

*Ткаченко Л. В., канд. техн. наук,**стар. наук. співробітник**Процан Н. В., канд. техн. наук*

Державна наукова установа Український науково-дослідний інститут спирту та біотехнології продовольчих продуктів (м. Київ, Україна), e-mail: lubashev28@gmail.com, protsannataly@gmail.com.

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ МЕЛЯСИ З ЦУКРОВОГО БУРЯКУ ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ

UDC 663.5:664.1

*Tkachenko L. V., PhD in Engineering Science,**Senior Research Fellow**Protsan N. V., PhD in Engineering Science*

State Scientific Institution Ukrainian Research Institute for Alcohol and Biotechnology of Food Products (Kyiv, Ukraine), e-mail: lubashev28@gmail.com, protsannataly@gmail.com.

CRITERIA FOR EVALUATING THE INDICATORS OF SUGAR BEET MOLASSES AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF BIOETHANOL

Мета. Встановити критерії оцінки бурякової меляси за показниками, які не регламентовано у діючому ДСТУ 3696-1998, з точки зору ефективного використання меляси для виробництва біоетанолу.

Методи. Під час досліджень використано стандартні методи аналізу показників меляси відповідно до ДСТУ 3696. Метод лабораторного зброджування «бродильна проба» здійснювали згідно з ДСТУ 5072:2008. Показники дефектності меляси визначали за загальноприйнятими в спиртовій промисловості методами: масову частку загального азоту — за методом К'ельдаля; масову частку аміноного азоту — методом формольного титрування; масову частку фосфору — за колориметричним методом Бригса; масову частку летких кислот, масову частку сірчистого ангідриду за методиками, розробленими ДНУ «УкрНДІспиртбіопрод»; масову частку калію, натрію кальцію — за допомогою полум'яного фотометра CL 378; масову частку колоїдних речовин — за методом Харіна та Думанського. Показник колірності меляси визначали колориметрично за допомогою спектрофотометра КФК-3-01, використовуючи дистильовану воду в якості контрольного розчину. Показник доброякісності меляси розраховували як відношення суми цукрів, що зброджуються до масової частки сухих речовин.

Результати. Досліджено десять зразків меляси з цукрового буряку різних регіонів України за показниками згідно з вимогами ДСТУ 3696. Визначено, що усі десять зразків меляси за показниками діючого документу, відповідають нормам. Лабораторне зброджування меляси показало, що вихід спирту в усіх десяти зразках був нижче нормативного виходу на 1–2 декалітрів з 1 тонни умовного крохмалю. Проведено аналіз зразків меляси за 12 показниками, які відносяться до показників дефектності. Визначено три показника, які в усіх десяти зразках меляси, значно перевищують граничні межі: масова частка летких кислот; масова частка колоїдних речовин та колірність. Ці показники здійснюють найбільш негативний вплив на бродильну активність дріжджових клітин. Для підвищення ефективності виробництва біоетанолу з меляси встановлено критерії оцінки придатності меляси за показниками, значення яких має становити: масова частка летких кислот — не більше 1,0%; масова частка колоїдних речовин — не більше 2,8%; колірність — більше 40% по відношенню до світлопропускання води.

Ключові слова: цукробурякова меляса, зброджування, показники дефектності, показник «доброякісність», леткі кислоти, колоїдні речовини, колірність, вихід спирту, біоетанол.

Постановка проблеми. Виробництво біоетанолу з поновлюваних джерел з метою використання на транспорті, в даний час, має все більший попит у всьому світі через постійне виснаження викопних видів палива, економічних і політичних криз і зростаючої заклопотаності з приводу екологічної безпеки [1].

Основною сировиною для виробництва біоетанолу в Україні є бурякова меляса. Показники меляси регламентує державний стандарт України [2]. При спиртовому зброджуванні меляси, яка характеризується показниками, що відповідають вимогам діючого стандарту, вихід етилового спирту з тонни умовного крохмалю сировини нижче за нормативний. При зменшенні виходу етилового спирту реально знижується ефективність виробництва біоетанолу з меляси.

Перспективним та актуальним напрямом досліджень для підвищення ефективності використання цукробурякової меляси у виробництві біоетанолу є встановлення критеріїв оцінки показників меляси, які не регламентовано у діючому ДСТУ 3696.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Світова спільнота удосконалює та розвиває біоенергетику, яка базується на розробці та впровадженні інноваційних, наукоємних та ефективних технологій енергогенерації з використанням відновлювальних сировинних ресурсів [3].

