

УТВОРЕННЯ БАРВНИХ РЕЧОВИН У ЦУКРОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

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

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

Гарус М. М.¹, здобувач наукового ступеня доктора філософії
<https://orcid.org/0009-0002-9068-4276>

Скорик К. Д.¹, к.т.н., професор, пр.н.с.
<https://orcid.org/0009-0007-3815-7125>

Зайчук Л. П., гол. фахівчиня
<https://orcid.org/0000-0001-9526-0275>

Бондар М. В.², к.т.н. доц.
<https://orcid.org/0000-0002-5775-006X>

¹Відділ технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів
 Інституту продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

²Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2025-25-15>

Предмет. Дифузійний сік, очищений сік і сироп. Утворення барвних речовин під час переробки цукрових буряків. **Мета.** Дослідження умов утворення барвних речовин в цукровому виробництві. **Методи.** Фізико-хімічний, математичний. **Результати.** Якість кристалічного або рідкого цукру безпосередньо пов'язана з ефективністю процесу знебарвлення соку. Неефективне проведення очищення призводить до отримання низькоякісного цукру з насиченим кольором, наявністю домішок та чорними вкрапленнями тощо. Визначено основні чинники в цукровому виробництві, що сприяють наростанню барвних речовин та їх впливу на якість готової продукції. Показано вплив технологічного режиму та способу очищення дифузійного соку на утворення і зростання забарвленості сиропу. Досліджено зміну кольоровості соку залежно від способу очищення. Зокрема показано, що застосування антисептичного засобу знижує кольоровість дифузійного соку в 3,3 рази. Встановлено, що вапнокарбонізаційне очищення знижує кольоровість соку в 7,8 рази. Показано, що застосування знецукреного сухого жому найбільше видаляє такі сполуки як меланоїдини, до яких виявляє спорідненість даний сорбент. Водночас, більшу знебарвлюючу здатність виявляє активне вугілля. Застосування якого після вапнокарбонізації, знижує забарвленість соку на 15%. Встановлено оптимальні витрати перліту для фільтрування в кількості 1,2% до маси д.с., за якої відмічено максимальну стабільність системи «вапнокарбонізаційний сік – перліт». Вивчено залежність чистоти сиропу від показника кольоровості. Показано, що для забезпечення випуску цукру або харчового сиропу високої якості необхідно мати максимально високу з можливих чистоту сиропу (в умовах роботи вітчизняних заводів – 89–91%). Виходячи з досвіду роботи вітчизняних та зарубіжних цукрових заводів, для одержання товарного цукру заданої якості рекомендується забезпечувати мінімально можливу кольоровість сиропу з клеровкою. Кольоровість цукру практично лінійно залежить від кольоровості сиропу з клеровкою, що надходить на уварювання утфелю у вакуум-апарати I кристалізації. Підвищена кольоровість напівпродуктів і, відповідно, високий вміст барвних речовин у них не лише призводить до одержання некондиційного цукру, але і суттєво зменшує швидкість кристалізації, що практично проявляється у зростанні тривалості уварювання утфелів. Харчові сиропи, отримані з такого сиропу мають вищу забарвленість, що впливає на подальше їхнє застосування в харчовій промисловості. **Сфера застосування результатів.** Цукрова галузь.

Ключові слова: дифузійний сік, сироп, знебарвлення, кольоровість, сорбент, очищення

FORMATION OF COLORING SUBSTANCES IN SUGAR PRODUCTION

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

Liubomyr Khomichak¹, D-r of Sc., Engineering, Corresponding Member of NAAS, Professor, Director
<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

Mykola Harus¹, Postgraduate
<https://orcid.org/0009-0002-9068-4276>

Kostiantyn Skoryk¹, PhD, Associate Professor, Leading Researcher
<https://orcid.org/0009-0007-3815-7125>

Liudmyla Zajchuk¹, Chief Specialist
<https://orcid.org/0000-0001-9526-027>

Mykola Bondar², PhD, Engineering, Associate Professor
<https://orcid.org/0000-0002-5775-006X>

¹Department the Sugar Technology, Sugar-containing Products and Ingredients
 Institute of Food Resources NAAN, Kyiv, Ukraine

