

# Підвищення харчової цінності сухого бурякового жому механоактивуванням

**Г.О. Сімахіна**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології оздоровчих продуктів, Національний університет харчових технологій

*Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено ряд позитивних хімічних змін, які відбуваються з біокомпонентами сухого жому цукрового буряку при його диспергуванні у дезінтеграторах. Використання методів механохімії та механоактивування викликає часткову деградацію високополімерів харчової клітковини жому, підвищуючи харчову цінність її біокомпонентів та ступінь засвоєння живим організмом.*

**Ключові слова:** сухий буряковий жом, харчова клітковина, диспергування, механохімія, високополімери, дезінтегратор, моносахариди.

*Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден ряд положительных химических изменений, происходящих с биоконпонентами сухого жома сахарной свеклы при его диспергировании в дезинтеграторах. Применение методов механохимии и механоактивирования вызывает частичную дегградацию высокополимеров пищевой клетчатки жома, повышая пищевую ценность ее биоконпонентов и степень усвоения живым организмом.*

**Ключевые слова:** сухой свекловичный жом, пищевая клетчатка, диспергирование, механохимия, высокополимеры, дезинтегратор, моносахариды.

*The sequence of positive chemical changes in dry beet oilcakes during their dispersion in disintegrators has been theoretically proved and experimentally confirmed in this article. The author showed that the usage of mechanochemical and mechanoactivation methods in disintegration leads to partial degradation of food cellulose high-polymers in oilcakes, which would raise the nutritional value of its components and therefore increase the grade of its absorption by live organism.*

**Keywords:** dry beet oilcakes food cellulose, dispersion, mechanical chemistry, high-polymers, disintegrators, monosaccharide.

У сучасних умовах запорукою здоров'я людини стало не лише повноцінне харчування, а і його профілактичні та оздоровчі функції, які значною мірою визначаються ступенем виведення токсикантів (радіонуклідів, солей важких металів тощо) харчовими волокнами продуктів, регулюванням фізіологічних і біохімічних процесів у органах травлення, підвищеною біодоступністю та засвоюваністю нутрієнтів. Саме до такої групи речовин відносяться харчові волокна і нові композиції на їхній основі, які отримано в результаті виконання наукових досліджень у Національному університеті харчових технологій.

Пошук нових джерел харчових волокон інтенсивно триває, як і створення нових продуктів з яскраво вираженою протекторною дією. З цієї точки зору вели-

кий інтерес представляє побічний продукт бурякоцукрового виробництва – жом. Відомо, що у свіжому жомі міститься 6...8 % сухих речовин. А в 100 кг сухих речовин жому міститься близько 20 кг клітковини, 30...35 кг геміцелюлози і стільки ж пектину, 8...10 кг білків, 2...3 кг цукру і близько 2 кг мінеральних речовин. Тобто, ця вторинна сировина є привабливим природним джерелом отримання харчових волокон та біодобавок на їхній основі.

Хімічний склад пектиновмісних порошків з бурякового жому детально досліджено у попередніх роботах [1].

**Метою** цього дослідження є з'ясування можливості цілеспрямованої зміни хімічного складу харчової клітковини сухого жому для збільшення водорозчинної частки моносахаридів і легкогідролізованих полісахаридів.

Для досягнення цієї мети використано дезінтеграторне обладнання, яке дає можливість реалізувати механічні та хімічні методи оброблення сировини й отримати продукт із заздалегідь передбаченими властивостями, необхідною дисперсністю та структурою.

Механохімія вивчає зміни фізичних і хімічних властивостей речовин, що відбуваються під час дії на них механічних сил у процесах подрібнення, пресування, ультразвукового та криогенного оброблення тощо.

У технології виробництва біологічно активних добавок до їжі із природної сировини цьому напряму, на жаль, досі не приділено належної уваги, тому дана робота має за мету також підвищити інтерес дослідників до механохімії рослинних матеріалів, наочно показавши на конкрет

## ТЕХНІКА &amp; ТЕХНОЛОГІЇ

них прикладах, яких результатів можна досягти при механохімічних впливах на рослинну сировину, в даному випадку – сухий жом цукрового буряку при його подрібненні у дезінтеграторах.