Виробництво біоетанолу є сектором біопаливної галузі, що наразі розвивається найбільш динамічно [4]. На його частку припадає 85 % світового виробництва біопалив. Найбільші країни-виробники — США і Бразилія — забезпечують 89 % загальносвітового виробництва. В ЄС працює близько 50 заводів з випуску біоетанолу, які забезпечують 10–15 % світового виробництва. Головним напрямом використання біоетанолу є отримання паливних сумішей (етанол + бензин) з високим енерговмістом. В Україні біоетанол отримують з меляси. Його річне виробництво становить 36 тис. т, що відповідає приблизно 0,7 % світового виробництва.

Розробці прогресивних способів біоконверсії меляси в етиловий спирт, а також впливу складових меляси на процеси життєдіяльності дріжджів під час спиртового бродіння присвячені дослідження багатьох зарубіжних вчених, а також провідних вчених України: В. О. Маринченка, В. М. Швеця, В. А. Домарецького, П. Л. Шияна, О. Д. Коваленка, С. Т. Олійнічука та ін. [5–9].

Меляса — це сиропоподібний побічний продукт, який одержують після кристалізації цукру з концентрованого цукрового соку, одержаного з коренів цукрових буряків (*Beta vulgaris* L.) [6]. Меляса має високий вміст цукру, темно-коричневий колір, присмак карамелі.

Мелясу цукробурякову характеризують як концентрований розчин органічних та неорганічних речовин, в який міститься 70–80% сухих речовин та 20–30 % води [7]. Сухі речовини меляси розподіляються таким чином: сахароза — 60 % , без азотні органічні речовини — 16,7 %, азотисті речовини — 14,8 %, мінеральні речовини (зола) — 8,5 % . До цукрів меляси, які зброджуються дріжджами в спирт, відносять також інвертний цукор (0,1–1,2%), рафінозу (0,1–2,0 %), яка зброджується на 1/3 частину та пентозани (0,2–0,35 %). Якщо вміст інвертного цукру в мелясі перевищує допустиме значення, то це вказує на її дефектні якості. У цьому випадку в мелясі міститься більша кількість шкідливих речовин, які утворилися в процесі цукроваріння і негативно впливають на розмноження дріжджів та процес спиртового бродіння. Крім цукрів, меляса містить органічні та неорганічні речовини, які впливають на життєдіяльність дріжджів та визначають придатність меляси для спиртового виробництва.

Частина органічних та неорганічних речовин у мелясі знаходиться в колоїдному стані. Загальна кількість колоїдів на масу меляси складає 4–5% [8]. Ці сполуки позитивно заряджені і їх дисперсність залежить від рН середовища. Колоїди суттєво впливають на фізико-хімічні якості меляси та її розчинів, мають поверхневу активність і тому добре адсорбуються на оболонках мікроорганізмів, заважаючи обміну речовин між клітинами дріжджів та середовищем.

У мелясі містяться леткі та нелеткі органічні кислоти, які утворюються в процесі цукроваріння [10, 11]. На процес спиртового збродження мелясного суслу особливо нега-

тивно впливають леткі органічні кислоти: мурашина, оцтова, пропіонова, масляна, ізомасляна, валер'янова та капронова. Присутність у мелясі летких кислот приводить до затримки розмноження дріжджових клітин та гальмування швидкості біохімічних процесів.

Бурякова меляса має складний і непостійний хімічний склад, який залежить від ґрунтово-кліматичних умов вегетації, від добрив, які застосовуються, способів збирання, умов і тривалості зберігання цукрового буряку, технології цукроваріння та інших факторів [12]. Прогресивні технології цукроваріння, які впроваджено на цукрових заводах галузі, спрямовані, перш за все на максимальне вилучення цукру з сировини.

Таким чином, меляса є складною сировиною, у якій міститься цукор, що легко засвоюється дріжджами, але також меляса містить значну кількість органічних та неорганічних речовин, що спричиняють негативний вплив на життєдіяльність дріжджів в процесі переробки меляси в біоетанол.

Згідно з діючим в Україні ДСТУ 3696-1998, в мелясі регламентуються чотири показники: масова частка сухих речовин; масова частка сахарози, масова частка суми цукрів, що зброджуються; величина рН. Останнім часом, за даними виробників біоетанолу, при переробці меляси, яка має показники, що відповідають зазначеним нормам, дуже часто вихід спирту з тонни умовного крохмалю не досягає нормативного значення, що знижує ефективність виробництва біоетанолу.