²National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Subject. Diffusion juice, clarified juice and syrup. Formation of color during sugar beet processing. **Purpose:** Research into the conditions for the formation of coloring substances in sugar production. **Methods.** Physico-chemical, mathematical. **Results.** The quality of crystalline or liquid sugar is directly related to the efficiency of the juice decolorization process. Inefficient purification leads to the production of low-quality sugar with a saturated color, the presence of impurities and black inclusions, etc. The main factors in sugar production that contribute to the growth of coloring substances and their impact on the quality of the finished product are determined. The influence of the technological regime and method of purification of diffusion juice on the formation and growth of syrup color is shown. The change in juice color depending on the purification method is studied. In particular, it is shown that the use of an antiseptic agent reduces the color of diffusion juice by 3.3 times. It is established, that lime carbonization purification reduces the color of juice by 7.8 times. It is shown, that the use of desugared dry pulp removes such compounds as melanoidins to which this sorbent shows affinity. At the same time, activated carbon exhibits greater decolorization ability. The use of which after lime carbonation reduces the bitterness of the juice by 15%. The optimal consumption of perlite for filtering was established in the amount of 1.2% by weight of the d.s., at which the maximum stability of the «lime carbonation juice – perlite» system noted. The dependence of syrup purity on the color index studied. It shown that to ensure the production of high-quality sugar or food syrup, it is necessary to have the highest possible syrup purity (in the conditions of domestic factories – 89-91%). Based on the experience of domestic and foreign sugar factories, to obtain commercial sugar of a given quality, it is recommended to ensure the minimum possible color of syrup with bleaching. The color of sugar almost linearly depends on the color of syrup with bleaching, which is supplied to the massif for boiling in vacuum apparatuses and crystallization. The increased color of semi-finished products and, accordingly, the high content of coloring substances in them not only leads to the production of substandard sugar, but also significantly reduces the rate of crystallization, which is practically manifested in an increase in the duration of massif boiling. Food syrups obtained from such syrup have a higher color, which affects their further use in the food industry. **Scope of results.** Sugar industry.

Key words: diffusion juice, syrup, discoloration, color, sorbent, purification

Постановка проблеми. Готовий продукт за показниками якості і безпечності має відповідати стандарту. Певні виробники харчових продуктів, прагнучі отримати продукт тривалого зберігання, підвищують вимоги до якості для інгредієнтів, які викладають в таких документах як специфікаціях. Дані специфікації мають економічний вплив і є основою технічних бар'єрів для міжнародної торгівлі. Одним з ключових інгредієнтів у виробництві харчових продуктів є цукор. Наприклад, виробники напоїв під егідою Міжнародного товариства технологів напоїв (ISBT) розробили узгоджені рекомендації щодо якості кристалічної сахарози для її використання в напоях та щодо рідкої сахарози (харчового сиропу) [1, 2]. Якість кристалічного або рідкого цукру безпосередньо пов'язана з ефективністю процесу знебарвлення соку. Неефективне проведення очищення призводить до отримання низькоякісного цукру з насиченим кольором, наявністю домішок та чорними крапленнями тощо [3].

Не менш важливим фактором отримання якісного цукру є перероблення цукровмісної сировини. Окрім якості цукрового буряка, що надходить на цукрове виробництво впливовим

є такий чинник як спільна переробка бурякового сиропу та необробленого тростинного цукру. Зокрема, цукрові заводи збільшують власні потужності шляхом оптимізації виробничих процесів, і одним із таких підходів, що тривалий час застосовується, є спільна переробка бурякового сиропу та необробленого тростинного цукру. На якість білого цукру також може впливати сполуки, що переходять під час екстракції з цукрового буряка або тростини і недостатньо видаляються під час очищення. Соки та сиропи, отримані під час переробки цукрового буряка, містять барвні сполуки, що надають білому цукру жовтого або коричневого кольору [4].

Барвні речовини – це полімери з різною молекулярною масою, структурою та властивостями, що утворюються в результаті реакцій деградації цукру, зміни рН, термічних ефектів та реакцій між аміносполуками і вуглеводами. Дані речовини можуть вкраплюватись в кристали цукру або лишатись в сиропі, знижуючи тим самим вихід та погіршуючи якість білого цукру або сиропу [5]. Тому кольоровість є важливою проблемою у виробництві цукру.

Барвні речовини, що містяться в дифузійному соці залишаються впродовж усього процесу [6, 7], і утворюються в результаті лужного розкладання інвертних цукрів та утворення меланоїдину. При переробці цукрової тростини, забарвленість соку складають рослинні пігменти, пов'язані з полісахаридами [8], вміст яких речовин в кількості 10–20г/100г необробленого тростинного цукру не ускладнює виробництво високоякісного білого цукру [9]. Водночас, зміна показників якості необробленого тростинного цукру призводить до проблем з очисткою та якістю під час спільної переробки сиропу із цукрового буряка та цукру із цукрової тростини. Для європейських заводів дана проблема стає все більш очевидною при збільшенні частки необробленого тростинного цукру в технологічній схемі. Зокрема, у виробництві бурякового та тростинного цукру різні барвні речовини, що виявляють різні хімічні та фізичні властивості (молекулярна маса, чутливість до рН та електричний заряд) впливають на показник кольоровості цукру [1].

Відомі дослідження, що характеризують утворення комплексів барвник-полісахарид під час переробки цукрового буряка та технологічні проблеми, що спричиняють потрапляння даних сполук в кінцевий цукровий продукт. Однак, існує небагато досліджень щодо формування кольоровості під час переробки буряків [10]. Тому дослідження умов утворення кольоровості на під час переробки цукрових буряків є одним із актуальних питань.