На підставі результатів виконаних досліджень можна констатувати, що хімічні зміни у вихідній сировині протікають, як правило, у дві стадії [2]. Перша з них – **активування** – полягає у підготовленні сировини шляхом її подрібнення. Друга стадія безпосередньо приводить до позитивних хімічних змін у диспергованій сировині як на поверхні кожної часточки, так і всередині.

Таким чином можна прогнозувати, що подрібнення сухого жому дасть можливість підвищити біодоступність його компонентів і, відповідно, збільшити їхній фізіологічний ефект.

Механічні методи попередньої підготовки сировини можна здійснювати у пристроях різної конструкції – кулькових, колісних та вібромлинах, дезінтеграторах, планетарних, струменеких та інших видах млинів [3]. Як показали результати виконаних нами раніше досліджень [4], збільшення доступної поверхні подрібнюваного матеріалу приводить до значного зростання його реакційної здатності (в 15 разів і більше) і збільшення пористості структури. Є дані [5], що використання механічних методів активування викликає часткову деградацію лігніну, целюлози, геміцелюлоз.

На підставі фізичних уявлень про процес диспергування можна передбачити, що діапазон викликаних механічним активуванням матеріалів змін, ступінь механічного активування залежить як від структури самого матеріалу, так і від величини й типу механічних сил, що впливають на нього.

При використанні кулькових млинів можна для більш ефективного активування матеріалів йти шляхом збільшення маси кульок, а у вібромлинах – збільшуючи і масу кульок, і ампліту-

ду вібрації. Досвід показав, що при будь-якому підвищенні інтенсивності оброблення виникає максимальна для цих умов кількість дефектів [6].

Були проведені дослідження з активування матеріалів при переривчастій роботі вібромлина, тобто короточасний процес подрібнення чергувався із зупинками. Інакше кажучи, було застосовано імпульсний режим оброблення, завдяки чому досягнуто значно більшого ступеню механічного активування ніж при безперервному процесі [7].

Результати цих досліджень і власних спостережень підтверджують думку багатьох учених, що для оптимального плину процесу механічного активування, який з термодинамічної точки зору не є рівноважним, оброблюваний матеріал повинен піддаватись **різким стрибкоподібним змінам** механічних впливів. Сам процес мусить відбуватися швидко, при цьому кожен подальший етап його повинен бути інтенсивнішим за попередній. А для підвищення коефіцієнту корисної дії активуючому пристрою необхідна значна кінетична енергія. Найбільша кінетична енергія досягається шляхом зустрічних ударів при великих швидкостях. Тому для підвищення ефекту активування необхідні численні зустрічні удари часток подрібнюваного матеріалу, які йдуть один за одним при зростаючих відносних швидкостях.

Всі ці особливості покладено в основу конструкції дезінтеграторів УДА, виготовлених Талліннським СКТБ «Дезінтегратор», завдяки чому в них досягаються в багато разів більші імпульсні потужності та частоти, ніж це спостерігається в кулькових млинах. Саме такий дезінтегратор було використано при механоактивуванні сухого бурякового жому [8].

З метою визначення хімічних змін, що відбулися при його механоактивуванні, було виконано ряд досліджень. У першу чергу досліджували адсорбційну здатність диспергованих час-

ток клітковини, оскільки саме ця її властивість є визначальною при виготовленні широкого спектру біологічно активних добавок та функціональних продуктів дезінтоксикаційної дії. За класичною методикою адсорбційну здатність досліджуваних матеріалів визначали ступенем їхньої адсорбції парів води, метанолу та бензолу при температурі 20 °C [6]. Зразки попередньо вакуумували при 20 °C, для чого використовували вакуум-адсорбційну установку з вагами Мак-Бена.