За технологічним регламентом [13] встановлено показники дефектності цукробурякової меляси, до яких відносять такі, що визначають її непридатність для біосинтезу етилового спирту. Перелік 12 показників дефектності меляси та значень граничних меж наведено в табл. 1.

Таблиця 1 — Показники дефектності меляси цукробурякової, що визначають її непридатність для виробництва спирту.

Показники дефектності		Меляса буякова	
		Норматив	Дефектна
1	Масова частка інвертного цукру, %	0,12–1,02	Більше 1,02
2	Масова частка азоту, %: загального	1,3–2,06	Менше 1,3
3	Масова частка азоту, %: формольного	0,35–0,45	Менше 0,15
4	Масова частка азоту фосфору (P_2O_5), %	0,039–0,055	Менше 0,039
5	Масова частка сірчистого ангідриду (SO_2), %	0,012–0,05	Більше 0,05
6	Масова частка летких кислот (в перерахунку на оцтову), %	0,36–1,0	Більше 1,0
7	Масова частка кальцію, %	0,17–0,82	Більше 0,82
8	Масова частка калію, %;	3,93–5,36	Менше 3,9
9	Масова частка натрію, %;	0,15–1,0	Більше 1,0
10	Колірність (за ФЕК), % до світлопропускання води	40–60	Менше 40
11	Масова частка колоїдних речовин (водорозчинних), %	2,4–2,8	Більше 2,8
12	Доброякісність, %	58,8–64,0	Менше 58,0

З огляду на те, що чинний нормативний документ (ДСТУ 3696) було розроблено більш як двадцять років тому, а за цей час значно змінилися умови вирощування цукрового буряку, а також впроваджено новітні технології цукроваріння, що, в свою чергу, призвело до змін складу меляси, визначення критеріїв оцінки показників меляси є актуальним завданням.

Таким чином, повне дослідження меляс з різних регіонів України за показниками дефектності, значення яких повинно бути в межах граничних норм, які не входять до переліку нормованих показників за ДСТУ 3696, набуває вагомого значення та має важливу практичну складову для ефективної переробки меляси в біоетанол.

Мета статті — є наукове обґрунтування та визначення критеріїв оцінки показників цукробурякової меляси з точки зору ефективного використання її у виробництві біоетанолу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктами досліджень були 10 зразків м'яса з різних регіонів України (Вінницька, Тернопільська, Волинська, Київська і Полтавська області). Результати досліджень щодо визначення показників цих зразків м'яса на відповідність нормам, зазначеним у ДСТУ 3696, наведено у табл. 2.

Таблиця 2 — Показники зразків м'яса відповідно до ДСТУ 3696 ($n = 3$; $P \leq 0.05$)

Найменування показника	Масова частка сухих речовин, %, не менше	Масова частка сахарози, %, не менше	Масова частка суми цукрів, що зброджуються, %, не менше	Величина рН, од.
Норма	75,0	43,0	44,0	6,5–8,5
Зразок 1	81,2	47,0	48,16	6,78
Зразок 2	81,0	48,6	49,78	6,32
Зразок 3	77,0	47,5	48,33	6,55
Зразок 4	78,2	48,9	48,71	7,32
Зразок 5	79,8	45,5	46,41	6,66
Зразок 6	75,0	45,6	46,17	6,57
Зразок 7	79,9	49,7	48,31	7,82
Зразок 8	75,5	47,5	46,94	6,35
Зразок 9	75,2	43,6	44,44	6,92
Зразок 10	82,2	52,95	50,53	8,50

Як показують дані табл.2, усі десять зразків м'яса за показниками: масова частка сухих речовин; масова частка сахарози, масова частка суми цукрів, що зброджуються; величина рН не перевищують граничних меж та відповідають нормам діючого ДСТУ 3696.

З метою порівняння показників процесу спиртового збродження зразків м'яса та встановлення виходу етилового спирту з 1 т умовного крохмалю м'яса проводили лабораторне збродження (методом бродильної проби) десяти досліджуваних зразків. Біологічний метод визначання цукру або метод бродильної проби ґрунтується на лабораторному збродженні цукру у спирт в умовах, які моделюють процес одержування спирту у виробництві та виконується згідно з ДСТУ 5072:2008 «Сировина цукровмісна для спиртового виробництва. Біологічний метод визначення цукру».

