

УДК 664.1.038.8

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНО МОДИФІКОВАНОГО ДЕФЕКАТУ ТА ЙОГО
ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТРАНСПОРТЕРНО-МИЙНОЇ ВОДИ**

*Хомічак Л. М.¹, д.т.н, професор, член-кореспондент НААН,
<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>*

*Кузнєцова І. В.¹, с.н.с., д.с.-г.н., к.т.н.,
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>*

*Зайчук М. В.², головний фахівець
<https://orcid.org/0009-0007-1469-8832>*

*Джозган О. І.¹, к.т.н.
<https://orcid.org/0000-0002-3827-6770>*

*Бондар М. В.³, к.т.н. доц.
<https://orcid.org/0000-0002-5775-006X>*

*Зайчук Л. П.¹, пров. фахівець
<https://orcid.org/0000-0001-9526-0275>*

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

²Київська міська державна адміністрація, Київ, Україна

³Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-16>

Предмет. Здатність термічно-модифікованого дефекату (далі ТМД) очистити транспортно-мийну воду цукрового виробництва. **Мета.** Дослідження властивостей термічно-модифікованого дефекату та ефективність його застосування при очищенні транспортно-мийної води. **Методи.** Органолептичний, ваговий, фізико-хімічний та аналітичний. **Результати.** Встановлено, що термічно оброблений дефекат за основними технологічними характеристиками наближений до промислових сорбентів і є екологічно безпечним для використання у цукровому виробництві. За повторного використання дефекату в технологічних процесах зменшиться витрата допоміжних матеріалів хімічного походження та покращується екологізація виробництва. Дослідження основних технологічних показників ТМД показує, що отриманий сорбент має розвинену пористу структуру придатну для подальшого застосування в якості адсорбенту завдяки йонам кальцію та вуглецю. Визначено сорбційну здатність ТМД, яка становить 37–43 мг/г за індикатором метиленовим синім. Результати досліджень показують поліфункціо-нальність властивостей ТМД та досягнення високого ефекту очищення (82–85%) транспортно-мийної води. Застосування модифікату сприяє поступовому осадженню завислих часток та очищенню. Оцінено стабільність водного середовища за критерієм Андерсена та показано, що застосування ТМД забезпечує належну стабільність системи, особливо за використання ТМД вторинної модифікації. Оброблена транспортно-мийна вода впродовж 3 міс не змінювала забарвленість, запах був відсутнім та не спостерігалось розвитку мікроорганізмів. Запропоновано блок-схему рециклінгу кальцію в умовах цукрового виробництва. **Сфера застосування результатів.** Харчова промисловість, а саме цукрова галузь.

Ключові слова: дефекат, сорбент, модифікація, ефект очищення, транспортно-мийна вода, рециклінг кальцію.

**RESEARCH OF THERMALLY MODIFIED FILTRATION SLUDGE AND ITS APPLICATION
TO TREAT CONVEYER-WASHING WATER**

*Liubomyr Khomichak¹, D-r of Sc., Engineering, Professor,
Corresponding Member of NAAS,*

<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

*Inha Kuznietsova¹, D-r of Sc., Agriculture, Senior Researcher,
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>*

*Maksim Zajchuk², chief specialist
<https://orcid.org/0009-0007-1469-8832>*

*Olga Dzhohan*¹, PhD, Engineering,

<https://orcid.org/0000-0002-3827-6770>

*Mykola Bondar*³, PhD, Engineering, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-5775-006X>

*Liudmyla Zajchuk*¹, Leading Specialist

<https://orcid.org/0000-0001-9526-0275>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Kyiv City State Administration, Kyiv, Ukraine

