

## Новий спосіб утилізації бурякового жому

**І.М. Бордун**, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної фізики та наноматеріалознавства, Національний університет «Львівська політехніка»

**В.В. Пташник**, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем, Львівський національний аграрний університет

**М.М. Садова**, аспірант, Національний університет «Львівська політехніка»

**Р.Б. Чаповська**, кандидат технічних наук, доцент, директор ПП «Гігієнікс»

У статті проаналізовано механізми утворення, властивості та шляхи утилізації бурякового жому та запропоновано використати його як сировину для виробництва активованого вугілля. Досліджено хімічний склад поверхні одержаного вугілля та встановлено, що воно є окисненим, а це дає можливість добре адсорбувати різні речовини з водних розчинів. Показано придатність такого вугілля до використання у якості електродного матеріалу для виготовлення конденсаторів подвійного електричного шару з питомою ємністю у 70 Ф/г.

*Ключові слова:* жом, утилізація, активоване вугілля, конденсатор подвійного електричного шару.

В статье проанализировано механизмы образования, свойства и пути утилизации свекольного жома и предложено использовать его как сырье для производства активированного угля. Исследовано химический состав поверхности полученного угля и установлено, что он окислен, а эта особенность позволяет хорошо адсорбировать различные вещества из водных растворов. Показано пригодность такого угля к использованию в качестве электродного материала для изготовления конденсаторов двойного электрического шара с удельной емкостью в 70 Ф/г.

*Ключевые слова:* жом, утилизация, активированный уголь, конденсатор двойного электрического шара.

*The formation, properties and ways of utilization of beet pulp are analyzed in this article. The usage of beet pulp as raw material for production of activated carbon was suggested. Superficial chemical composition of obtained coal was investigated. It was established, that coal is an oxidant, and coal makes it possible to adsorb different substances from water. Was shown that the activated carbon can be used as electrode material for production electrical double-layer capacitors with a specific capacity – 70 F/g.*

*Keywords:* pulp, utilization, activated carbon, electric double-layer capacitor.

Інтенсивний розвиток промисловості та сільського господарства спричинив загострення численних екологічних проблем. Одним з важливих напрямків розвитку систем очищення навколишнього середовища є розроблення дешевих і ефективних адсорбентів, які би дозволяли очищати, в першу чергу, стічні води від шкідливих та токсичних речовин. Однак адсорбенти, які сьогодні використовуються для цих цілей, мають високу ціну та складну технологію виготовлення і регенерації [1]. Сьогодні як сировину для одержання адсорбентів все частіше використовують відходи

переробки харчової та сільськогосподарської продукції [1–4]. Даний напрямок є перспективним як з технічної, так і з економічної точки зору, оскільки рослинні відходи хоча і не піддаються регенерації, але їхні запаси постійно поповнюються. Проте відходи переробки цукрового буряка для цієї мети досі практично не використовуються. Аналіз літератури показав, що у якості адсорбенту пропонується використовувати лише термічно модифікований фільтраційний осад – цукровий дефекат, ефективність якого показано в роботі [5]. Можливість використання інших відходів

цукрового виробництва як сировини для одержання адсорбентів не досліджувалась.

Відомо [6], що цукрове виробництво – це складне матеріал- та енергоємне виробництво, у якому обсяги сировини та допоміжних речовин у декілька разів перевищують вихід готової продукції. Так, у середньому на випуск 1 тонн цукру-піску витрачається 8–10 тонн цукрового буряка, 25–35 м<sup>3</sup> води, 0,6 тонн вапняного каменю, 0,53 тонн умовного палива. Отже, цукрове виробництво є великим джерелом вторинних сировинних ресурсів і відходів. При середньому виході цукру 10–12% до маси