Для одержання однакової концентрації сухих речовин у м'ясному суслі (на рівні 22 мас. %), розраховували наважку м'яса для кожного зразка окремо. Наважки м'яса розводили стерильною водопровідною водою. У м'ясне сусло додавали азотне та фосфорне живлення у вигляді діамонійфосфату із розрахунку 0,15 % до маси наважки м'яса. Щоб створити оптимальні умови для спиртових дріжджів в процесі збродження, м'ясне сусло підкислювали сірчаною кислотою до величини рН на рівні 4,9–5,0 од. Використовували чисту культуру дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* У-5007 з музею ДНУ «УкрНДІспиртбіопрод». Дріжджі вирощували за схемою прийнятою у спиртовому виробництві. У кожену колбу вносили засівні дріжджі з розрахунку 5 г/дм³. Збродження проводили у колбах Ерленмеєра об'ємом 500 см³. Кожну колбу закривали сірчанокислотним затвором та поміщали в термостат на бродіння за температури 30–32°C. Тривалість процесу бродіння становила 72 години. Показники визначали за методиками [14], що використовують у практиці спиртового виробництва: видиму густину СР — ареометричним методом та істинні СР — рефрактометричним методом, величину рН — потенціометричним методом, величину кислотності — електрометричним титруванням, кількість незбродженого цукру — колориметричним методом з резорцином. В бражних дистилатах, після перегонки бражки, визначали концентрацію етилового спирту ареометричним методом.

Показники дозрілих бражок, одержаних у результаті лабораторного зброджування зразків меляси, наведено у табл. 3.

Таблиця 3 — Показники дозрілих бражок ($n = 3$; $P \leq 0,05$)

Показники	Номер зразка меляси									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість CO_2 , (г/200 cm^3), що виділився за 72 год	13,1	13,14	13,12	13,2	13,10	13,2	13,14	13,13	13,06	13,39
pH середовища, од.	5,23	5,25	5,22	5,21	5,24	5,42	5,24	5,28	5,22	5,28
Кислотність, град.	0,51	0,45	0,51	0,52	0,51	0,50	0,53	0,54	0,52	0,51
Видима густина СР, %	7,4	6,8	6,9	6,8	7,4	6,5	7,3	6,8	6,7	6,6
Концентрація етило- вого спирту, % об.	8,02	8,25	8,18	8,25	8,05	8,22	8,20	8,13	8,01	8,14
Біомаса дріжджів, г/ dm^3	10,0	12,1	13,2	11,4	10,2	10,4	10,8	10,5	9,8	13,4
Вміст незброджених цукрів, г/ dm^3	0,29	0,27	0,22	0,21	0,29	0,28	0,24	0,24	0,26	0,25

Результати лабораторного зброджування (табл. 3) показали, що усі зразки меляси збродили повністю, що підтверджує значення незброджених цукрів на рівні 0,21–0,29 г/ dm^3 , яке не перевищує нормативне значення 0,3 г/ dm^3 . Показники дозрілих бражок усіх десяти зразків: pH середовища, кислотність, видима густина СР, знаходяться на однаковому рівні. Показник концентрації етилового спирту в бражках коливається від 8,01 до 8,25 % об., тобто різниця становить 2,9 %. Різницю у накопиченні спирту можна пояснити тим, що показники масова частка СР і масова частка суми цукрів, що зброджуються, у кожному зразку меляси дещо відрізняються. Потрібно зазначити, що показник кількості біомаси дріжджів, накопиченої у дозрілих бражках, не досягає нормативного значення (не менше 18 г/ dm^3) і знаходиться в межах від 9,8 до 13,4 г/ dm^3 . Мінімальне і максимальне значення біомаси дріжджів відрізняється на 36,7 %. Саме показник біомаси дріжджів показує на те, що в мелясах містяться речовини, які негативно впливають на життєдіяльність дріжджових клітин в процесі спиртового зброджування.

На основі результатів лабораторного зброджування для кожного зразка меляси розраховували вихід етилового спирту з 1 т умовного крохмалю меляси. Порівняння виходу етилового спирту для 10 зразків меляси з нормативним виходом показано на рис 1. Дані порівняння (рис. 1) показують, що за умов лабораторного зброджування ні один з досліджених зразків меляси не досягнув нормативного виходу спирту з 1 т умовного крохмалю меляси. Вихід спирту становив на 1,05–2,76 дал менше від нормативного виходу (66,5 дал з 1 т крохмалю меляси).