³National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-16>

Subject. Clean ability of thermally modified filtration sludge (TMFS) conveyer-washing water of saccharine production. **Purpose.** Research of properties of thermally modified defecat that efficiency of his application at conveyer-washing water treatment. **Methods.** Sensorial, gravimetric, physical and chemical and analytical. **Results.** It is set that filtration sludge is thermally treated after basic technological descriptions close to industrial sorbents and is ecologically safe for the use in a saccharine production. At the repeated use, filtration sludge in technological processes the expense of auxiliary materials of chemical origin will diminish, and the ecologization of production is improved. Research of basic technological indexes of TMFS shows that got sorbent has the developed porous structure suitable for subsequent application in quality an adsorbent to due to ions of calcium and carbon. Certainly sorbents ability of TMFS, which makes 37–43 mg/g after an indicator methylene dark blue. The results of researches show polyfunctionality of TMFS properties and achievement of high effect of conveyer-washing water treatment (82–85%). The use of the modification promotes the gradual sedimentation of suspended particles and purification. Stability of water environment is evaluated according to the criterion of Andersen and it is showed that application of TMFS provides the proper stability of the system. Conveyer-washing water is treated during 3 months did not change color, a smell was not felt and there was not development of microorganisms. Block diagram of recycling calcium is offered at sugar production. **Scope of results.** Food industry, namely sugar industry.

Key words: filtration sludge, sorbent, modification, cleaning effect, conveyer-washing water, recycling calcium.

Постановка проблеми. В 100 кг буряка цукрового міститься близько 25 кг сухих речовин, в тому числі 16–18 кг сахарози, з яких отримують 13–15 кг цукру у вигляді готової продукції. Решта 10–12 кг сухих речовин – це вторинні продукти, % від маси буряків: бадилля 50–70, жому свіжого 70–90, дефекату 8–12 і меляси 4–6 [1, 2]. В середньому на випуск 1 тони цукру витрачається 8-10 тон цукрових буряків, близько 60 м³ води, 0,6 тон вапнякового каменю, 0,24 м² фільтрувальної тканини, 0,53 тон умовного палива.

Використання вторинних продуктів цукрової промисловості дозволяє повернути для використання в землеробстві тисячі гектарів земель, зайнятих відвалами. Зокрема, дефекаат може використовуватись як добрива для сільськогосподарських угідь [3]. Ці добрива збалансовані за хімічним складом, ефективно впливають на ріст і розвиток рослин. Крім того, таке добриво у своєму складі містить природні мінерали, які сприяють регенерації ґрунтів, зменшенню ґрунтової, активізації агрохімічно-корисної мікробіоти тощо [1]. Оскільки в своєму складі дефекаат має ряд живильних речовин, були розроблені схеми внесення його в ґрунт як добрив, у т.ч. їхнє використання спільно з органічними і мінеральними добривами, що сприяє покращенню складу гумусу [3]. Не зважаючи на значні дослідження в напрямі застосування дефекаату для мінералізації ґрунтів, переважно даний вторинний продукт на цукровому виробництві вивозиться у відвали на поля фільтрації, де за зберігання відбувається забруднення атмосфери такими газами як H₂S і NH₃, а також проникнення забруднюючих речовин у водоносні ресурси тощо [4].

У свіжому дефекааті міститься до 60% вологи, але після підсушування на заводі вологість знижується на 20–30%, і дефекаат стає пухкою легко розсипчастою масою

коричневого кольору. Азотисті сполуки нецукрів представлені, в основному, скоагульованим білком. У масі безазотистих органічних речовин є пектинові речовини, кальцієві солі лимонної, щавлевої, яблучної та інших кислот, сапонін. Мінеральні фракції включають фосфати і сульфати. Вихідний дефекаат містить багато речовин, корисних для рослин і тварин [5]. Навіть підсушеним, за тривалого зберігання дефекаату, відбувається розкладання білкових речовин у весняно-літній період, що викликає специфічний непрємний запах, який поширюється на населені пункти розташовані поряд із цукровим заводом. Це погіршує екологізацію виробництва і суперечить європейським стандартам екологізації. Водночас, дефекаат може бути повернутим у цукрове виробництво після його очищення.