Об'єкт досліджень: утворення кольоровості під час переробки цукрових буряків.

Предмет досліджень: дифузійний сік, очищений сік і сироп.

Метою роботи є дослідження умов утворення барвних речовин в цукровому виробництві.

Методи досліджень. Аналіз дифузійного соку проводили згідно «Інструкції з хіміко-технічного контролю та обліку цукрового виробництва». Масову частку сухих речовин в дифузійному соці визначали рефрактометричним методом на рефрактометрі УРЛ-1. Вимірювання проводили при температурі рідких розчинів 20°C. Точність вимірювань складає 0,1%. Масову частку сахарози визначали поляриметричним методом на приладі марки СУ-5 з похибкою вимірювання 0,05°S. Кольоровість цукровмісних розчинів в одиницях оптичної щільності визначали фотоелектричним колориметром КФК-3 при довжині хвилі 540 нм з похибкою вимірювань 1,1%.

Результати та обговорення. Утворення барвних речовин під час переробки цукрових буряків відбувається за умов:

- утворення темних барвників (меланоїдинів – реакції Маяра). Ці реакції відбуваються між відновлювальними цукрами (фруктоза, глюкоза) та амінокислотами/пептидами, особливо інтенсивно під час нагрівання соку на стадіях випарювання та варіння утфелю. Для цукрових сиропів, отриманих із цукрових буряків, що рівні від 80 до 90 г/100 г сиропу є найбільш реакційноздатними [17]. Крім того, зростання кольоровості відбувається через посилення полімеризації при тривалому впливі підвищених температур [18]. Вміст азоту у виробництві бурякового цукру зазвичай вищий, ніж у виробництві тростинного цукру.

Високий вміст азоту індукує утворення меланоїдинів завдяки реакції Майяра навіть за низьких температур процесу. За вищої температури та лужних умов ($\text{pH} > 11$ та $t = 85^\circ\text{C}$) на наступних етапах процесу, таких як екстракція та очищення соку, реакції Майяра ще більше посилюються. Під час вапнування та карбонізації відбувається омилення амідів (приблизно 70%), а більшість інвертних цукрів, полісахаридів, органічних кислот та поліфенолів розкладаються або видаляються з соку. Навіть попри зниження вмісту даних речовин, реакція Майяра все ще триває через високі температури (до 120°C) та тривалий час утримування після реакції [18];

- окиснення цукрів за високих температур також призводить до утворення темно-коричневих барвників – карамеланів, карамеленів та карамелінів. Карамельні сполуки є побічними продуктами розкладання сахарози на фруктозу та глюкозу за дуже високих температур. Іншими побічними продуктами є різноманітні колоїдні полімерні компоненти, що виникають внаслідок реакцій конденсації, ізомеризації та дегідратації [14, 18];

- присутні в соку поліфенольні сполуки можуть окислюватися (особливо під дією ферментів або повітря) до хінонів, які потім полімеризуються в темні пігменти. Фенольні сполуки – це майже безбарвні попередники, присутні в цукровому буряці та цукрової тростини, з тією відмінністю, що фенольні сполуки в буряку містять вищі концентрації азоту, ніж у цукровій тростині. Окислюються переважно у присутності ферментів (наприклад, поліфенолоксидази), що призводить до утворення темних, жовто-коричневих пігментів [14]. Меланіни є продуктами окислення фенольних сполук (наприклад, тирозину), а також продуктами феноло-амінних реакцій. У виробництві бурякового цукру меланіни утворюються внаслідок окислення клітинних речовин (наприклад, тирозину), які утворюються під час нарізання буряка та екстракції. Ці меланіни нерозчинні у водних розчинах, вони випадають в осад і тому переважно відокремлюються від соку під час різних етапів очищення шляхом осадження. Однак, якщо меланіни проходять карбонізацію, може відбутися потемніння отриманих цукрів [19].

- розкладання певних нецукрів, наприклад, амідів кислот з утворенням аміаку, може сприяти подальшому утворенню барвників, особливо за умов високої лужності. На стадіях дефекації, під час додавання вапна утворюється лужне середовище та інтенсивне утворення певних груп барвних речовин. У результаті утворюються карбонові кислоти з менш ніж шістьма атомами вуглецю, наприклад, молочна, оцтова та щавлева кислота. Крім того, утворюється значна кількість коричневих вуглеводнів з більш ніж шістьма атомами вуглецю та кольором темнішим, ніж у карамелі. Однак комплекс реакцій, пов'язаних з утворенням кольору, наразі повністю не вивчений [14, 18, 19].

Дослідження впливу утворення барвних речовин залежно від чистоти дифузійного соку показали пряму залежність зростання кольоровості вапнокарбонізаційного соку із зростанням чистоти дифузійного соку (табл. 1).