Одержані результати підтверджують наші припущення щодо необхідності визначення критеріїв оцінки показників меляси, які суттєво впливають на дріжджі в процесі спиртового зброджування, а в подальшому на вихід спирту.

Проведено дослідження кожного зразку меляси за показниками дефектності, які наведено у табл. 4.

Одержані значення показників дефектності меляс, які не відповідають зазначеним у табл. 1 нормам позначено напівжирним шрифтом.

Як показують отримані дані кожен з 10 досліджених зразків меляси має від 3 до 9 показників, значення яких перевищують допустимі межі. Водночас, з усіх проаналізованих 12 показників, тільки три показника дефектності (масова частка летких кислот, масова частка колоїдних речовин та колірність), наявні в усіх 10 зразках меляси. Показник масової частки летких кислот у 1,2–2,3 рази перевищує гранично допустимі значення. Підвищений вміст колоїдних речовин в мелясі призводить до обмеження доступу поживних речовин у дріжджові клітини. Визначено, що масова частка колоїдних речовин в дослі-

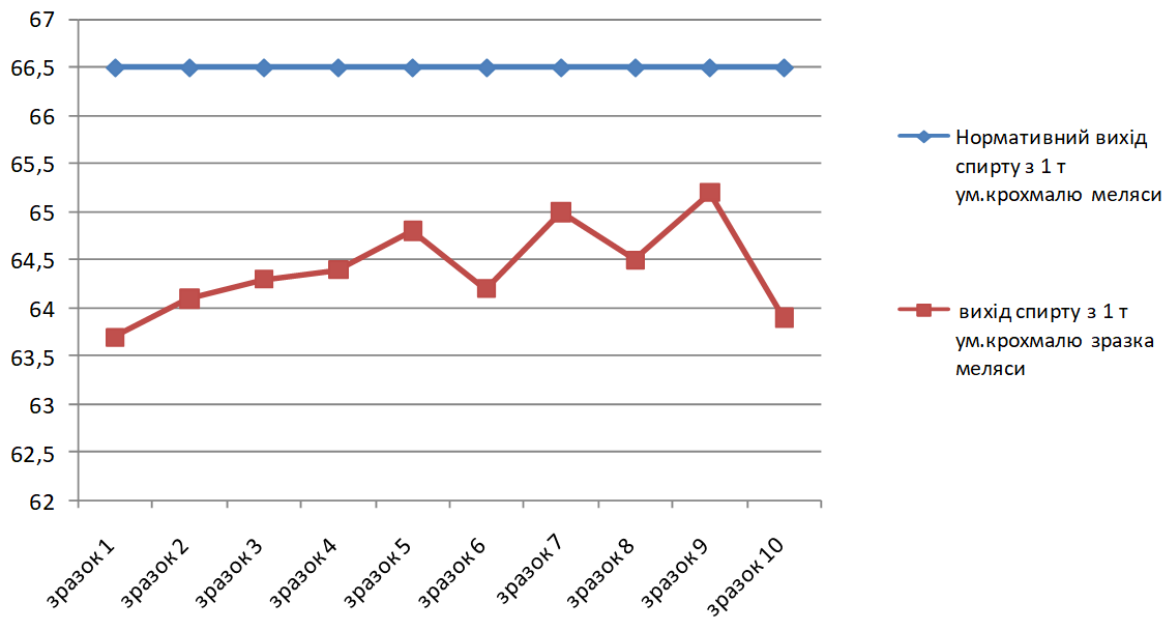


Рисунок 1 — Порівняння нормативного виходу етилового спирту з реальними виходами досліджуваних зразків меляси