Одним з способів очищення дефекаату є випалювання, що дозволяє отримати термічно-модифікований дефекаат. На активність іону кальцію, для подальшого їхнього застосування, має значний вплив вибір температури випалювання, що спливає на його мінеральний склад. Зміна температури випалювання дозволяє отримати тонко дисперсний порошок, на поверхні якого містяться обвуглені органічні речовини [6]. При термообробці дефекаату завдяки руйнуванню початкових агрегатів відбувається зменшення середніх розмірів частинок від 10 мкм до 1 мкм та внаслідок механічної напруги відбувається паро- і газоутворення в процесі відпалу. При цьому зростає значення рН і електропровідності водної витяжки термічно-модифікованого дефекаату залежно від температури проведення випалювання. Таким чином, кращим вважається температурний інтервал випалювання дефекаату від 580 до 600°C, оскільки в даному температурному інтервалі спостерігається найбільший вміст вуглецю. Збільшення температури відпалу призводить до розкладання кальцієвих солей органічних кислот та карбонату кальцію з утворенням оксиду кальцію (CaO) та вуглекислого газу (CO₂) [6].

Такий сорбент може бути використаним в процесі очищення вод II категорії – транспортерно-мийної води. Системи на цукрових заводах експлуатуються зі значними скидами оборотних вод, що призводить до підвищення витрат свіжої води і збільшення кількості стічних вод [7]. Оборотні системи мають підвищену температуру води (26...32°C) та високий ступінь забрудненості води органічними речовинами: продуктами виробництва, зависями механічного та біологічного походження. Вміст продуктів виробництва призводить до розвитку на градирнях біологічного обростання, що знижує теплообмін між водою і повітрям та ступінь охолодження води. Оборотна система гідротранспорту та миття буряків, потужність якої складає більше 1000% до маси буряків, є найбільшим споживачем свіжої води. Частка транспортерно-мийної води становить більше 60% від загального об'єму води, що використовується цукровим заводом [7]. Через недостатнє очищення води на тракт подачі буряку додатково вводиться значна кількість механічних та хімічних домішок, а також мікроорганізмів, що ускладнює транспортування буряків та зниження продуктивності виробництва [8]. Забруднюючі речовини транспортерно-мийних вод містять механічні домішки, які надходять у воду разом з коренеплодами буряків та знаходяться в ній у завислому стані. Крім механічних домішок, транспортерно-мийна вода містить хімічні речовини органічного та мінерального походження. Більшу частину розчинних органічних речовин складає сахароза, вміст якої при багаторазовому збільшується в 5–7 разів [8]. Крім того, така вода містить сапонін, який характеризується високою токсичністю для риб, надає воді неприємного смаку і запаху та порушує кисневий обмін водоймищ.

Багаторазова рециркуляція води оборотної системи транспортування та миття буряків призводить до накопичення в ній механічних та хімічних забруднень, які є поживним середовищем для розвитку мікроорганізмів. Склад мікрофлори води оборотної системи транспортування та миття буряків, залежить від тривалості її рециркуляції, методів очищення, знезараження та інших факторів. Зокрема, 1 мл транспортерно-мийної води може містити до кількох мільярдів спор бактерій, міцеліальних грибів та дріжджів.

Мікроорганізми з транспортерно-мийної води залишаються на поверхні здорових і механічно ушкоджених коренеплодів, потрапляючи на верстат заводу посилюють життєдіяльність, і відповідно, збільшують втрати сахарози від розкладання [9]. Отже, очищення транспортерно-мийної води є одним з найважливіших процесів цукрового виробництва.

Предметом дослідження є здатність термічно-модифікованого дефекату очистити транспортерно-мийну воду цукрового виробництва. **Метою** – дослідження властивостей термічно-модифікованого дефекату та ефективність його застосування при очищенні транспортерно-мийної води.