## СИРОВИНА

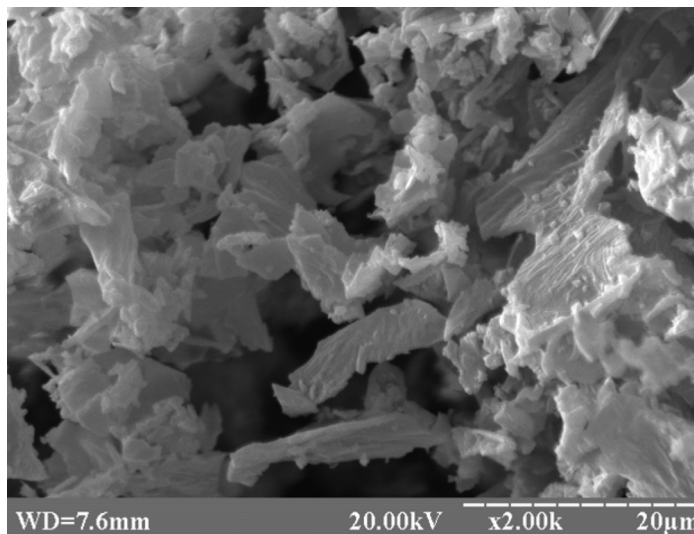
переробленого буряка утворюється близько 83 % свіжого бурякового жому, 5,4 % меласи, 12 % фільтраційного осаду, 15 % транспортерно-мийного осаду, до 350 % стічних вод тощо. Тобто основним твердим побічним продуктом при отриманні цукру є буряковий жом. Жом містить пектинові речовини, целюлозу, сахарозу, азотисті сполуки тощо. Його використовують на корм худобі (35–40 %), висушують (30 %), а решта зазвичай скисає в заводських сховищах, втрачаючи при цьому більшу частину кормової цінності і утворюючи ще один вид відходів – жонокислу воду [6].

Основними напрямками утилізації жому на даний час є використання його як активної речовини для видобування біогазу, одержання з жому пектинового концентрату, пектинового клею і харчових волокон, як паливо для ТЕЦ цукрового заводу [7]. Однак ці заходи не дозволяють повною мірою вирішити проблему переробки бурякового жому.

Тому *метою даної роботи* було вивчення можливості використання бурякового жому для отримання активованого вугілля та подальше дослідження його електрохімічних характеристик.

Як вихідну сировину для піролізу використовували подрібнений до розміру 5–8 мм висушений буряковий жом. Піроліз сировини проводили у сталевому тиглі, поміщеному у трубчастий реактор із неіржавної сталі. Активація відбувалася за допомогою водяної пари, носієм якої був аргон. Тривалість активації становила 2 год за температури  $800 \pm 5$  °C. Вихід активованого вугілля сягав приблизно 25 % від початкової маси жому. Одержані зразки вугілля промивали дистильованою водою та висушували.

Мікрофотографування отриманого вугілля здійснювали за допомогою растрового електронного мікроскопу з камерою низького вакууму та системою енергодисперсійного мікросана-



**Рис. 1.** Електронна фотографія активованого вугілля з бурякового жому

лізу РЕМ-106. Цей мікроскоп призначений для безпосереднього дослідження рельєфу поверхні різних матеріалів в твердій фазі і визначення їх елементного складу методом рентгенівського мікроаналізу за енергіями квантів характеристичного рентгенівського випромінювання в режимі низького і високого вакууму.

Для дослідження електрохімічних властивостей вугілля його механічно подрібнювали, просівали на просівній машині та відбирали фракцію 40...63 мкм. З відібраного таким чином вугілля виготовляли електроди для електрохімічних конденсаторів подвійного електричного шару (КПЕШ). КПЕШ – це молекулярні накопичувачі енергії, які займають проміжну ланку між електрохімічними акумуляторами та електростатичними конденсаторами. За питомими значеннями потужності та ємності вони переважають і перші, і другі на декілька порядків, а за принципом роботи – поєднують їх [8, 9]. Для формування електродів було використано тefлоновий в'язучий компонент у співвідношенні активоване вугілля : в'язуче = 19:1. Електролітом для КПЕШ слугував 30-ти відсотковий водний розчин калію гідроксиду марки о.с.ч.

Електронну фотографію отриманого вугілля наведено на

**рис. 1.** Як видно з нього, отримане активоване вугілля за формою частинок повторює частинки висушеного жому. Це говорить про можливість карбонізації жому, оскільки втрата маси відбувається за рахунок розвитку пористої структури.

Також на **рис. 1.** не спостерігаються великі макропори, що, найімовірніше, говорить про утворення під час активації добре розвиненої мезо- та мікропористої структури. Однак, це питання потребує подальшого вивчення.

Вміст основних хімічних елементів у поверхневому шарі активованого вугілля, одержаного з бурякового жому, наведено у **табл. 1.** Основний висновок, який можна зробити з цієї таблиці – одержане вугілля є досить окисленим, що підвищує його гідрофільні властивості, а це, в свою чергу, сприяє зростанню адсорбції різних речовин з водних розчинів.