Таблиця 4 — Результати досліджень зразків меляси за показниками дефектності

Найменування показників (масова частка)	Зразок меляси									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
інвертного цукру, %	0,57	0,59	1,2	0,13	0,45	0,95	0,26	1,02	1,45	0,05
азоту загального, %	1,81	3,30	1,62	2,33	2,38	1,29	1,70	1,2	1,26	2,4
аміного азоту, %	0,29	0,15	0,13	0,25	0,32	0,34	0,08	0,06	0,003	0,16
летких кислот (у перерахунку на оцтову), %	1,82	1,57	1,89	2,14	1,64	1,82	1,21	1,83	2,39	1,98
сірчистого ангідриду, %	0,014	0,02	0,026	0,021	0,023	0,013	0,019	0,03	0,01	0,02
фосфору, %	0,061	0,026	0,035	0,032	0,028	0,042	0,045	0,04	0,037	0,034
калію, %	3,9	3,75	2,4	3,5	3,6	3,7	4,15	2,55	2,7	2,3
натрію, %	0,65	0,34	0,72	0,55	0,68	0,55	0,73	0,71	0,45	0,41
кальцію, %	0,92	0,87	1,6	0,81	0,73	1,18	0,49	1,48	1,88	1,96
колоїдних речовин (водорозчинних), %	3,65	6,23	6,49	4,79	5,22	4,21	3,73	5,52	6,34	4,42
Колірність, % до світлопропускання води дистильованої	27,5	28	26	25	27	21,5	31	25,6	36	32
Доброякісність, %	59,31	61,46	62,77	62,29	58,16	61,56	60,46	62,17	59,86	61,47

джених зразках меляси на 30–131% вище встановленої межі. Показник колірності меляс на рівні 25–36 %, проти 40 % за нормою, вказує на підвищений вміст продуктів карамелізації та меланоїдинів, які утворюються в процесі цукроваріння. Підсумовуючи дані проведених досліджень вибрано три показники меляси: масова частка летких кислот, масова частка колоїдних речовин та колірність, як основні критерії оцінки меляси цукробурякової з точки зору ефективності перероблення її в біоетанол.

Висновки. Визначено, що зразки меляс з різних регіонів України за показниками відповідають вимогам діючого ДСТУ 3696-1998, але в процесі спиртового зброджування не дають нормативного виходу етилового спирту. Водночас, під час зброджування цих зразків меляс спостерігалася тенденція зниження бродильної активності дріжджів. Проведені дослідження зразків меляси за 12 показниками, які відносяться до показників дефектності показали, що три показника, а саме масова частка летких кислот; масова частка колоїдних речовин та колірність, в усіх десяти зразках меляси, значно перевищують граничні межі. Ці показники здійснюють найбільш негативний вплив на життєдіяльність дріжджових клітин.

Для підвищення ефективності виробництва біоетанолу з меляси запропоновано критерії оцінки придатності меляси за трьома показниками, значення яких має становити: масова частка летких кислот — не більше 1,0%; масова частка колоїдних речовин — не більше 2,8%; колірність — більше 40% по відношенню до світлопропускання води.

Список літератури

1. Zabed H., Sahu J. N., Suely A., Boyce A. N., & Faruq G. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. P. 475–501. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>.
2. Український НДІ цукрової промисловості (1998). ДСТУ 3696-98. Меляса бурякова. Технічні умови. Український НДІ цукрової промисловості. 1998. 54 с. http://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU1/dstu_3696-98.pdf.
3. Cardona C. A., Sanchez O. J. (2007). Fuel Ethanol Production: Process Design Trends and Integration Opportunities. *Bioresource Technology*. 2007. Vol. 98. № 12. P. 2415–2457. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.002>.
4. Долинський А. А., Ободович А. Н. Реалії сьогодення та перспективи виробництва біоетанолу як компонента сумішевих палив. *Вісник НАН України*. 2019. № 11. С. 29–37. <https://doi.org/10.15407/vsn2019.11.029>.
5. Шиян П. Л., Сосницький В. В., Олійнічук С. Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика : монографія . К. : Асканія. 2009. 424 с.
6. Palmonari A., Cavallini D., Sniffen C. J., Fernandes L., & Mammi L. (2020). Short communication: Characterization of molasses chemical composition. *Journal of Dairy Sciences*. 2020. Vol. 103. № 7. pp. 6244–6249. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17644>.
7. Маринченко В. О., Домарецький В. А. & Шиян П. Л. Технологія спирту : підручник. Вінниця : Поділля-2000, 2003. 496 с.
8. Duraisam R., Salelgn K., Bereket A. Production of beet sugar and bioethanol from sugar beet and it bagasse: a review. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2017. Vol. 43. № 4. P. 222–233. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V43P237>.
9. Razmovski R., & Vučurović V. Bioethanol production from sugar beet molasses and thick juice using *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on maize stem ground tissue. *Fuel*. 2012. Vol. 92. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.07.046>.
10. Коваль О.О. Розробка інноваційної технології біоетанолу з продуктів переробки цукрових буряків: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.05. Ін-т прод. Ресурсів НААН України. Київ, 2021. 130 с.
11. Dziugan P., Balcerek, M., Pielech-Przybylska K., & Patelski P. Evaluation of the fermentation of high gravity thick sugar beet juice worts for efficient bioethanol production. *Biotechnology for Biofuels*. 2013. Vol. 6, № 1, P. 2–11. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-158>.
12. Saric L., Filipčev B., Šimurina O. Sugar beet molasses: Properties and applications in osmotic dehydration of fruits and vegetables. *Food and Feed Research*. 2016. Vol. 43. № 2. P.135–144. <https://doi.org/10.5937/FFR1602135S>.
13. Типовий технологічний регламент одержання мелясно-спиртової бражки і пресованих хлібопекарських дріжджів. ТТР № 000 32744-3508-2005. К. : УкрНДІспиртбіопрод. 2005. 246 с.
14. Инструкция по химико-технологическому и микробиологическому контролю комплексной переработки мелассы на спирт и другие продукты. М. : Агропромиздат, 1986. 220 с.