Метод та методики досліджень. Зразки свіжого дефекату після II фільтрації відбирали в умовах Хоростківського цукрового заводу. Основні технологічні показники (удавана (об'ємна) щільність, відкрита пористість, питома поверхня та ефективний поровий об'єм) визначали згідно методичних рекомендацій з визначення показників пористості термічно-модифікованого дефекату [10]

Для досліджень очищення транспортерно-мийної води відбирались проби в умовах Хоростківського цукрового заводу, що надходять на поля фільтрації. Вводили в зразки транспортерно-мийної води термічно-модифікований дефекат в кількості: 1 зразок термічно-модифікованого дефекату (ТМД) – 20 г/л; 2 зразок ТМД – 40 г/л; 3 зразок ТМД – 60 г/л; 4 зразок відпрацьованого активованого ТМД та повторно відпаленого (вторинна модифікація) – 20 г/л. Зразки обробленої транспортерно-мийної води перемішувалася впродовж 15 хвилин при температурі 20°C, потім фільтрувалася через фільтр «біла стрічка». У досліджуваних пробах визначали рН, оптичну густину, вміст завислих частинок і порівнювали з неочищеною транспортерно-мийною водою та водою, відстоюною без ТМД. Аналіз проводили в трьох кратній повторюваності згідно типових методик [11].

Результати досліджень. ТМД – це дрібнодисперсний порошок, отриманий за температури відпалу 580-620°C, він має чорне забарвлення. Термообробка дефекату призводить до видалення адсорбованої та частини структурної води, що супроводжується скороченням числа активних центрів на поверхні дефекату. Механізм модифікації дефекату полягає в проходженні процесів диспергації частинок та зменшенні їх розмірів і збільшенню питомої поверхні пор за рахунок виділення під час зростання температури парів води та газів. Відповідно, відбувається щільна упаковка частинок. При цьому розкладаються кальцієві солі органічних кислот з утворенням оксиду кальцію, про що свідчило підвищення рН водних витяжок ТМД на 1,5–2,0 одиниці. Зміна рН водної витяжки ТМД залежить від вмісту активного кальцію, і відповідно, від родовища, з якого було видобуто вапняковий камінь.

Дослідження основних технологічних показників ТМД (табл. 1) свідчить, що отриманий сорбент має розвинену пористу структуру придатну для подальшого застосування в якості адсорбенту завдяки іонів кальцію та вуглецю, що осів на поверхні частинок карбонату кальцію (CaCO_3), який за структурою близький до структури активованого вугілля.

Таблиця 1

Технологічні показники ТМД

Найменування	Показник
Відкрита пористість, %	3–4,5
Об'ємна густина, г/см ³	4,94–6,15
Удавана мінералогічна щільність, г/см ³	5,1–6,3
Сумарний об'єм пор, см ³ /г	1,07–2,17

Визначено сорбційну здатність ТМД, яка становить 37–43 мг/г за індикатором метиленовим синім. Отже, ТМД можна порівняти з промисловими сорбентами. Зокрема, одним з перспективних напрямів застосування ТМД в цукровій галузі є очищення транспортерно-мийної води, яка містить домішок 75–80% від загальної маси.

Коренеплоди буряків викопують восени в період технологічної його стиглості. Тому одним з впливових чинників на загальну забрудненість є погодні умови, за яких проводилось викопування коренеплодів. Якщо ж вологість ґрунту становить 20–23% і забрудненість буряка більше 20%, то коренеплоди втрачають здатність сипкого вантажу, і при розвантаженні бурто укладальними машинами різко знижується ефект очищення. При рівні загальної забрудненості до 10% серійні очищувачі бурто укладальних машин відокремлюють 12–25% від початкової кількості домішок (невідмита земля, вільна і зв'язана зелена маса, кореневища бур'янів, каменів тощо). Якість транспортерно-мийної води визначається [12]:

- наявністю суспензій у вигляді твердих і дрібнодисперсних частинок, піску, супіску, глини, чорнозему;
- кількістю плаваючих домішок, що пройшли через сита домішковловлювачів: дрібних частинок (0,5–5 мм), бою буряка, насіння, лушпиння, опалих сухих листя, трав;
- невисокою температурою (не вище 20°C), щоб не викликати інтенсивного вимивання цукру, розвитку термофільних бактерій і інтенсифікації процесів бродіння;
- відповідною лужною реакцією транспортерно-мийних вод з метою послаблення бродіння і покращення коагуляції;
- наявністю мікробіологічного забруднення, оскільки при цьому порушиться нормальний технологічний режим заводу, збільшуються втрати цукру.