Отримані результати показали, що харчова клітковина жому має пористу структуру. Узагальнення результатів численних досліджень дає підстави зробити висновок, що адсорбція на харчовій клітковині усіх адсорбатів незворотна навіть при тривалому вакуумуванні зразків. Це свідчить про наявність активних адсорбційних центрів, здатних до утримання значної кількості адсорбатів – 2,8; 1,5; 0,3 ммоль/г<sup>-1</sup> для води, метанолу та бензолу, а також про наявність тонких капілярів у пористій структурі харчової клітковини жому, що дає підстави рекомендувати отримані нами зразки в якості природних компонентів для очищення організму від різноманітних токсикантів (радіонуклідів, важких металів тощо).

Для подальших досліджень використовували сухий жом з початковою вологістю 8...10 %, розміром часток 0,8...1,1 мм. Подрібнення проводили у дезінтеграторі УДА та кульковому млині. Характеристика кулькового млина: об'єм барабана 1500 мл, сталеві кульки діаметром 10 мм і загальною масою 1,2 кг, одноразове завантаження матеріалу 30 г, частота обертання барабана 115 об/хв.

Завдяки конструктивним особливостям таких типів подрібнювачів диспергування компонентів сухого жому відбувається під впливом ударно-розтиральних сил, внаслідок чого на поверхні часток утворюються дефекти, розколи та розломи з накопичен

Таблиця 1

Залежність хімічного складу диспергованої клітковини від типу подрібнювача

Тип подрібнювача	Частота обертання, об/хв	Середній діаметр часток, мкм	Тривалість подрібнення, хв	Вміст ВРС, %	Вміст лігніну, %
Контроль	—	800...1100	—	13,4	18,6
Дезінтегратор	1500	85...120	20	36,4	8,4
Кульковий млин	115	170...205	135	17,8	16,5

ням енергії активування, що і викликає підвищення ефективності подальшої хімічної взаємодії.

За стандартними методиками [9] у подрібненому жомі визначали вміст легкогідролізованих полісахаридів, моносахаридів, водорозчинних сполук (ВРС), вміст лігніну за Комаровим.

Це характеризувало ті хімічні зміни, які відбулися у сировині. Отримані дані наведено у **табл. 1**.

Аналіз табличних даних дає можливість зробити ряд висновків. Механічні впливи ударної

лук у харчовій клітковині жому, обробленого у дезінтеграторі, збільшився відносно вихідної кількості на 171%, а після кулькового млина – лише на 32%.

Таким чином, для більш повного використання всіх компонентів сухого бурякового жому при хімічному модифікуванні рослинних матеріалів доцільно використовувати інтенсивні методи оброблення. Оброблення сухого жому у вібротлинах може дати результати, зіставні з отриманими на дезінтеграторі, а вико-

складає 15 хв. при швидкості обертання – 50 хв<sup>-1</sup>; 20 хв – при 150 хв<sup>-1</sup>; 30 хв. – при 100 хв<sup>-1</sup>.

Найбільше карбонільних груп вивільняється при швидкості обертання роторів 100 хв<sup>-1</sup>, а з її підвищенням – спадає. Так, наприклад, через 20 хв. механоактивування величина мідного числа для швидкості 50 хв<sup>-1</sup> збільшується від 0,6 до 1,15 (на 85%); для швидкості 150 хв<sup>-1</sup> – від 0,6 до 1,74 (на 158%); для швидкості 100 хв<sup>-1</sup> – від 0,6 до 2,50 (на 308%).

Факт зменшення виходу кіль-

Таблиця 2

Залежність величини мідного числа від основних параметрів механоактивування

Швидкість обертання роторів дезінтегратора, хв <sup>-1</sup>	Величина мідного числа при тривалості процесу, хв.								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
50	0,55	0,74	0,83	1,0	1,15	1,22	1,3	1,32	1,32
100	0,55	1,32	1,75	2,06	2,5	2,75	2,82	3,0	3,0
150	0,55	0,86	1,22	1,48	1,74	1,86	2,0	2,0	2,0

дії викликають зміни структури компонентів сухого жому, їхньої будови та хімічного складу.