Таблиця 1
**Залежність показника кольоровості
вапнокарбонізованого соку
від чистоти дифузійного соку**

№ з/п	Чистота дифузійного соку, %	Кольоровість вапнокарбонізованого соку, од. IU
1	88	989
2	89	1042
3	90	1085
4	91	1130
5	92	1240
6	93	1320

Отже, із зростанням чистоти дифузійного соку зростає і кольоровість вапнокарбонізаційного соку. Для забезпечення випуску цукру або харчового сиропу високої якості необхідно мати максимально високу з можливих чистоту сиропу (в умовах роботи вітчизняних заводів – 89–91%, інколи вище, хоча часто цей показник нижчий).

Основними причинами наростання кольоровості сиропу у виробництві є:

- одержання термонестабільних соків, pH яких значно знижується під час випарювання, що призводить до інтенсивного розкладу

сахарози, утворення і розкладання інвертного цукру;

- проходження реакції Майяра – це утворення інтенсивно забарвлених речовин (меланоїдинів) у результаті взаємодії α -аміноазоту з редукувальними речовинами;

- занадто високі значення температур по корпусах випарної установки і підвищений гідроліз сахарози з цієї причини; температура соку при переробленні цукрових буряків не повинна перевищувати 125°C. При роботі плівкових випарних апаратів температура на першому корпусі становить до 130°C, що не призводить до суттєвих технологічних втрат;

- занадто великий час перебування соку в корпусах випарної станції при підвищеній масовій частці сухих речовин, коли намагаються підвищити сухі речовини сиропу, при поганій роботі насосів та інше;

- надмірний середній час перебування соку в корпусах випарної станції, пов'язаний з внутрішньою рециркуляцією, наявністю застійних зон, занадто великими об'ємами випарних апаратів тощо;

- утворення забарвлених речовин у сиропі в результаті реакції карамелізації при підвищених температурах, тривалому часі перебування, реакції середовища тощо;

- припинення проведення сульфатації соку II карбонізації з технологічних причин чи через прагнення виконати вимоги по залишковому вмісту SO_2 у товарному цукрі.

Вплив чистоти сиропу на співвідношення нецукор/цукор і кольоровість, очевидний із таблиці 2.

Таблиця 2

Залежність показника кольоровості сиропу від чистоти дифузійного соку

№ з/п	Чистота дифузійного соку, %	Співвідношення Нецукор/Цукор	Кольоровість сиропу, од. ІУ
1	88	0,136	1070
2	89	0,124	1160
3	90	0,111	1251
4	91	0,099	1430
5	92	0,087	1570
6	93	0,075	1620

Гранична різниця щодо виходу цукру в продуктовому відділенні при зміні чистоти сиропу від 88 до 93% і чистоті меляси 62 і 58% відповідно може досягати 11,8%. Виходячи з досвіду роботи вітчизняних та зарубіжних цукрових заводів, для одержання товарного цукру заданої якості рекомендується забезпечувати мінімально можливу кольоровість сиропу з клеровкою. Кольоровість цукру практично лінійно залежить від кольоровості сиропу з

клеровкою, що надходить на уварювання утфелю у вакуум-апарати I кристалізації. Підвищена кольоровість напівпродуктів і, відповідно, високий вміст барвних речовин у них не лише призводить до одержання некондиційного цукру, але і суттєво зменшує швидкість кристалізації, що практично проявляється у зростанні тривалості уварювання утфелів. Харчові сиропи, отримані з такого сиропу мають вищу забарвленість, що впливає на подальше їхнє застосування в харчовій промисловості.

Значний вплив на кольоровість сиропу має робота випарної установки, особливо при завищених площах поверхні нагріву (на вітчизняних заводах до 350–400 м²/100т перероблених буряків). Необхідно постійно контролювати наростання кольоровості на випарній установці та режими очищення соків з метою забезпечення максимально можливої термостійкості соку при переробці сировини різної якості. На вітчизняних цукрових заводах рекомендована величина кольоровості сиропу з клеровкою не повинна перевищувати 2000 од. ICUMSA (до 20-25 умовних одиниць). Ефективне очищення спрямоване на мінімізацію або видалення цих сполук:

- *дефекація та сатурація* – це основні етапи очищення, під час яких більшість барвних речовин адсорбуються на поверхні осаду карбонату кальцію і видаляються. Поступове підлужування на попередній дефекації сприяє утворенню щільного осаду, що підвищує ефективність видалення. Карбонат кальцію адсорбує на своїй поверхні солі кальцію, органічних і неорганічних сполук, пігменти і продукти розпаду редукуючих цукрів, які є попередниками барвних речовин. Очищення клеровки жовтого цукру за допомогою дефекосатурації забезпечують зниження кольоровості і підвищення чистоти;