Результати проведеного експерименту (рис. 1) показують позитивний результат щодо очищення транспортерно-мийної води ТМД. Застосування модифікату сприяє поступовому осадженню завислих часток та очищенню.

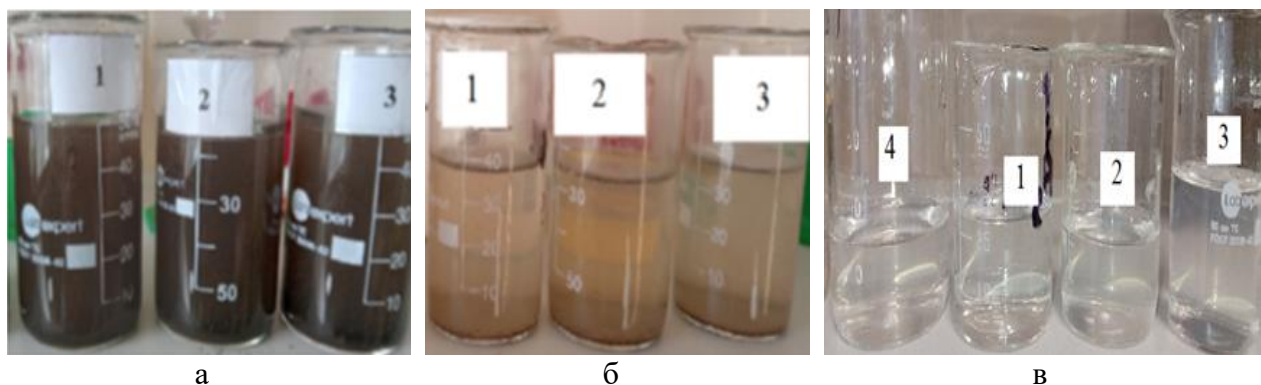


Рис. 1. Транспортерно-мийна вода:

а – до оброблення, б – після оброблення (15 хв), в – після оброблення (60 хв)

Аналіз показників очищеної води свідчить про перспективність застосування ТМД (табл. 2). Важливими є значення рН очищеної води та стабільність реакції середовища, яка оцінюється критерієм Андерсена, який показав, що застосування ТМД забезпечує стабільність системи, особливо за використання ТМД вторинної модифікації. Через 10 год вихідна транспортерно-мийна вода має слабокислу реакцію – значення рН знижується до 5,2, що свідчить про нестабільну її якість і перебіг мікробіологічних процесів та процесів бродіння.

Транспортерно-мийна вода, оброблена ТМД та ТМД вторинної модифікації має лужну реакцію рН 7,8 та 8,2, яка через 10 годин не значно знижується, що свідчить про стабільність якості води.

Отримані зразки очищеної води обробляли реагентом для зниження рН до значення 6,5–6,8. Через 60 хв реакції відмічено утворення незначної кількості осаду, що свідчить про більш повне очищення води від продуктів розкладання.

Визначено ефективність очищення транспортерно-мийної води цукрового виробництва отриманим ТМД, що становить 83–84%, і після 10 год відстоювання – 93–

96,2%. Оброблена транспортерно-мийна вода впродовж 3 міс. не змінювала забарвленість, запах був відсутнім та не спостерігалось розвитку мікроорганізмів. Таким чином, висока дисперсність частинок і присутність вуглецю зумовлюють сорбційні властивості ТМД, а наявність СаО – властивостей коагулянту. Обробка ТМД транспортерно-мийної води пригнічує розвиток мікроорганізмів, про що свідчить відсутність утворених продуктів розвитку мікроорганізмів у зразках впродовж 3 місяців. Узагальнюючи наведені результати можна представити блок-схему рециклінгу кальцію в умовах цукрового виробництва (рис. 2).