References

1. Zabed, H., Sahu, J. N., Suely, A., Boyce, A. N. & Faruq, G. (2017). Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 475–501. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>.
2. Ukrainian Research Institute of Sugar Industry (1998). DSTU 3696-98. Melyasa buryakova. Tekhnichni umovy [Beet molasses. Technical conditions] Ukrainian Research Institute of Sugar Industry, 54 p.

3. Cardona, C. A., Sanchez, O. J. (2007). Fuel Ethanol Production: Process Design Trends and Integration Opportunities. *Bioresource Technology*, vol. 98, no. 12, pp. 2415–2457. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.002>.
4. Dolinsky, A. A., Obodovych, A. N. (2019). Realizatsiya sohodennya ta perspektyvy vyrobnytstva bioetanolu yak komponenta sumishevykh palyv. [The realities of the present and the prospects of the production of bioethanol as a component of mixed fuels]. *Visnyk NAAN Ukrayiny [Bulletin of NAAS of Ukraine]*, no. 11, pp. 29–37. <https://doi.org/10.15407/vism2019.11.029>.
5. Shyian, P. L., Sosnytskyi, V. V., Oliinychuk, S. T. (2009). Inovatsiini tekhnolohii spyrtovoi promyslovosti. Teoriia i praktyka [Innovative technologies of the alcohol industry. Theory and Practice]. Kyiv, Askaniia Publ., 424 p.
6. Palmonari, A., Cavallini, D., Sniffen, C. J., Fernandes L. & Mammi L. (2020). Short communication: Characterization of molasses chemical composition. *Journal of Dairy Sciences*, vol. 103, no. 7, pp. 6244–6249. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17644>.
7. Marinchenko, V. O. (ed.) Domaretskyi, V. A. & Shyian, P. L. (2003). *Tekhnolohiya spyrtyu [Technology of alcohol]*. Vinnytsya, Podillya-2000 Publ., 496 p.
8. Duraisam, R., Salegn, K., Berekete, A. K. (2017). Production of beet sugar and bioethanol from sugar beet and it bagasse. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 43, no. 4, pp. 222–233. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V43P237>.
9. Razmovski, R. & Vučurović, V. (2012). Bioethanol production from sugar beet molasses and thick juice using *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on maize stem ground tissue. *Fuel*, vol. 92, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.07.046>.
10. Koval, O. O. (2021). Rozrobka innovatsiynoyi tekhnolohiyi bioetanolu z produktiv pererobky tsukrovyykh buryakiv [The development of innovative technology of bioethanol from sugar beet processing products. Abstract of Grand PhD in Engineering sciences thesis]. Kyiv, 130 p.
11. Dziugan, P., Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K. & Patelski, P. (2013). Evaluation of the fermentation of high gravity thick sugar beet juice worts for efficient bioethanol production. *Biotechnology for Biofuels*, vol. 6, no. 1, pp. 2–11. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-158>.
12. Saric, L., Filipčev, B., Šimurina, O. (2016). Sugar beet molasses: Properties and applications in osmotic dehydration of fruits and vegetables. *Food and Feed Research*, vol. 43, no. 2, pp. 135–144. <https://doi.org/10.5937/FFR1602135S>.
13. UkrNDIspirtbioprod (2005). *Typovyy tekhnolohichnyy rehlement oderzhannyya melyasno-spyrtovoyi brazhky i presovanykh khlibopekarskykh drizhdzhiv* [Typical technological regulations for obtaining molasses-alcohol mash and pressed baker's yeast.]. TTR № 000 32744-3508-2005. Kiev, UkrNDIspirtbioprod, 246 p.
14. *Instruktsiya po khimiko-tekhnologicheskomu i mikrobiologicheskomu kontrolyu kompleksnoy pererabotki melassy na spirt i drugiye produkty* (1986). [Instructions for chemical-technological and microbiological control of the complex processing of molasses into alcohol and other products]. Moscow, Agropromizdat, 220 p.