- *сульфітація* – насичення соку сірчистим газом (SO_2) після II карбонізації застосовують для знебарвлення. Сірчиста кислота блокує альдегідні та кетонні групи редукувальних нецукрів, запобігаючи утворенню меланоїдинів під час подальшого випарювання, а також відновлює деякі неорганічні хромофорні групи. Ефективним прийомом знебарвлення сиропу, клеровок жовтих цукрів є застосування мінеральних фільтрувальних засобів – фільтроперліт або кізельгур. Їх використання можливе не тільки як наливний шар або подачею безпосередньо в сироп. Ефективність знебарвлення сиропу при витраті перліту 1,5–2,5% до маси сиропу досягає 40%;

- *використання адсорбентів та реагентів* – застосування додаткових реагентів, таких як гідроксид алюмінію, полімерні сполуки або активоване вугілля, може підвищити ефективність видалення барвних речовин шляхом адсорбції або флокуляції. Одним з таких сорбентів є целюлоза, яка видаляє полярні і неполярні домішки з напівпродуктів цукрового виробництва та виявляє здатність до адсорбції барвних речовин. Використання мінерально-органічного адсорбенту, що містить 0,2–0,4% целюлози і 0,7–0,8% фільтроперліту до маси сиропу підвищує ефект знебарвлення до 60%;

- *контроль рН та температури* – дотримання технологічних параметрів рН та температурних режимів допомагає мінімізувати швидкість хімічних реакцій (Маяра, карамелізації), що призводять до утворення нових барвних речовин;

- *застосування антисептиків* – використання антисептиків на ранніх стадіях (наприклад, у сокостружковій суміші) гальмує мікробіологічні процеси та окиснення барвних сполук, що сприяє отриманню соку із нижчою забавленістю;

- *іонообмінна очистка* – цей метод є дорожчим, іонообмінні смоли ефективно видаляють іонні форми барвних речовин.

Експериментальні дані доводять (табл. 3), що на утворення барвних речовин впливає не тільки спосіб отримання дифузійного соку але й спосіб очищення.

Таблиця 3

Залежність кольоровості дифузійного соку від способу очищення

Спосіб очищення	Чистота, %	Кольоровість, од. ІУ	ВМС, до м. д.с.
Дифузійний сік (контроль)	91,9	27973	1,4693
Дифузійний сік отриманий з додаванням у бурякостружкову суміш антисептику	88,2	8480,7	1,4248
Вапнокарбонізований сік	89,2	670,4	0,994
Вапнокарбонізований сік із знебарвленням отриманим із жому целлютичного сорбенту	85,2	623,1	0,889
Вапнокарбонізований сік із знебарвленням активним вугіллям	84,0	572,0	0,868

Застосування антисептику «Бактрілон-А» (Tristan) за отримання бурякової стружки дозволить пригнітити розвиток мікрофлори, особливістю якого є присутність в його складі комплексу біоцидних полімерів, що пригнічують дію мікрофлору, не даючи їй набувати нечутливості (резистентності) і має пролонговану дію. В механізмі антимікробної дії антисептиків виділяються основні механізми впливу на контамінуючу мікрофлору – це деструкція структур та окиснення органічних речовин мікробної клітини, мембранно атакуюча дія на цитоплазматичну мембрану, антиметаболітна і антиферментна дія. Крім того, сам препарат на впливає на значення оптичного обертання вуглеводів, що не впливає на точність визначення вмісту сахарози в соці. Застосування антисептику гальмує перехід

білкових речовин у сік, «блокує» окислювальну дію амінокислот, що дозволяє отримати сік з низькою забарвленістю. Визначено, що внесення «Бактрілону-А» в сокостружкову суміш знижує забарвленість дифузійного соку в 3,3 рази порівняно із способами екстрагування у воді або у воді із ошпаренням стружки перед дифузією. За вилученням сахарози за екстрагування найвищим є показник за способу екстрагування у воді на 0,15%. Найбільше високомолекулярних сполук вилучають із сокостружкової суміші за застосування способу із «Бактрілоном-А» (34,76% до м. СР д.с.) і найнижчим за екстрагування у воді – 24,62% до м. СР д.с. Встановлено [20], що кращим є дозування «Бактрілону-А» в кількості 0,5% до маси сокостружкової суміші.

Вапнокарбонізаційне очищення знижує забавленість соку у 7,8 раза. Досліджували застосування додаткових сорбентів у очищенні вапнокарбонізаційного соку. Зокрема, в якості сорбенту використовували знецукрений та висушений жом. Набухаючи у воді, часточки жому утворюють високопористий осад з розгалуженою структурою, яка збільшує площу активної адсорбції. Характерною властивістю такого сорбенту є висока спорідненість меланоїдинам. Завдяки вмісту мікрофібрили целюлози і глікани містяться в матриксі пектину, отриманий із жому целютичний сорбент виявляє сорбуючу здатність до білкових речовин. Водночас, більшу знебарвлюючу здатність виявляє активне вугілля. Застосування якого після вапнокарбонізації, знижує забарвленість соку на 15% та вміст високомолекулярних сполук (ВМС) на 12,6%.