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники транспортерно-мийної води

Спосіб очищення	pH (через 15 хв)	pH (через 10 год)	Вміст завислих частинок (15 хв), мг/л	Ефект. очищення (по завислих частках), %	Вміст завислих частинок (10 год), мг/л	Ефект. очищення (по завислих частках), %	Оптична густина води через 10 год, од. опт. густини	Критерій Андерсона (pH через 10 год)	Швидкість седиментації, см/хв
Транспортерно-мийна вода після відстоювання	6,4	5,2	103281	–	4818	–	0,625	5,2	0,7
з ТМД (20г/л)	7,8	7,6	1725	83,3	338	93,0	0,194	7,2	1,7
з ТМД (40 г/л)	7,8	7,7	1711	83,5	318	93,4	0,157	7,6	1,7
з ТМД (60 г/л)	7,8	7,7	1678	83,8	260	94,6	0,115	7,7	1,8
з відпрацьованого активованого ТМД та повторно відпаленого (20 г/л)	8,2	7,4	1667	83,9	182	96,2	0,121	7,6	2,0

Зокрема, використання ТМД в процесі очищення дифузійного соку та ТМД вторинної модифікації дозволяє створити цикл використання кальцію в цукровому виробництві, і відповідно, знизити його витрати у виробництві. Крім того, забезпечується екологічне використання вод II категорії та зниження витрат свіжої води для залучення у виробничий цикл.

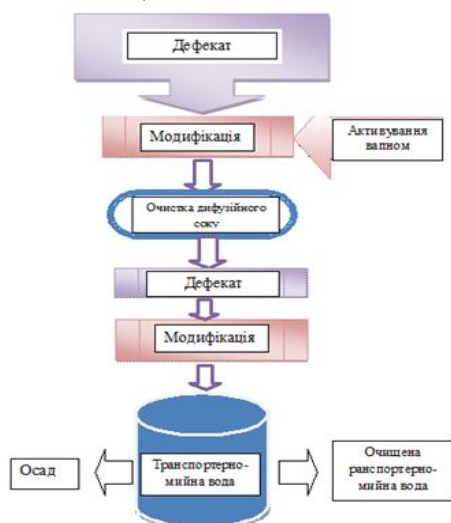


Рис. 2. Рециклінг кальцію в технологічному процесі цукрового виробництва

Висновки. Встановлено, що термічно оброблений дефекат за основними технологічними характеристиками наближений до промислових сорбентів і є екологічно безпечним для використання у цукровому виробництві. За повторного використання дефекату в технологічних процесах зменшиться витрата допоміжних матеріалів хімічного походження та покращується екологізація виробництва.

Дослідження основних технологічних показників ТМД показує, що отриманий сорбент має розвинену пористу структуру придатну для подальшого застосування в якості адсорбенту завдяки йонів кальцію та вуглецю. Визначено сорбційну здатність ТМД, яка становить 37–43 мг/г за індикатором метиленовим синім.

Результати досліджень показують поліфункціональність властивостей ТМД та досягнення високого ефекту очищення (82–85% та після 10 год відстоювання – 93–96,2%) транспортерно-мийної води. Застосування модифікату сприяє поступовому осадженню завислих часток та з подальшим очищенням. Оцінено стабільність водного середовища за критерієм Андерсена та показано, що застосування ТМД забезпечує належну стабільність системи, особливо за використання ТМД вторинної модифікації. Оброблена транспортерно-мийна вода впродовж 3 міс не змінювала забарвленість, запах був відсутнім та не спостерігалось розвитку мікроорганізмів. Запропоновано блок-схему рециклінгу кальцію в умовах цукрового виробництва.