Objective. Establish criteria for evaluating sugar beet molasses according to indicators that are not regulated in the current DSTU 3696-1998, in terms of effective use of molasses for bioethanol production.

Methods. During the research were used: standard methods of analysis of molasses indicators in accordance with DSTU 3696. The method of laboratory fermentation «fermentation test» was performed in accordance with DSTU 5072:2008. Indicators of the defect of molasses were determined by generally accepted methods in the alcohol industry: mass fraction of total nitrogen — by the Kjeldahl method; mass fraction of amine nitrogen — by the method of formal titration; mass fraction of phosphorus — by the colorimetric method of Briggs; mass fraction of volatile acids, mass fraction of sulfur dioxide according to the methods developed by DNU “UkrNDIspirtbioprod”; mass fraction of potassium, sodium and calcium — using a flame photometer CL 378; mass fraction of colloidal substances — by the method of Harin and Dumansky. The color index of molasses was determined colorimetrically using a spectrophotometer KFK-3-01, using distilled water as a control solution. The molasses index “high quality” was calculated as the ratio of the amount of fermented sugars to the mass fraction of dry matter.

Results. Ten samples of sugar beet molasses from different regions of Ukraine were studied according to the requirements of the current standard. It is determined that all ten samples of molasses according to the current document, meet the standards. Laboratory fermentation of molasses showed that the yield of alcohol in all ten samples was lower than the standard yield by 1–2 decalitres per 1 ton of starch. A full analysis of molasses samples was performed on 12 indicators, which according to the regulations are defect indicators. Three indicators were identified, which in all ten samples of molasses significantly exceed the limit: mass fraction of volatile acids; mass fraction of colloidal substances and color. These indicators have the most negative effect on the fermentation activity of yeast cells. To increase the efficiency of bioethanol production from molasses, the criteria for assessing the suitability of molasses according to the indicators, the value of which should be: mass fraction of volatile acids — not more than 1.0%; mass fraction of colloidal substances — not more than 2.8%; color — more than 40% in relation to the light transmission of water.

Key words: sugar beet molasses, fermentation, defect indicators, "good quality" indicator, volatile acids, colloidal substances, color, alcohol yield, bioethanol.

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-36-44

УДК 001.891:(664.68.016:678.746.4-035.2)(045)

Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент

Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент

Пусікова О. А., асистент

Мороз В. О., здобувач ОС бакалавра

Гусак Є. Р., здобувач ОС бакалавра

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: Goryaynova@donnuet.edu.ua.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ, ЩО ЗБАГАЧЕНІ РЕЧОВИНАМИ ПОЛІФЕНОЛЬНОЇ ПРИРОДИ

UDK 001.891:(664.68.016:678.746.4-035.2)(045)

Goriainova I. A., PhD in Engineering sciences, Associate Professor

Simakova O. O., PhD in Engineering sciences, Associate Professor

Pusikova O. A., Assistant Professor

Moroz V. O., a graduate of a bachelor degree

Husak Y. R., student

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: Goryaynova@donnuet.edu.ua.

RESEARCH OF QUALITY INDICATORS OF FLOUR CONFECTIONERY ENRICHED WITH SUBSTANCES OF POLYPHENOL NATURE

Мета. Визначити деякі кількісні показники якості борошняних кондитерських виробів, що збагачені речовинами поліфенольної природи, з використанням принципів кваліметрії.

Методи. Для визначення кількісних показників якості за різними групами властивостей використовували основні принципи кваліметрії, які полягають в наступному [1]: окремі властивості продукції складають ієрархічну структуру її якості; властивості i -го рівня визначаються відповідними властивостями $(i + 1)$ -го рівня ($i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$); ці властивості

Надійшла до редакції 22.10.2021 р.

© Ю. А. Горайнова, О. О. Сімакова, О. А. Пусікова, В. О. Мороз, Є. Р. Гусак, 2021