Дифузійний сік, як відомо, містить часточки бурякової стружки (мезгу). При нагріванні до цих часток приєднуються зкоагульовані білкові речовини, що призводить до інклюдції з кристалами сахарози. Тому для видалення завислих часток й підвищення якості дифузійного соку проводили його очищення від мезги та ВМС. Це дасть можливість зменшити гідроліз пектинових речовин, у результаті якого утворюється пектинова та пектова кислоти, що ускладнює фільтраційну здатність соку.

Дослідження щодо застосування фільтроперліту (рис. 1) показали, що із збільшенням кількості введенного фільтрперліту покращувались фільтраційні властивості соків. Зокрема, при витраті 0,3% фільтрперліту до м.д.с. сік майже не фільтрувався. Кращим відмічено введену кількість 1,2% до м.д.с., яка забезпечила утворення достатнього шару осаду на фільтрувальній поверхні. Фільтраційний коефіцієнт при цьому становив (F_k) 3,0–3,5. Отримані дані свідчать про можливість фільтрування очищеного дифузійного соку за постійної або періодичної регенерації фільтрувальної поверхні.

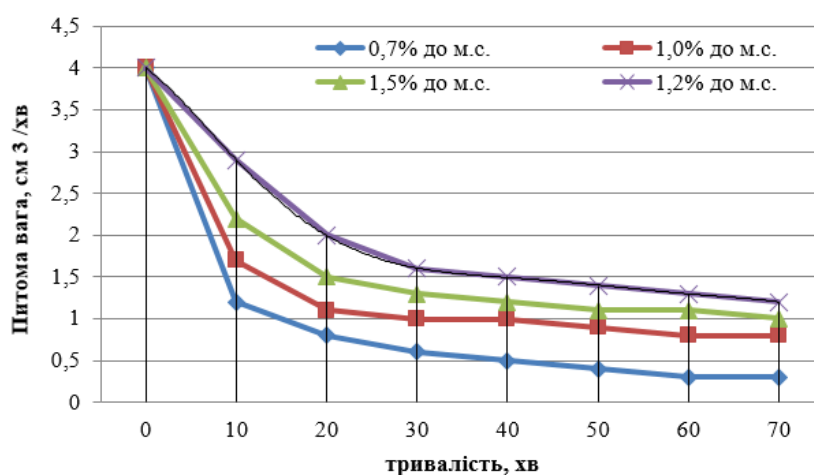


Рис. 1. Швидкість фільтрування вапнокарбонізаційного соку

Розраховано коефіцієнти швидкості фільтрування очищених дифузійних соків за різної кількості використаного фільтрперліту (табл. 4), що показує високу нестабільність системи за більшого вмісту НЦк.

Таблиця 4

Коефіцієнти швидкості фільтрування вапнокарбонізаційного соку через шар фільтрперліту

Витрати фільтрперліту, % до м.с.	Коефіцієнт (k)						
	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7
0,7	0,0015	- 0,0437	0,5296	- 3,3195	11,358	- 20,314	15,788
1,0	0,0002	- 0,0073	0,1087	- 0,8812	4,0056	- 9,5638	10,337
1,2	-0,0004	0,01	- 0,0837	0,2356	0,4549	- 3,8415	7,225
1,5	-0,0005	0,0149	- 0,1789	1,0455	- 2,8978	2,5291	3,4875

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено витрати перліту для фільтрування в кількості 1,2% до маси д.с. (з наливом шару фільтрперліту), за якої відмічено максимальну стабільність системи «вапнокарбонізаційний сік – пеліт».

Висновки. Визначено основні чинники в цукровому виробництві, що сприяють наростанню барвних речовин та їх вплив на якість готової продукції. Показано вплив технологічного режиму та способу очищення дифузійного соку на утворення і зростання забарвленості сиропу.

Обґрунтовано вплив чистоти дифузійного соку на зростання кольоровості вапнокарбонізаційного соку. Вивчено залежність чистоти сиропу від показника кольоровості. Показано, що для забезпечення випуску цукру або харчового сиропу високої якості необхідно мати максимально високу з можливих чистоту сиропу (в умовах роботи вітчизняних заводів – 89–91%).

Досліджено зміну кольоровості соку залежно від способу очищення. Зокрема показано, що застосування ансептичного засобу знижує кольоровість дифузійного соку в 3,3 рази. Встановлено, що вапнокарбонізаційне очищення знижує кольоровість соку в 7,8 рази. Досліджували застосування додаткових сорбентів у очищенні вапнокарбонізаційного соку. Показано, що застосування знецукреного сухого жому найбільше видаляє такі сполуки як меланойдини, до яких виявляє спорідненість даний сорбент. Водночас, більшу знебарвлюючу здатність виявляє активне вугілля. Застосування якого після вапнокарбонізації, знижує забарвленість соку на 15% та вміст високомолекулярних сполук (ВМС) на 12,6%.

