есть, чем мельче частицы в образце, тем больше поверхность соприкосновения с водой, и тем быстрее поглощается влага.

Сравнительный анализ пищевых волокон, позволяет сделать вывод о целесообразности использования в производстве кондитерских изделий функционального назначения неосветленных свекловичных волокон, которые являются богатым источником белка и пектин – целлюлозного комплекса.

Сравнительный анализ методов и средств помола свекловичных волокон позволяет сделать вывод о целесообразности использования

высокоэффективного помольного оборудования, способного сочетать многочисленные комбинации ударного и истирающих воздействий.

Установлено, что неосветленные свекловичные волокна имеют высокое содержание балластных веществ (79%), в составе которых в значительном количестве содержится гемицеллюлоза (38%) и пектин (27,8%), что позволяет использовать их в качестве функционального ингредиента.

Экспериментально обоснован выбор в качестве помольного оборудования вертикальной мельницы в сочетании с засыпанными в нее металлическими шарами для повышения эффективности помола и равномерности гранулометрического состава свекловичных волокон.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-4970.2016.11) по теме “Исследование биохимической микроструктуры растительных пищевых волокон для создания профилактических кондитерских изделий с использованием современных методов нутриметаболики”.

#### Список литературы

1. Мельникова Е.И. Разработка технологии творага, обогащенного пшеничными пищевыми волокнами / Е.И. Мельникова, Е.С. Скрыльникова, Е.С. Рудниченко // Пищевая технология. Известия высших учебных заведений. 2012. № 4. С.52-53.
2. Костина В.В. Функциональные олигосахариды на основе лактозы, сахарозы и растительных полисахаридов: характеристика, способы получения и перспективы / В.В. Костина, И.А. Евдокимов, М.И. Шрамко // Вестник Северо – Кавказского гос. техн-го унив. 2011. № 3 (28). С. 99-103.
3. Тарасенко Н.А. Пищевые волокна из растительного сырья и особенности их применения / Н.А. Тарасенко, Ю.Н. Никонович // Пищевая технология. Известия высших учебных заведений. 2014. № 5-6. С. 6-9.
4. Сорбционные свойства пищевых волокон сахарной свеклы. Модельные эксперименты / Л.Э. Глаголева, Н.С. Родионова, С.Н. Гисак [и др.] // Вопросы о питании. 2010. № 4. Том 79. С. 35-38.
5. Tarasenko N.A., Krasina I.B. Developing procedures and recipes of dietary wafers with stevioside. European Journal of Physical and Health Education, 6, art. no. BM-009-14, 2014 г. 2-s2.0-84907694645

6. Паладеева Н.И. Современный рынок дробильно-размольного оборудования России и стран СНГ/ Н.И. Паладеева, А.Д. Табарин // Горные машины и автоматика. 2004. № 3.

7. Ошкордин О.В. Использование органических полимеров в технологических процессах пищевых производств / О.В. Ошкордин, Л.Ю. Лаврова, Г.А. Усов // Известия УРГЭУ 4(30), 2010г. С. 158-164.

8. Pavligo T.M. Milling of carbide-steel powder components and their mixtures in an attrition mill / L.G. Plomodyalo, R.L. Plomodyalo, L.I. Svistun // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. - 2004. - Т. 43. - № 5-6. - С. 223.

9. Пломодьяло, Р.Л. Получение износостойкой порошковой карбидостали на основе быстрорежущей стали и карбида титана методом горячей штамповки [Текст]: дис... канд. техн. наук / Пломодьяло Роман Леонидович. - Краснодар, 2008. - 203 с.

### References

1. Mel'nikova E.I. Razrabotka tehnologii tvoroga, obogashhennogo pshenichnymi pishhevymi voloknami / E.I. Mel'nikova, E.S. Skryl'nikova, E.S. Rudnichenko // Pishhevaja tehnologija. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. 2012. № 4. S.52-53.

2. Kostina V.V. Funkcional'nye oligosaharidy na osnove laktozy, saharozy i rastitel'nyh polisaharidov: harakteristika, sposoby poluchenija i perspektivy / V.V. Kostina, I.A. Evdokimov, M.I. Shramko // Vestnik Severo – Kavkazskogo gos. tehn-go univ. 2011. № 3 (28). S. 99-103.

3. Tarasenko N.A. Pishhevye volokna iz rastitel'nogo syr'ja i osobennosti ih primenenija / N.A. Tarasenko, Ju.N. Nikonovich // Pishhevaja tehnologija. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. 2014. № 5-6. S. 6-9.

4. Sorbcionnye svojstva pishhevych volokon saharnoj svekly. Model'nye jeksperimenty / L.Je. Glagoleva, N.S. Rodionova, S.N. Gisak [i dr.] // Voprosy o pitanii. 2010. № 4. Tom 79. S. 35-38.

5. Tarasenko N.A., Krasina I.B. Developing procedures and recipes of dietary wafers with stevioside. European Journal of Physical and Health Education, 6, art. no. BM-009-14, 2014 g. 2-s2.0-84907694645

6. Paladeeva N.I. Sovremennyj rynek drobil'no-razmol'nogo obo-rudovanija Rossii i stran SNG/ N.I. Paladeeva, A.D. Tabarin // Gornye mashiny i avtomatika. 2004. № 3.

7. Oshkordin O.V. Ispol'zovanie organicheskikh polimerov v tehnologicheskikh processah pishhevych proizvodstv / O.V. Oshkordin, L.Ju. Lavrova, G.A. Usov // Izvestija URGJeU 4(30), 2010g. S. 158-164.

8. Pavligo T.M. Milling of carbide-steel powder components and their mixtures in an attrition mill / L.G. Plomodyalo, R.L. Plomodyalo, L.I. Svistun // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. - 2004. - Т. 43. - № 5-6. - S. 223.

9. Plomod'jalo, R.L. Poluchenie iznosostojkoj poroshkovej karbidostali na osnove bystrorezhushhej stali i karbida titana metodom gorjachej shtampovki [Текст]: дис... канд. техн. наук / Plomod'jalo Роман Леонидович. - Краснодар, 2008. - 203 с.