Бібліографія

1. Запольський А. К., Українець А. І. Екологізація харчових виробництв: Підручник. К. : Вища школа, 2005. 423 с.
2. Хомічак Л. Передові технології виробництва цукру. Харчова і переробна промисловість: Щомісячний науково-виробничий журнал Держпрому, Нац. Університету харчових технологій та ТОВ «Укragропак». К., № 4, 2007. С. 20–23.
3. Гуменюк А. І. Вапнування ґрунтів. К., Урожай. 1968. 213 с.
4. Прокопчук І. В. Ефективність вапнування чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу України за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Нац. наук. центр «Ін-т ґрунто-знав. та агрохімії ім. О.Н. Соколовського». Х., автореф. дис. канд. с.-г. наук: 06.01.04. 2003. 19 с.
5. Воецька О. Є., Чернега І. С., Цюндик О. Г. Могилянський М. О, Теплих І. В. Перспективи використання побічних продуктів цукрового виробництва. Зернові продукти і комбікорми. 2018, № 18.1. С. 37–43. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i1.892>.
6. Тарасова Г. І., Свергузова Ж. А. Перспективи переробки дефекату – відходу цукрової промисловості отримання сорбенту. Співробітництво для вирішення проблеми відходів: міжнар. конф., Харків, 2005. 342 с.
7. Сорокін А. І. Шляхи зниження витрат свіжої води та кількості стічних вод в бурякоцукровому виробництві. Перспективи розвитку цукрової промисловості України: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 26-27 березня 2018 р. Київ: НУХТ, 2018. С. 81–84.
8. Чайка О. Г., Петрушка І. М. Аналіз відходів цукрового виробництва, їх негативний вплив на довкілля. Цукор України. 2014. № 3 (99). С. 42–43.
9. Кухар В. М., Чернявська Л. Втрати маси і сахарози на тракті подачі буряка в завод та шляхи їх зниження. Цукор України. 2015. № 11–12 (119–120). С. 59–64.
10. Хомічак Л. М., Кузнєцова І. В., Джоган О. І., Зайчук Л. П., Ярмолюк М. А., Зайчук М. В. Методичні рекомендації з визначення показників пористості термічно-модифікованого дефекату. К.: ПП НААН. 2023. 13 с.
11. Набиванець Б. Й., Сухан В. В., Калабіна Л. В. Аналітична хімія природнього середовища. Київ: Либідь, 1996. 302 с.
12. Хоменко М. Д. Сучасні схеми та обладнання для переробки цукрових буряків. Транспортування, очищення, отримання стружки і дифузійного соку. Навчальний посібник. Київ: Сталь, 2006. С. 240.
13. Хоменко М. Д. Вододомішковідділювачі, їх конструктивні особливості і раціональна експлуатація. Вісник цукровиків України. 2018. № 3. С. 8–12.

References

1. Zapolskyi, A. K., Ukrainets, A. I. (2015). Ekolohizatsiia kharchovykh vyrobnytstv [Greening of food production] Pidruchnyk. K. : Vyshcha shkola, 423 [in Ukrainian].
2. Khomichak L. (2007). Peredovi tekhnolohii vyrobnytstva tsukru. [Advanced sugar production technologies] Kharchova i pererobna promyslovist: Shchomisiachnyi naukovo-vyrobnychi zhurnal Derzhpromu, Nats. Universytetu kharchovykh tekhnolohii ta TOV "Ukragropak" [Monthly scientifically production magazine Derzhpromu, Nac. To the university of food technologies and LTD. "Ukragropak"]. K., №4, 20–23. [in Ukrainian].
3. Humeniuk A. I. (1968). Vapnuvannia gruntiv [Liming of soils]. K., Urogay [Harvest]. 213 [in Ukrainian].