Встановлено оптимальні витрати перліту для фільтрування в кількості 1,2% до маси д.с. (з наливом шару фільтрперліту), за якої відмічено максимальну стабільність системи «вапнокарбонізаційний сік – пеліт».

Бібліографія

1. An Godshall M. The quality of white sugar required in the beverage industry. Sugar Industry. 2006. Vol.131 (7). P. 492–495.
2. Jui-Yi Chen, Gow-Chin Yen, Nien-Ting Tsai, Jer-An Lin. Risk and Benefit of Natural and Commercial Dark Brown Sugars as Evidenced by Phenolic and Maillard Reaction Product Contents. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2021. Vol. 69 (2). P. 767–775. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04795>.
3. Lima R. B., de Aguiar C. L., Galaverna R., Baptista A. S., Eberlin M.N., Arthur V. Sucrose and color profiles in sugarcane (*Saccharum* sp.) juice analyzed by UFLC-ELSD and Synapt High-Definition Mass Spectrometry during radiation treatment. Radiation Physics and Chemistry. 2016. Vol. 121. P. 99–105.
4. Riffer R. Chapter 13 – The Nature of Colorants in Sugarcane and Cane Sugar Manufacture. Sugar Series. 1988. Vol. 9, P. 186–207.
5. Solís-Fuentes J. A., Galán-Méndez F., del Rosario Hernández-Medel M., García-Gómez R. S., Bernal-González M., Mendoza-Pérez S., del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa M. Effectiveness of bagasse activated carbon in raw cane juice clarification. Food Bioscience. 2019. Vol. 32. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100437>.
6. Bento L. S. M., Sá S. Study of HMW compounds in sugar liquors from carbonation and ion-exchange resins using GPC chromatography with an evaporative light scattering detector, Proc. S. P. R. I. Conf., 1998. p.233–247.

7. Bento L. S. M. Study of colour formation during Carbonatation in Cane Sugar Refining using GPC with a ELS detector, AVH Conf. 1999.
8. McKee M., An Godshall M., Moore S., Triche R. Effect of Commercial Enzymes on Color and Total Polysaccharide Content in Sugarcane and Sugarbeet Juice In book: Industrial Application of Enzymes on Carbohydrate-Based Material. 2007. p. 88–100. <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0972.ch007>.
9. Penghua Shu, Na Wang, Yu Meng, Shuxian Fan, Simin Liu, Xinfeng Fan, Di Hu, Hao Yin, Huiying Wang, Xin Wang, Mengjiao Wu, Feng Yu, Xialan Wei, Lin Zhang, Jihong Huang. Ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction of polysaccharides from *Cercis chinensis* bark: Optimization, kinetics and antioxidant activities. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2025, Vol. 121, 107535. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107535>
10. Triche R., An Godshall M., Richard C. Color formation in white beet sugars. Conference: American Society of Sugarbeet Technologist March 2011 <https://doi.org/10.5274/ASSBT.2011.56>.
11. Coca M., García M. T., González G., Peña M., García J.A. Study of coloured components formed in sugar beet processing International Congress Series. Volume 1245, November 2002, P. 269–273. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.017>.
12. Ansari A. K. Sugar industry effluent–characteristics and chemical analysis. *Journal Appl. Emerg. Sci.*, 2006. Vol. 1 (2) , p. 152–157.
13. Schlumbach K., Pautov A., Fl ter E. Crystallization and analysis of beet and cane sugar blends. *Journal of Food Engineering*. 2017. Vol. 196, March 2017, P. 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.026>.
14. Godshall M. A. Future directions for the sugar industry. *International Sugar Journal*. 2001. Vol. 103 (1233). P. 378–384. https://www.researchgate.net/publication/279909260_Future_directions_for_the_sugar_industry.
15. Cardona C. A., Sánchez  . J. Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities. *Bioresour Technol.* 2007. Vol. 98 (12):2415–57. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.002>.
16. C mmerer B., Jalyschkov V., Kroh L. W. Carbohydrate structures as part of the melanoidin skeleton [https://doi.org/10.1016/S0531-5131\(02\)00890-7](https://doi.org/10.1016/S0531-5131(02)00890-7).
17. Heitz F. Les colorants en sucrerie. *Actualit s techniques et industrielles*, 1995. P. 538–544.
18. Coca M., García M. T., Gonzalez G., Pena M., García J. A. Study of colored components formed in Sugar beet processing. *Food Chemistry*. 2004. Vol. 86. P. 421–433.
19. Shore M, Broughton N. W., Dutton J. V., Sissons A. Factors affecting white sugar colour. *Sugar Technology Reviews*, 1984. Vol. 12. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
20. Хомічак Л. М., Кузнєцова І. В., Ткаченко С. В., Джоган О. І., Зайчук Л. П., Данілова К. О. Застосування антисептику для обробленням дифузійного соку. *Продовольчі ресурси: збірник наукових праць*, 2022. № 18, с. 163–168. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-16>.