Вивільнення реакціноздатних центрів компонентів рослинної сировини відбувається, очевидно, за рахунок розриву зв'язків «лігнін – вуглеводи» у матриці клітковини. Про це свідчать порівняльні дані вмісту лігніну у вихідній сировині (18,6%) та після оброблення у дезінтеграторі (8,4%) і кульковому млині (16,5%). За рахунок дезінтеграторного оброблення кількість кислотнерозчинного лігніну зменшилась щодо вихідного вмісту на 55%, а після кулькового млина – всього на 11,3%. Отже, при диспергуванні сухого жому у дезінтеграторі спостерігається більш інтенсивна деструкція лігніну. Ймовірно, що це явище супроводжується деполімеризацією, однак для такого твердження необхідні спеціальні дослідження.

Вміст водорозчинних спо-

ристання більш інтенсивних, наприклад електроімпульсних методів, приведе до ще більшого ефекту деструкції та деполімеризації високомолекулярних сполук. Хоча при отриманні нових видів харчової клітковини такі істотні зміни недоцільні, – виконані нами раніше дослідження переконливо показали, що адсорбційна здатність високополімерів прямо пропорційна довжині полімерного ланцюжка.

Відомо, що процеси механоактивування супроводжуються появою додаткової кількості карбонільних груп, і це оцінюється за величиною мідного числа [10]. Отримані дані представлено в **табл. 2**.

Аналіз табличних даних свідчить про те, що для всіх досліджених швидкостей обертання роторів дезінтегратора існує певна тривалість оброблення сухого жому, перевищення якої практично не впливає на додатковий вихід карбонільних груп. Вона

кості карбонільних груп при переході від 100 до 150 хв<sup>-1</sup> можна пояснити тим, що при останній швидкості обертання роторів часточки сухого жому захоплюються стрімким потоком повітря і «обтікають» пальці роторів дезінтегратора, не потрапляючи у зону дії ударних сил, які, власне, і визначають ступінь деструкції. Щоб з'ясувати поведінку при механоактивуванні компонентів екстрактів лікарських трав і гідробіонтів, призначених для збагачення харчової клітковини, отримані зразки досліджували методом Раман-спектроскопії.

Результати показали, що немає істотних змін у діапазоні довжин хвиль 600...1400 см<sup>-1</sup> у спектрах зразків. Отримані спектри, незалежно від певних відмінностей композиційного складу, практично ідентичні.

Дослідження, проведені методом Раман-спектроскопії, показали, що у процесі механоо



Таблиця 3

Динаміка накопичення водорозчинних сполук при подрібненні сухого бурякового жому

Моносахариди	Накопичення моносахаридів, %, при тривалості процесу, хв								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Арабіноза	2,5	3,08	3,25	4,8	5,8	6,3	7,2	7,5	7,7
Ксилоза	0,9	1,85	2,94	4,8	5,9	6,8	7,9	9,0	10,0
Глюкоза	2,5	4,25	5,80	6,9	8,2	10,0	11,8	13,2	14,8

броблення сухого жому нові за структурою сполуки, які б відрізнялись від мономерних фрагментів целюлози – геміцелюлоз, не утворюються. Спостерігаються лише деякі зміни у сфері поглинання, що відповідають за коливання ОН-груп.

У роботі [10] зазначається, що механічне оброблення деревини впливає на вміст лігніну та уровнів кислот у досліджуваних матеріалах. Для визначення тих розчинних речовин, які вилучено з подрібненого сухого жому, його піддали гідролізу. У розчинах гідролізату усіх зразків методом паперової хроматографії виявлено моносахариди: глюкозу, ксилозу та арабінозу. Співвідношення цих моносахаридів представлено в табл. 3.

Аналіз табличних даних показує, що в процесі подрібнення жому зростає вміст моносахаридів за рахунок деструкції високополімерів. Це сприяє підвищенню ступеня біодоступності компонентів жому і ефекту їх засвоєння живим організмом у разі виробництва з жому біологічно активних харчових добавок.