Непрямим доказом розвиненої мікропористої структури вугілля є високі показники питомої ємності КПЕШ. Встановлено, що для даного електроліту отримане активоване вугілля характеризується питомою ємністю у 70 Ф/г, що є досить добрим показником для немодифікованого активованого вугілля. Наприклад, для немодифікованого активованого вугілля марки

**Таблиця 1**  
**Елементний склад поверхні активованого вугілля з бурякового жому**

Елемент	Вміст, %
C	73,8
O	7,67
Na	1,08
Mg	3,17
Al	1,99
Si	1,63
P	1,87
K	4,57
Ca	2,82
S	0,98

БАУ-А, яке також отримується з рослинної сировини, цей показник становить для аналогічної технології виготовлення КПЕШ 45 Ф/г [10].

Отже, подальша модифікація як вихідної сировини, так і вже одержаного активованого вугілля може змінювати питому ємність КПЕШ, як і інші адсорбційні характеристики вугілля з бурякового жому. Враховуючи, що для зростання енергоефективності цукрового виробництва одним із заходів є покращення віджимання жому [11], то такий достатньо сухий жом може бути використаний як вихідна сировина для карбонізації і без додаткового подрібнення та досушування. ■

**Висновки**

У роботі показано можливість одержання активованого вугілля з бурякового жому, що є новим методом переробки побічних продуктів цукрового виробництва. Досліджено хімічний склад поверхні одержаного вугілля та встановлено, що воно є достатньо окисненим. Це говорить про добру гідрофільність вугілля та можливість адсорбувати різні речовини з водних розчинів. Показано придатність

такого вугілля до використання у якості електродного матеріалу при виготовленні КПЕШ. Інші адсорбційні властивості ще потребують додаткового дослідження.

**Список використаних джерел**

1. Шмандий, В. М., Использование адсорбентов, полученных из отходов, для улучшения состояния среды обитания человека / В. М. Шмандий, Л. А. Безденежных, Е. В. Харламова // Гигиена и санитария. – 2012. – № 6. – С. 44–45.  
 2. Kadirvelu, K., Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions / K. Kadirvelu, M. Kavipriya, C. Karthika et al. // Bioresource Technology. – 2003. – V. 87. – P. 129–132.  
 3. Dinesh Mohan, Single- and multi-component adsorption of cadmium and zinc using activated carbon derived from bagasse-an agricultural waste / Dinesh Mohan, Kunwar P. Singh // Water Research. – 2002. – V. 36 – P. 2304–2318.

4. Жилина, М. В. Актуальность исследования процесса карбонизации для получения активированного угля с целью утилизации отходов растительного происхождения / М. В. Жилина, П. В. Карножицкий // Интегровані технології та енергозбереження. – 2012. – № 2. – С. 9–11.

5. Власова, Л. А., Новые направления утилизации сахарного дефекаата / Л. А. Власова, И. Н. Матющенко // Комбикорма. – 2011. – № 2. – С. 3.

6. Бугаенко, И. Ф. Общая технология отрасли. Научные основы технологии сахара / И. Ф. Бугаенко, В. И. Тужилкин. – СПб. : ГИОРД, 2007 – 512 с.

7. Спічак, В. В. Сучасні напрямки використання та утилізації бурякового жому / В. В. Спічак, А. М. Вратський // Вісник цукровиків України. – 2012. – № 2 (69). – С. 13–15.

8. Shukla, A., Electrochemical supercapacitors: Energy storage beyond batteries / A. Shukla, S. Sampath, K. Vijayamohanam // Current Science. – 2000. – V. 79, № 12. – P. 1656–1661.

9. Kötzt, R., Principles and applications of electrochemical capacitors / R. Kötzt, M. Carlen // Electrochimica Acta. – 2000. – № 45. – P. 2483–2498.

10. Бордун, І., Ультразвукова модифікація вуглецевих матеріалів для суперконденсаторів / І. Бордун, В. Пташник, М. Садова // Тези доп. 7 Українсько-польської науково-практичної конф. «Електроніка та інформаційні технології», Львів-Чинадієво, 27–30 серпня 2015 року. – С. 173.

11. Штангеев, К. О. Энергозбереження на цукрових заводах України / К. О. Штангеев, В. І. Христинко, Т. Н. Василенко // Цукор України. – 2014. – № 2. – С. 14–17.