References

1. An Godshall M. The quality of white sugar required in the beverage industry. *Sugar Industry*. 2006. Vol. 131(7). P. 492–495.
2. Jui-Yi Chen, Gow-Chin Yen, Nien-Ting Tsai, Jer-An Lin. Risk and Benefit of Natural and Commercial Dark Brown Sugars as Evidenced by Phenolic and Maillard Reaction Product Contents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **2021**. Vol. 69 (2). P. 767–775. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04795>.
3. Lima R. B., de Aguiar C. L., Galaverna R., Baptista A. S., Eberlin M. N., Arthur V. Sucrose and color profiles in sugarcane (*Saccharum* sp.) juice analyzed by UFLC-ELSD and Synapt High-Definition Mass Spectrometry during radiation treatment. *Radiation Physics and Chemistry*. 2016. Vol. 121. P. 99–105.
4. Riffer R. Chapter 13 – The Nature of Colorants in Sugarcane and Cane Sugar Manufacture. *Sugar Series*. 1988. Vol. 9, P. 186–207.
5. Solís-Fuentes J. A., Galán-Méndez F., del Rosario Hernández-Medel M., García-Gómez R.S., Bernal-González M., Mendoza-Pérez S., del Carmen Durán-Domínguez-de-Baz a M. Effectiveness of bagasse activated carbon in raw cane juice clarification. *Food Bioscience*. 2019. Vol. 32. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100437>
6. Bento L.S.M., S  S. Study of HMW compounds in sugar liquors from carbonatation and ion-exchange resins using GPC chromatography with an evaporative light scattering detector, *Proc. S. P. R. I. Conf.*, 1998. p. 233–247.

7. Bento L.S.M. Study of colour formation during Carbonatation in Cane Sugar Refining using GPC with a ELS detector, AVH Conf. 1999.
8. McKee M., An Godshall M., Moore S., Triche R. Effect of Commercial Enzymes on Color and Total Polysaccharide Content in Sugarcane and Sugarbeet Juice In book: Industrial Application of Enzymes on Carbohydrate-Based Material. 2007. p. 88–100. <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0972.ch007>.
9. Penghua Shu, Na Wang, Yu Meng, Shuxian Fan, Simin Liu, Xinfeng Fan, Di Hu, Hao Yin, Huiying Wang, Xin Wang, Mengjiao Wu, Feng Yu, Xialan Wei, Lin Zhang, Jihong Huang. Ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction of polysaccharides from *Cercis chinensis* bark: Optimization, kinetics and antioxidant activities. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2025, Vol. 121, 107535. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107535>
10. Triche R., An Godshall M., Richard C. Color formation in white beet sugars. Conference: American Society of Sugarbeet Technologist March 2011 <https://doi.org/10.5274/ASSBT.2011.56>.
11. Coca M., Garcı M. T., González G., Peña M., Garcia J.A. Study of coloured components formed in sugar beet processing International Congress Series. Volume 1245, November 2002, P. 269–273. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.017>.
12. Ansari A.K. Sugar industry effluent—characteristics and chemical analysis. *Journal Appl. Emerg. Sci.*, 2006. Vol. 1 (2) , p. 152–157.
13. Schlumbach K., Pautov A., Flöter E. Crystallization and analysis of beet and cane sugar blends. *Journal of Food Engineering*. 2017. Vol. 196, March 2017, P. 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.026>.
14. Godshall M. A. Future directions for the sugar industry. *International Sugar Journal*. 2001. Vol. 103 (1233). P. 378–384. https://www.researchgate.net/publication/279909260_Future_directions_for_the_sugar_industry.
15. Cardona C. A., Sánchez Ó.J. Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities. *Bioresour Technol.* 2007. Vol. 98 (12):2415–57. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.002>.
16. Cämmerer B., Jalyschkov V., Kroh L.W. Carbohydrate structures as part of the melanoidin skeleton [https://doi.org/10.1016/S0531-5131\(02\)00890-7](https://doi.org/10.1016/S0531-5131(02)00890-7).
17. Heitz F. Les colorants en sucrerie. *Actualité's techniques et industrielles*, 1995. P. 538–544.
18. Coca M., Garcia M. T., Gonzalez G., Pena M., Garcia J. A. Study of colored components formed in Sugar beet processing. *Food Chemistry*. 2004. Vol. 86. P. 421–433.
19. Shore M, Broughton N. W., Dutton J. V., Sissons A. Factors affecting white sugar colour. *Sugar Technology Reviews*, 1984. Vol. 12. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
20. Khomichak L. M., Kuznetsova I. V., Tkachenko S. V., Dzhogan O. I., Zaichuk L. P., Danilova K. O. (2022). Zastosuvannya antisevtiku dlya obroblennyam difuzijnogo soku [Application of antiseptic for processing diffusion juice]. *Prodovolchi resursi: zbirnik naukovih prac* [Food resources: collection of scientific works], 18, 163–168. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-16>. [in Ukrainian].