4. Prokopchuk I. V. (2003). Efektyvnist vapnuvannia chornozemu opidzolennoho Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy za tryvaloho zastosuvannia dobryv u polovii sivozmini. [The effectiveness of liming of chernozem in the silicified Right Bank Forest Steppe of Ukraine with long-term use of fertilizers in field crop rotation] Nats. nauk. tsentr «In-t hrunto-znav. ta ahrokhimii im. O.N. Sokolovskoho». Kh., avtoref. dys. kand. s.-h. nauk: 06.01.04. 2003. 19. [in Ukrainian].
5. Voietska O. Ye., Cherneha I. S., Tsiundyk O. H., Mohylianskyi M. O., Teplykh I. V. (2018). Perspektyvy vykorystannia pobichnykh produktiv tsukrovoho vyrobnytstva. [Prospects for the use of by-products of sugar production] Zernovi produkty i kombikormy [Corn products and mixed fodders], № 18.1. 37–43. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i1.892>.
6. Tarasova H. Y., Sverhuzova Zh. A. (2005). Perspektyv pererabotky defekata – otkhoda sakharanoi promyshlennosti dlia polucheniya sorbenta. [Prospects for the processing of feces – waste from the sugar industry for the production of a sorbent] Sotrudnychestvo dlia resheniya problemy otkhodov: mezhdunar. konf. [A collaboration is for the decision of problem of offcuts: міжнар. конф.], Kharkov, 342 [in Ukrainian].
7. Sorokin A. I. (2018). Shliakhy znyzhennia vytrat svizhoi vody ta kilkosti stichnykh vod v buriakotsukrovomu vyrobnytstvi. [Ways to reduce consumption of fresh water and the amount of wastewater in beet sugar production.] Perspektyvy rozvytku tsukrovoi promyslovosti Ukrainy: materialy Mizhnarodnoi naukovy-tekhnichnoi konferentsii, 26–27 bereznia 2018 r. [Prospects of development of saccharine industry of Ukraine: materials of the International scientific and technical conference]. Kyiv : NUKhT, 2018. 81–84. [in Ukrainian].
8. Chaika O. H., Petrushka I. M. (2014). Analiz vidkhodiv tsukrovoho vyrobnytstva, yikh nehatyvnyi vplyv na dokillia. [Analysis of sugar production waste, their negative impact on the environment] Tsukor Ukrainy. [Sugar of Ukraine]. № 3 (99). 42–43. [in Ukrainian].
9. Kukhar V. M., Cherniavska L. I. (2015). Vtraty masy i sakharozy na trakti podachi buriaka v zavod ta shliakhy yikh znyzhennia. [Losses of mass and sucrose on the route of beet supply to the plant and ways to reduce them.] Tsukor Ukrainy. [Sugar of Ukraine]. № 11–12 (119–120). 59–64. [in Ukrainian].
10. Khomichak L. M., Kuznietsova I. V., Dzhohan O. I., Zaichuk L. P., Yarmoliuk M. A., Zaichuk M. V. (2023) Metodychni rekomendatsii z vyznachennia pokaznykiv porystosti termichnomodyfikovanoho defekatu [Methodological recommendations for determining the porosity indicators of thermally modified feces] K.: IPR NAAN. [IPR NAAS]. 13 [in Ukrainian].
11. Nabyvanets B. Y., Sukhan V. V., Kalabina L. V. (1996). Analychna khimiia pryrodnoho seredovyscha [Analytical chemistry of природнього environment]. Kyiv: Lybid [Kyiv: Libid], 302 [in Ukrainian].
12. Khomenko M. D. (2006). Suchasni skhemy ta obladnannia dlia pererobky tsukrovykh buriakiv. Transportuvannia, ochyshchennia, otrymannia struzhky i dyfuziinoho soku. [Modern schemes and equipment for sugar beet processing. Transportation, cleaning, obtaining shavings and diffusion juice]. Navchalnyi posibnyk. Kyiv: Stal [Train aid. Kyiv: Steel] 240. [in Ukrainian].
13. Khomenko M. D. Vododomishkoviddiliuvachi, yikh konstruktyvni osoblyvosti i ratsionalna ekspluatatsiia. [Water impurity separators, their design features and rational operation] Visnyk tsukrovyykiv Ukrainy [Announcer sugar-workers of Ukraine]. 2018. № 3. 8–12. [in Ukrainian].