Зростання кількості моносахаридів характерно для всього вивченого діапазону тривалості процесу подрібнення. Найбільш інтенсивно зростає вміст глюкози (понад 10% від початкової концентрації), на 8% зростає вміст ксилози і на 5% – арабінози.

Зважаючи на виняткову роль вуглеводів у функціонуванні організму людини, можна констатувати, що модифіковані механоактивуванням та механодеструкцією компоненти сухого бурякового жому відзначатимуться не лише високою адсорбційною здатністю, а й підвищеною харчовою цінністю.

**Висновки.** Хімічні перетво-

рення високомолекулярних компонентів сухого бурякового жому в результаті механохімічного оброблення у дезінтеграторі свідчать про можливість отримання натуральних оздоровчих продуктів та харчових біодобавок підвищеної харчової цінності зі збільшеною концентрацією низькомолекулярних водорозчинних сполук. Вони легко включаються до процесів метаболізму у живому організмі, підтримуючи його функціонування на належному рівні. Для такого об'єкта дослідження, як високополімери сухого жому, механічні впливи мають бути достатніми для того, щоб збільшити вихід легкорозчинних сполук і підвищити біодоступність їхніх компонентів. Водночас необхідно зберегти оптимальну кількість зв'язків між ланками макромолекул, що забезпечує високу адсорбційну здатність отриманих природних сорбентів.

Адекватний вибір способу хімічної модифікації рослинних джерел та відповідного обладнання дає можливість поліпшити й оптимізувати вирішення різноманітних завдань у галузях харчових технологій, особливо при виробництві нового покоління оздоровчих харчових продуктів та високоєфективних біодобавок до їжі.

### Список використаних джерел

1. Сімахіна Г.О. Пектиновісні порошки з жому бурякового цукрового виробництва / Г. Сімахіна // Цукор України. – 2012. – №8. – С. 13-18.

2. Вибрационная дезінтеграція твердих матеріалів : монографія / В.И. Ревнивцев, Г.А. Денисов, Л.П. Зарогатский, В.Я. Туркин. – 2-е изд., доп. М. : Недра, 2012. – 431 с.

3. Руднев С.Д. Поверхностные

свойства межклеточного вещества растительного сырья / С.Д. Руднев, А.М. Попов, Е.А. Шелеметева // Известия вузов. Пищевая технология. – №4. – 2009. – С. 17-19.

4. Механохимия природных материалов с целью их использования в свеклосахарном производстве / Л.П. Рева, Г.А. Симахина, В.М. Логвин, В.Ю. Виговский // Известия вузов. Пищевая технология. – 1984. – №4. – С. 48-49.

5. Синицын А.П. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов : уч. пособие / А.П. Синицын, А.В. Гусаков, В.М. Черноглазов. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 276 с.

6. Чуйко А.А. Химия поверхности кремнезема : строение поверхности, активные центры, механизмы сорбции / А.А. Чуйко, Ю.И. Горлов. – К. : Наукова думка, 2002. – 248 с.

7. Руднев С.Д. О физической сущности селективного разрушения сырья растительного происхождения / С.Д. Руднев, В.А. Павский, О.Е. Рыбина // Сб. науч. работ КемТИПП «Технология и техника пищевых производств». – Кемерово, 2004. – С. 209-213.

8. Кипнис Б.М. Измельчительное и эмульгирующее оборудование, выпускаемое АО «Дезинтегратор» / Б.М. Кипнис, Я. Кюлавийр // Материалы 6-й науч. школы стран СНГ «Вибротехнология-96», Одесса, НПО «ВОТУМ», сентябрь 1996 г. – Одесса, 1996. – С. 73-75.

9. Оболонская А.В. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы : уч. пособие для вузов / А.В. Оболонская. – М. : Экология, 2011. – 178 с.

10. Роговин З.А. Химия целлюлозы / З.А. Роговин. – М. : Химия, 2002. – 326 с.

**Рецензент:** В.М. Логвин, д.т.н., проф