

УДК 664.1:628.4

Свирид О. - ст. гр. МО-41, Костюк О. - ст. гр. ММ-31

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ЗАСТОСУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ZERO-WASTE У ВИРОБНИЦТВІ ЦУКРУ

Науковий керівник: к.т.н., доцент Пилипець О.М.

Svyryd O., Kostiuk O.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

APPLICATION OF THE ZERO-WASTE CONCEPT IN SUGAR PRODUCTION

Supervisor: PhD Pylypets O.M.

Ключові слова: Zero-waste, буряковий жом, меляса, циркулярна економіка, ресурсозбереження, біорафінерія.

Key words: Zero-waste, sugar beet pulp, molasses, circular economy, resource conservation, biorefinery.

Сучасний розвиток харчової промисловості супроводжується зростанням антропогенного навантаження на довкілля, що зумовлює необхідність переходу до сталих моделей виробництва. Однією з таких моделей є концепція Zero-waste (нуль відходів), яка передбачає максимально повне використання сировини та мінімізацію утворення відходів. Особливо актуальною ця концепція є для цукрової промисловості, яка традиційно характеризується значними обсягами побічних продуктів.

Концепція Zero-waste базується на принципах циклічної економіки, що передбачають замкнутість матеріальних потоків, повторне використання ресурсів та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. У контексті харчових технологій це означає трансформацію відходів у вторинні ресурси, створення безвідходних або маловідходних технологічних схем та впровадження інноваційних рішень для утилізації побічних продуктів.

Цукрове виробництво (переважно з цукрового буряка) характеризується утворенням таких основних побічних продуктів: жом, меляса, дефекат (вапняковий осад), стічні води з високим органічним навантаженням.

Традиційно ці продукти частково використовуються (наприклад, жом - як корм), проте значна їх частина залишається недоотриманим ресурсом, що створює екологічні проблеми.

Жом є найбільш масовим побічним продуктом. Його ефективне використання включає: виробництво кормів (гранульований жом), отримання пектину та харчових волокон, використання як сировини для біогазових установок.

Меляса містить значну кількість цукрів, що робить її цінною для: виробництва біоетанолу, отримання кормових дріжджів, виробництва органічних кислот.

Дефекат використовується як: меліорант для покращення кислотності ґрунтів, джерело кальцію для сільського господарства, компонент органічно-мінеральних добрив.

Цукрове виробництво є водомісткою галуззю, питоме споживання цукрових заводів сягає до 10 м³ води на 1 т перероблених цукрових буряків. Основні стоки утворюються під час миття буряків, транспортування сировини гідравлічним способом,

промивки обладнання, конденсації пари та господарсько-побутових процесів. Такі стоки містять органічні речовини (цукри, пектин, білки), завислі частинки ґрунту, пісок, рослинні залишки, солі, а також мають високі показники БСК і ХСК.

Впровадження сучасних технологій очищення (біологічних, мембранних) дозволяє повторно використовувати воду у виробництві, зменшити скиди у довкілля, отримувати біогаз у процесі анаеробного очищення. Найефективнішим напрямом є замкнений водооборотний цикл із поєднанням механічного, фізико-хімічного та біологічного очищення. Це дозволяє не лише очищати стоки, а й повторно використовувати воду та отримувати енергію з відходів у вигляді біогазу.

Розвиток біотехнологій та цифровізації відкриває нові можливості для реалізації концепції Zero-waste: використання мікроорганізмів для глибокої переробки органічних залишків (табл.1), мікроорганізми є ключовим інструментом глибокої переробки органічних залишків цукрового виробництва, завдяки біотехнологіям відходи перетворюються на енергію, добрива, хімічні речовини та нові матеріали; інтеграція біорефінерій у структуру цукрових заводів; впровадження систем моніторингу ресурсоефективності; застосування принципів індустріального симбіозу.

Таблиця 1. Основні органічні залишки цукрового виробництва

Вид відходу	Характеристика	Потенціал біопереробки
Жом цукрових буряків	Клітковина, пектин, целюлоза, геміцелюлоза	Біогаз, органічні кислоти, кормові дріжджі
Меляса	Залишкові цукри, мінерали	Етанол, дріжджі, лимонна кислота
Стічні води	Високий ХСК/БСК, розчинена органіка	Анаеробне очищення, біогаз
Віньяса (барда)	Кислий рідкий залишок після бродіння	Метан, біополімери, добрива
Дефекат / осад	Органіка + кальцієві сполуки	Компостування

Особливо перспективним є створення комплексних виробничих кластерів, де відходи одного підприємства стають сировиною для іншого.

Інтеграція матеріальних та енергетичних балансів у цукровому виробництві дозволяє перейти від лінійної до циркулярної моделі. Концепція Zero-waste реалізується через повну утилізацію побічних продуктів, замкнуті водні та теплові цикли, впровадження біоенергетичних технологій, створення біорефінерій.

Це забезпечує не лише екологічний ефект, але й підвищення економічної ефективності виробництва.

Попри значний потенціал, впровадження концепції Zero-waste у цукровій галузі стикається з низкою проблем, таких як високі капітальні витрати на модернізацію, недостатній рівень інноваційної інфраструктури, обмеженість ринків збуту вторинної продукції та нормативно-правові бар'єри.

Застосування концепції Zero-waste у харчових технологіях цукрового виробництва є стратегічно важливим напрямом підвищення екологічної та економічної ефективності галузі. Комплексна переробка побічних продуктів, впровадження інноваційних технологій та розвиток циркулярної економіки дозволяють не лише мінімізувати відходи, а й створити додаткову вартість. У довгостроковій перспективі це сприятиме формуванню сталого агропромислового комплексу та зниженню екологічного навантаження.

Література:

1. Munagala Meghana, Yogendra Shastri. Sustainable Valorization of Sugar Industry Waste: Status, Opportunities, and Challenges. January 2020. Bioresource Technology 303:122929. DOI:10.1016/j.biortech.2020.122929.